การตรวจเอกสาร

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจเอกสาร ประกอบด้วยทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อนำมาเป็นแนวคิด ทฤษฎีในการศึกษาวิจัยภายใต้หัวข้อใหญ่ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา
2. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย
3. การศึกษาที่ผ่านมา

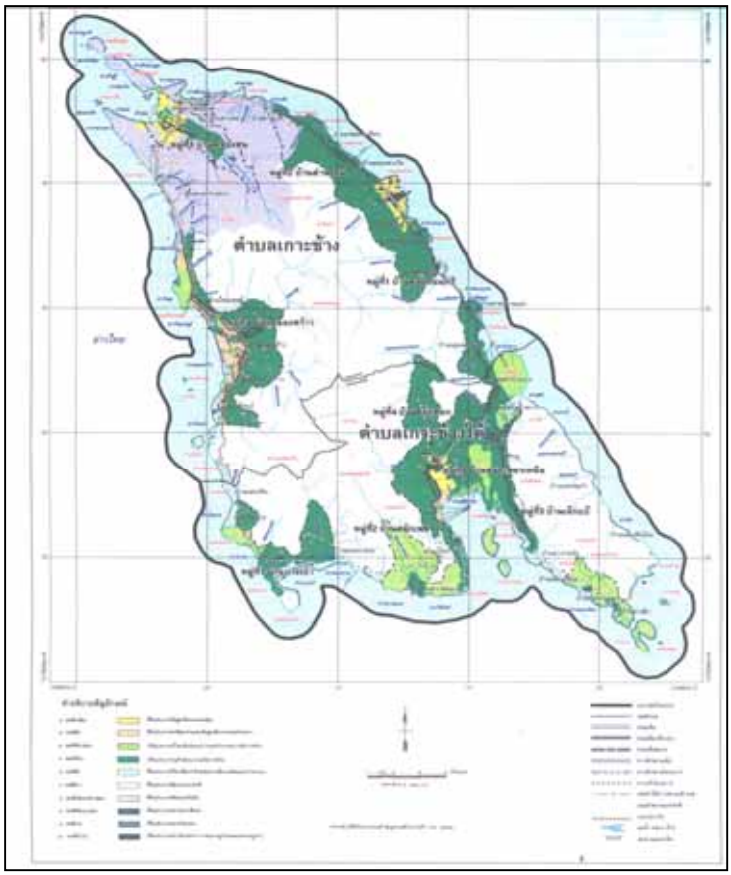
ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

เกาะช้างตั้งอยู่ในบริเวณกิ่งอำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 315 กิโลเมตร และอยู่ห่างจากฝั่งของแหลมงอบประมาณ 9 กิโลเมตร เป็นเกาะที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสองรองจากเกาะภูเก็ต มีเนื้อที่ประมาณ 131,152 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงและลาดชัน โดยมีที่ราบประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ การปกครองแบ่งเป็น 2 ตำบล คือตำบลเกาะช้าง และตำบลเกาะช้างใต้ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 5,356 คน (ข้อมูลกรมการปกครอง ปี พ.ศ. 2547) ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ได้แก่ สวนยางพารา สวนผลไม้ และสวนมะพร้าว ในส่วนของการท่องเที่ยว เกาะช้างมีสถานที่ท่องเที่ยวหลายแห่ง ได้แก่ หาดทรายขาว หาดไก่แบ้ แหลมไชยเชษฐ์ เกาะช้างน้อย แหลมช้างน้อย อ่าวคอเขาขวด อ่าวเปรมวดี อ่าวคลองสน น้ำตกคลองสน น้ำตกธารมะยม น้ำตกคลองพลู น้ำตกคลองนนทรี น้ำตกคีรีเพชร น้ำตกคลองหนึ่ง เป็นต้น สำหรับปะการังบริเวณเกาะช้างพบตามชายฝั่งด้านเหนือและด้านใต้ของเกาะ ฤดูกาลท่องเที่ยวจะอยู่ระหว่างเดือนธันวาคม - เดือนมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกน้อยเหมาะแก่การท่องเที่ยว นอกจากนี้เกาะช้างยังเป็นส่วนหนึ่งของอุทยานแห่งชาติทางทะเลตามพระราชกฤษฎีกากำหนดบริเวณที่ดินเกาะช้างและเกาะใกล้เคียงในท้องที่ตำบลเกาะช้างและตำบลเกาะหมาก กิ่งอำเภอแหลมงอบ จังหวัดตราด ให้เป็นอุทยานแห่งชาติเมื่อปี พ.ศ. 2525

ที่ตั้งและอาณาเขต

พื้นที่ของของเกาะช้างอยู่ในความรับผิดชอบของกิ่งอำเภอเกาะช้าง และมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 2 แห่ง คือ อบต.เกาะช้าง และ อบต.เกาะช้างใต้ และอยู่ในความรับผิดชอบของอุทยานแห่งชาติหมู่เกาะช้าง กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย และอำเภอแหลมงอบ
ทิศใต้	ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย และกิ่งอำเภอเกาะกูด
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย และอำเภอเมืองตราด
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย



ภาพที่ 1 แสดงอาณาเขตของพื้นที่เกาะช้าง

ลักษณะของชุมชน

กิ่งอำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด จัดตั้งเป็นกิ่งอำเภอเมื่อวันที่ 30 เดือนเมษายน พ.ศ. 2537 ประกอบด้วย 2 ตำบล 9 หมู่บ้าน เกาะช้างนับได้ว่ามีความสำคัญต่อจังหวัดตราดในด้านสัญลักษณ์ กล่าวคือ ภาพตราประจำจังหวัดตราด แสดงภาพประกอบด้วย เกาะช้าง ทะเล เรือใบ และโป๊ะ ซึ่งเป็นเครื่องมือประจำเพื่อทำการประมง ความสำคัญของเกาะช้างด้านประวัติศาสตร์ คือ ในช่วงสงครามอินโดจีน พ.ศ. 2484 เป็นพื้นที่ยุทธนาวีระหว่างเรือรบลามอตปี-เกต์ของฝรั่งเศสกับเรือรบหลวงธนบุรีแห่งราชนาวีไทย พื้นที่เกาะช้างจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-7 วันที่ 20 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 มีเนื้อที่ 212,441,402.1 ตารางเมตร หรือ 212.4 ตารางกิโลเมตร หรือ 132,775.9 ไร่ (ศันสนีย์ และ แสงเทียน, 2547) มีระบบบริหารการปกครองโดยองค์การบริหารส่วนตำบล หรืออบต. โครงสร้างการปกครอง สามารถแบ่งได้ดังนี้

ตำบลเกาะช้าง	หมู่ 1บ้านคลองนนทรี	ตำบลเกาะช้างใต้	หมู่ 1 บ้านบางเบ้า
	หมู่ 2 บ้านด่านใหม่		หมู่ 2 บ้านสลักเพชร
	หมู่ 3 บ้านคลองสน		หมู่ 3 บ้านเจ๊กแบ้
	หมู่ 4 บ้านคลองพร้าว		หมู่ 4 บ้านสลักคอก
			หมู่ 5 บ้านสลักเพชรเหนือ

การประกอบอาชีพ

1. การเกษตรกรรม

มีพื้นที่ทำการเกษตรทั้งสิ้น 8,403 ไร่ โดยมีจำนวนครัวเรือนที่ประกอบอาชีพทางการเกษตร 530 ครัวเรือน จากการสำรวจโดยสำนักงานเกษตรกิ่งอำเภอเกาะช้าง พบว่าพืชเศรษฐกิจส่วนใหญ่ที่ปลูกกันมาก ได้แก่ ยางพารา มีเกษตรกรจำนวน 280 ราย ที่ปลูกยางพารา โดยมีพื้นที่ปลูกที่ให้ผลผลิต 5,959 ไร่ รองลงมา ได้แก่ มะพร้าว ทุเรียน ส้มโอ เงาะ และมังคุด ตามลำดับ (สำนักงานเกษตรกิ่งอำเภอเกาะช้าง, 2547)

2. <u>การปศุสัตว์</u>

สัตว์เศรษฐกิจที่นิยมเลี้ยงกันทั่วไป ได้แก่ ไก่ รองลงมาคือ เป็ดเทศ โค เป็ดไข่ และกระบือ

3. <u>การประมง</u>

การทำประมงบนเกาะช้างส่วนใหญ่เป็นการทำประมงพื้นบ้านขนาดเล็ก ได้แก่ อวนลอยปลา อวนลอยปู อวนลอยกุ้ง เบ็ดตกหมึก เบ็ดตกปลา ลอบหมึก ลอบลูกปลาเก๋า ลอบปลา เรือประมงของชาวเกาะช้างมีขนาดยาว 5 - 10 เมตร ขนาดของเครื่องยนต์เรือส่วนใหญ่มีกำลังแรงม้าต่ำกว่า 20 แรงม้า แรงงานที่ทำงานบนเรือประมง ส่วนใหญ่ใช้แรงงาน 1 - 3 คน ส่วนใหญ่เป็นแรงงานภายในครอบครัว การใช้เวลาในการทำประมงโดยเฉลี่ยชาวประมงประมาณ 7 - 8 เดือนทำประมงในรอบปี เดือนที่มีการทำประมงมากคือเดือนสิงหาคม และในรอบ 1 เดือน จะออกทำการประมงเดือนละ 20 วัน การทำประมงใช้เวลาประมาณ 9 - 12 ชั่วโมงต่อวัน และเป็นประมงแบบเช้าไปเย็นกลับคือ ในช่วงเช้าออกเรือไปทำประมงเวลา 04.00 - 07.00 น. เวลากลับอยู่ระหว่าง 16.00 - 18.00 น. ทั้งนี้ขึ้นกับการขึ้นลงของน้ำ ผลผลิตจากการประมงมากที่สุด คือ ปลาหมึก รองลงมาคือ กุ้ง ปลา ปู และเคย โดยใช้อวนเป็นเครื่องมือในการทำประมงมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ลอบเพื่อจับปลาหมึกและปู ผลผลิตจากการทำประมงนำไปจำหน่ายสด มีการแปรรูปผลผลิต โดยทำปลาตากแห้ง และทำกะปิ การปรับเปลี่ยนเรือประมงไปเป็นเรือเพื่อรับนักท่องเที่ยว มีชาวประมงบางส่วนได้ปรับเปลี่ยนอาชีพไปให้บริการท่องเที่ยว และบางส่วนยังคงทำประมง แต่เมื่อถึงฤดูกาลท่องเที่ยวก็จะกลับมาให้บริการด้านการท่องเที่ยว ชาวประมงมีการจัดการท่องเที่ยวในรูปแบบของการทำที่พักเรือนแรม (Home Stay) เพื่อรองรับการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้นทุกปี แรงงานจากชุมชนชาวประมงทำงานในภาคการค้าและบริการที่เกี่ยวกับการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น ภาพรวมชาวประมงเกาะช้างจึงมีความโน้มเอียงที่จะยอมรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตไปทำงานในภาคการท่องเที่ยวมากขึ้น ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตดั้งเดิมของชาวประมงอยู่บ้าง โดยเฉพาะคนรุ่นใหม่ที่นิยมออกไปหาประสบการณ์ในอาชีพใหม่ ๆ

กลุ่มอาชีพด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ การเลี้ยงปลากะรังในกระชัง การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยรูปแบบการเลี้ยงปลาในกระชังเป็นการประกอบอาชีพเสริม มีอาชีพอื่นควบคู่ ได้แก่ ข้าราชการ การทำสวน การทำประมง การค้าขาย การรับจ้าง เป็นต้น

4. <u>ทรัพยากรการท่องเที่ยว</u>

แหล่งท่องเที่ยวของเกาะช้างมีความหลากหลายทั้งทางด้านธรรมชาติ ศิลปะ และวัฒนธรรมเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงมานานและเป็นที่รู้จัก ประกอบด้วย

4.1 น้ำตกธารมะยม

4.2 หาดทรายขาว

4.3 อ่าวคลองพร้าว-อ่าวไชยเชษฐ์

4.4 หาดไก่แบ้

4.5 บริเวณยุทธนาวีเกาะช้าง

4.6 บ้านสลักคอก – อ่าวสลักคอก

4.7 บ้านสลักเพชร – บ้านโรงถ่าน

4.8 น้ำตกคลองพลู

5. <u>การคมนาคม</u>

เส้นทางจากบ้านสลักเพชรมาทางทิศเหนือผ่านบ้านสลักคอก เลียบเชิงเขาออกมาบริเวณชายฝั่งอ่าวน้ำขุ่น และเลียบชายฝั่งตะวันออกในทางทิศเหนือตลอด โดยผ่านบ้านธารมะยม บ้านด่านใหม่ บ้านด่านเก่า จนถึงอ่าวสัปปะรด เป็นถนนลูกรังมีสภาพทรุดโทรม ไม่สามารถใช้

ได้ในฤดูฝนในบางบริเวณ ส่วนเส้นทางจากอ่าวสัปปะรดไปยังหาดทรายขาว โดยตัดผ่านเขาล้าน สภาพภูมิประเทศเป็นหน้าผาสูงชันทำให้ถนนมีความลาดชันมาก ส่วนสภาพถนนตั้งแต่อ่าวสัปปะรดจนถึงหาดคลองพร้าว ทางจังหวัดได้ทำการปรับปรุงเป็นถนนราดยางทั้งหมดแล้ว ทำให้นักท่องเที่ยวสามารถเดินทางได้โดยสะดวก

การเดินทางสำหรับนักท่องเที่ยวบนเกาะ มักใช้รถโดยสารและเดินเท้า ซึ่งสามารถเดินตามถนนไปยังชุมชน หรือแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ ได้ ยกเว้นบ้านบางเบ้าที่ไม่มีถนนไปถึง ถ้าหากต้องการไปท่องเที่ยวด้านอื่นของเกาะหรือเกาะอื่น ๆ ในเขตอุทยานแห่งชาติหมู่เกาะช้าง ก็ต้องเช่าเรือเหมาลำจากชาวบ้านหรือจากบังกะโลที่พัก หรือไม่ก็ต้องนั่งเรือกลับมาที่ฝั่งแหลมงอบแล้วนั่งเรือโดยสารไปยังด้านอื่นของเกาะช้าง หรือเกาะอื่น ๆ ในเขตอุทยานแห่งชาติหมู่เกาะช้าง

6. <u>น้ำประปาและน้ำใช้</u>

เกาะช้างสามารถใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำตก ลำธาร โดยเดินท่อประปามาใช้ในชุมชนหรือตามบ้านเรือน ส่วนบ้านเรือนที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ก็จะขุดบ่อและใช้ปั๊มสูบน้ำมาใช้ในครัวเรือน เกาะช้างมีแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นน้ำตก 9 แห่ง คลอง 14 แห่ง บ่อบาดาล 6 แห่ง และบ่อน้ำตื้น 375 แห่ง แหล่งน้ำธรรมชาติสามารถเก็บน้ำไว้ได้เพียงพอกับการใช้ของประชาชน แต่จะขาดแคลนบ้างในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมีนาคม-เดือนเมษายน

7. <u>การใช้ประโยชน์ที่ดินและการถือครอง</u>

จากการสำรวจสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินบนเกาะช้าง ซึ่งมีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 131,152 ไร่ พบว่า มีพื้นที่ที่เป็นชุมชนที่อยู่อาศัย 1,081 ไร่ พื้นที่เพื่อการท่องเที่ยว 930 ไร่ พื้นที่เกษตรกรรม 31,113 ไร่ และพื้นที่ป่าไม้ 98,028 ไร่ กระจายตัวอยู่ในพื้นที่เกาะช้าง (โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาและจัดการเชิงพื้นที่เกาะช้างและพื้นที่ใกล้เคียง, 2545)

7.1 พื้นที่อยู่อาศัย

สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่ออยู่อาศัยบนเกาะช้าง มีลักษณะเป็นชุมชนชนบทขนาดเล็กอยู่รวมกับพื้นที่ที่ทำการเกษตร กระจายตัวอยู่ตามที่ราบโดยรอบของเกาะทั้งสองฝั่งทะเล

7.2 พื้นที่การท่องเที่ยว

ส่วนใหญ่เป็นสถานที่พักแรมสำหรับบริการท่องเที่ยว กระจายตัวอยู่บริเวณชายหาด โดยเฉพาะชายหาดทางด้านฝั่งทะเลตะวันตกของเกาะ รวมตัวอยู่กันอย่างหนาแน่นเป็นแนวยาวไปตามชายหาด ได้แก่ หาดทรายขาว แหลมไชยเชษฐ์ หาดคลองพร้าว และหาดไก่แบ้ ซึ่งมีแนวโน้มหนาแน่นมากขึ้น และขยายตัวลงมาทางด้านใต้ของเกาะในบริเวณอ่าวใบลาน อ่าวบางเบ้า และอ่าวคลองกลอย ตามการขยายตัวของเส้นทางคมนาคมที่ตัดใหม่ และนักท่องเที่ยวเริ่มแสวงหาแหล่งท่องเที่ยวใหม่ที่มีความเป็นธรรมชาติสงบเงียบมากขึ้น

7.3 พื้นที่เกษตรกรรม

มีพื้นที่รวมประมาณ 31,113 ไร่ กระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ราบ ที่ราบสูง (สันเขา) และบริเวณลุ่มน้ำลำคลองโดยรอบเกาะ ประกอบด้วย สวนยางพารา ปลูกมากบริเวณบ้านสลักเพชรและบ้านด่านใหม่เป็นยางพันธุ์ดี สวนมะพร้าวกระจายตัวอยู่รอบเกาะบริเวณชายฝั่งทะเล ปลูกมากในบริเวณบ้านคลองสน บ้านคลองพร้าว และบ้านบางเบ้า สวนผสมประกอบด้วย สวนทุเรียน เงาะ และมังคุด ปลูกมากในบริเวณบ้านคลองสน บ้านด่านใหม่ และบ้านคลองนนทรี

7.4 พื้นที่ป่าไม้

พื้นที่ส่วนใหญ่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ภูเขาทั้งหมด มีสภาพเป็นป่าดิบชื้น 97,097 ไร่ เป็นแหล่งต้นน้ำของแหล่งน้ำจืดที่สำคัญของเกาะ เช่น คลองมะยม คลองด่านใหม่ คลองสลักเพชร คลองสน คลองพร้าว คลองไก่แบ้ และคลองกลอย มีสภาพเป็นป่าชายเลนไม่มากนัก กระจายตัวอยู่ในบริเวณปากคลองบริเวณอ่าวสลักเพชร อ่าวสลักคอก อ่าวคลองสน และอ่าวคลองพร้าว มีพื้นที่ประมาณ 931 ไร่

8. <u>ทรัพยากรธรรมชาติ</u>

8.1 ทรัพยากรน้ำ

เกาะช้าง มีแหล่งน้ำซึ่งเป็นน้ำตกที่สำคัญหลายแห่ง ได้แก่ น้ำตกคลองสน น้ำตกธารมะยม น้ำตกคลองพลู น้ำตกคลองนนทรี น้ำตกคีรีเพชร และน้ำตกคลองหนึ่ง โดยประชาชนส่วนใหญ่ได้ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำเหล่านี้ในการเพาะปลูกและเป็นแหล่งน้ำสำหรับอุปโภค-บริโภค

8.2 ทรัพยากรป่าไม้และสัตว์ป่า

เกาะช้างมีป่าไม้อยู่ 2 ชนิด คือ ป่าดิบชื้นและป่าแคระภูเขา มีพันธุ์ไม้ที่มีความหลากหลาย เช่น ไม้ยาง พนอง กระบาก ชุมแพรก มะซาง โดยขึ้นอยู่บริเวณอ่าวและปากคลองลำธารต่าง ๆ เช่น อ่าวสลักคอก อ่าวสลักเพชร อ่าวบางเบ้า และอ่าวคลองสน ส่วนบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ นอกจากนี้สัตว์ป่าที่พบเห็นโดยทั่วไป ได้แก่ หมูป่า เก้ง ลิง ค่าง ชะนี ค้างคาว ไก่ป่า และนกชนิดต่าง ๆ รวมทั้งยังมีเต่ากระ และฝูงปลาโลมาที่สามารถพบเห็นได้เสมอ

8.3 ทรัพยากรปะการัง

ทรัพยากรปะการังในจังหวัดตราด นับได้ว่าเป็นทรัพยากรปะการังซึ่งสมบูรณ์ที่สุดในชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย และติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก ประมาณร้อยละ 50 ของทรัพยากรปะการัง อยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติทางทะเลหมู่เกาะช้าง เกาะหวาย เกาะรัง และเกาะกูด

9. สภาพปัญหาของพื้นที่เกาะช้าง

9.1 ปัญหาการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การกำหนดเขตการใช้ที่ดินและสภาพการใช้ที่ดิน พื้นที่ภายในเขตอุทยานแห่งชาติได้มีการกำหนดเขตและมีแผนในการใช้พื้นที่ โดยมีหน่วยงานรับผิดชอบ คือ หน่วยงานอุทยานแห่งชาติ แต่ในสภาพพื้นที่จริงยังไม่ชัดเจน เนื่องจากยังไม่มีแนวเขต หรือจุดอ้างอิง ทำให้มีปัญหาในการดูแลรักษาพื้นที่ และปัญหาการบุกรุกพื้นที่อุทยาน สำหรับพื้นที่นอกเขตอุทยานฯ ยังขาดการวางแผนการใช้ที่ดิน การกำหนดเขตการใช้ที่ดิน และการกำหนดสภาพการใช้ที่ดินในเขตต่าง ๆ ให้เหมาะสม ส่งผลต่อการบุกรุกพื้นที่ การเข้าครอบครอง การทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และการวางแผนการพัฒนา

สภาพการถือครองที่ดิน พื้นที่ที่มีการถือครองเดิมบางส่วน ยังขาดหมุดหลักฐานที่ดิน และขาดผังรูปต่อโฉนดที่ดิน ทำให้เกิดปัญหายากต่อการดูแลตรวจสอบและเกิดการบุกรุกพื้นที่อุทยานและที่ดินของรัฐการขาดความเข้าใจในการมีสิทธิ์เข้าทำกินในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่ที่เข้าทำประโยชน์ โดยเสียภาษีบำรุงท้องที่ (ภบท.5) พื้นที่เหล่านี้ผู้เข้าทำประโยชน์ในพื้นที่จะไม่มีสิทธิ์ในการถือครอง เนื่องจากเป็นที่ดินของรัฐ เพียงแต่ขอใช้ทำประโยชน์โดยให้ผลตอบแทนรัฐในรูปแบบการเสียภาษีแต่ประชาชนยังขาดความเข้าใจ เนื่องจากพบว่ามีการเสนอขายพื้นที่ที่มีใบ ภบท.5

9.2 ปัญหาด้านเศรษฐกิจ

การมีค่าครองชีพสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการพัฒนาการท่องเที่ยว การที่คนท้องถิ่นมีความต้องการผลตอบแทนในระยะสั้นโดยการขายที่ดิน ส่งผลให้เกิดการอพยพเปลี่ยนแปลงที่อยู่และมีคนต่างถิ่นเข้าไปลงทุน และดำเนินการแทน

9.3 ปัญหาด้านสังคม

การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมของชุมชนดั้งเดิมที่อยู่ในพื้นที่ ซึ่งทำให้วิถีชีวิตของผู้คนเปลี่ยนแปลงไป เช่น การรับเอาค่านิยมจากชาติตะวันตกมาใช้แทน ขนบธรรมเนียมท้องถิ่นที่เคยเป็นมา ทำให้วัฒนธรรมที่ดีงามเสื่อมโทรมลง ความปลอดภัยของนักท่องเที่ยว และการเอารัดเอาเปรียบนักท่องเที่ยวของผู้ประกอบการในพื้นที่ เช่น การค้าขายสินค้าแพงเกินจากราคาที่เป็นจริง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวทางอ้อม

9.4 ปัญหาด้านการจัดการ

การบริหารและจัดการพื้นที่ในปัจจุบัน มีหลายหน่วยงานรับผิดชอบ และขาดการวางแผนดำเนินการร่วมกัน ทำให้เกิดปัญหาการทับซ้อนของการพัฒนา

9.5 ปัญหาด้านการท่องเที่ยว

จากข้อมูลของอุทยานแห่งชาติหมู่เกาะช้าง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535-2543 พบว่ามีอัตราผู้มาเยี่ยมเยือนหมู่เกาะช้างเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 3.93 ต่อปี การพัฒนาด้านการท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ จึงอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรองรับของพื้นที่เกาะช้าง

9.6 ปัญหาด้านการจัดการน้ำเสีย

การจัดการน้ำเสียบนพื้นที่เกาะช้างของแต่ละชุมชน ปัจจุบันยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยทิ้งลงพื้นดินหรือทางน้ำทั่วไปหรือทะเลโดยตรง ทำให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อคุณภาพของชายหาดและน้ำทะเลโดยตรง จากการสำรวจพบว่า ปัจจุบันบางครัวเรือนมีระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นแล้ว ซึ่งเป็นการออกแบบและก่อสร้างโดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข โดยทางกรมอนามัยจะออกค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างให้ก่อน (งบประมาณการก่อสร้างประมาณ 18,000 - 20,000 บาทต่อครัวเรือน) และหลังจากการก่อสร้างระบบฯ และการติดตั้งหรือต่อท่อน้ำทิ้งเข้าระบบเรียบร้อยแล้วทางกรมอนามัย จึงจะเรียกเก็บเงินค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบฯ คืนจากเจ้าของบ้านโดยให้มีการผ่อนชำระเป็นรายเดือนจนกว่าจะครบตามสัญญา ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบและก่อสร้างโดยกรมอนามัย

10. การศึกษาประชากร

จำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร์ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมา เพิ่มขึ้นจาก 4,116 คน ในปี พ.ศ. 2537 เป็นจำนวน 5,356 คน ในปี พ.ศ. 2547 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.15 เฉลี่ยร้อยละ 2.44 ต่อปี โดยเฉพาะในช่วงที่มีการพัฒนาพื้นที่เกาะช้างให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ จำนวนประชากรในปี พ.ศ. 2546 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2545 คิดเป็นร้อยละ 6.7 ของประชากรตามทะเบียนราษฎร์ของเกาะช้าง (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังมีประชากรแฝง กล่าวคือ ประชากรที่เข้ามาพักอาศัยในพื้นที่เกาะช้าง แต่ไม่มีการโอนย้ายเข้ามาในพื้นที่ตามทะเบียนราษฎร์ จากข้อมูลการสำรวจของสาธารณสุขกิ่งอำเภอเกาะช้างพบว่า จำนวนประชากรที่สำรวจในปี พ.ศ. 2546 มีจำนวน 5,827 คน ซึ่งมากกว่าจำนวนประชากรจากทะเบียนราษฎร์จำนวน 857 คน หรือร้อยละ 17.24 ของจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร์ ส่วนในปี พ.ศ. 2548 มีจำนวนประชากรรวม 5,515 คน

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรในช่วงปี พ.ศ. 2537-2547 ของกิ่งอำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด

พ.ศ.	จำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (คน)			จำนวนหลังคาเรือน
	ชาย	หญิง	รวม	(หลังคาเรือน)
2537	2,074	2,042	4,116	1,074
2538	2,130	2,064	4,194	1,224
2539	2,178	2,091	4,269	1,267
2540	2,237	2,176	4,413	1,320
2541	2,266	2,188	4,454	1,356
2542	2,351	2,264	4,615	1,427
2543	2,333	2,268	4,601	1,484
2544	2,361	2,268	4,629	1,626
2545	2,438	2,351	4,838	1,895
2546	2,660	2,124	4,784	2,177
2547	2,752	2,604	5,356	2,547

ที่มา: สำนักงานสาธารณสุขกิ่งอำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด

จากข้อมูลการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย พบว่า จำนวนนักท่องเที่ยวที่เดินทางเข้ามาเพื่อท่องเที่ยวและพักแรมบนหมู่เกาะช้างในแต่ละปีมีแนวโน้มค่อนข้างสูง จำนวนนักท่องเที่ยวในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2537-2547) มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนผู้เยี่ยมเยือนเกาะช้าง ในช่วงปี พ.ศ. 2537-2547

พ.ศ.	จำนวน (คน)	อัตราเพิ่มต่อปี (ร้อยละ)
2537	232,960	-
2538	143,195	-38.53
2539	232,869	62.62
2540	242,651	4.20
2541	233,955	-3.58
2542	291,956	24.79
2543	274,354	-6.03
2544	240,065	14.28
2545	266,084	9.78
2546	329,181	19.17
2547	371,745	12.93

ที่มา: การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2547

11. การคาดการณ์จำนวนประชากร

การคาดการณ์จำนวนประชากรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำเสียในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ พ.ศ. 2546 - 2555 (ประมาณ 10 ปี) โดยการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากรต่อปีในรอบ 10 ปี คือ ระหว่างปี พ.ศ. 2537 - 2547 ของในพื้นที่ศึกษา เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมในการคาดการณ์จำนวนประชากรที่ปรึกษาฯ ใช้วิธีการคาดการณ์ด้วยสมการ Exponential Growth Rate Model

นอกจากประชากรตามทะเบียนราษฎร์แล้วยังมีประชากรอีกกลุ่มหนึ่ง ที่เป็นสาเหตุของการเกิดขยะมูลฝอยและน้ำเสียนั่นก็คือ ประชากรแฝง ซึ่งหมายถึงประชากรที่เข้ามาพักอาศัยและทำกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา แต่ไม่มีการแจ้งชื่อในทะเบียนราษฎร์ และจากการสำรวจข้อมูลของสาธารณสุขกิ่งอำเภอเกาะช้างพบว่า ในปี พ.ศ. 2546 มีจำนวนประชากร 4,784 คน ซึ่งมากกว่าประชากรจากทะเบียนราษฎร์ จำนวนประชากรที่คาดการณ์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การคาดการณ์จำนวนประชากรของพื้นที่เกาะช้าง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546–2555

ชุมชน	จำนวน (คน)									
	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ตำบลเกาะช้าง										
บ้านคลองนนทรี	422	432	443	454	465	476	488	500	512	524
บ้านด่านใหม่	613	628	643	659	675	692	708	726	743	762
บ้านคลองสน	811	831	851	872	893	915	937	960	984	1,008
บ้านคลองพร้าว	814	834	854	875	896	918	941	964	987	1,011
รวม	2,660	2,725	2,791	2,860	2,929	3,001	3,074	3,150	3,226	3,305
ตำบลเกาะช้างใต้										
บ้านบางเบ้า	365	374	383	392	402	412	422	432	443	453
บ้านสลักเพชร	636	652	667	684	700	717	735	753	771	790
บ้านเจ๊กแป้	345	353	362	371	380	389	399	408	418	429
บ้านสลักคอก	353	362	370	379	398	398	408	418	428	439
บ้านสลักเพชรเหนือ	425	435	446	457	479	479	491	503	515	528
รวม	2,124	2,176	2,229	2,283	2,339	2,396	2,455	2,513	2,576	2,638
รวมทั้งหมด	4,784	4,901	5,020	5,143	5,268	5,397	5,529	5,663	5,802	5,943

หมายเหตุ อัตราการเพิ่มเฉลี่ยของประชากรคิดเป็นร้อยละ 2.44 ต่อปี

ที่มา: กรมการปกครอง (พ.ศ. 2546)

การคาดการณ์จำนวนนักท่องเที่ยวจากการศึกษาจำนวนนักท่องเที่ยวในอดีต เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของนักท่องเที่ยวในพื้นที่ศึกษาพบว่า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยร้อยละ 9.15 ต่อปี

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic เป็นการเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียไปเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่น ๆ ระบบนี้มีปฏิกิริยาชีวเคมีที่ซับซ้อนกว่าของระบบใช้อากาศมาก (Aerobic Treatment System) ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งมีแบคทีเรียอยู่ 2 กลุ่มดังนี้

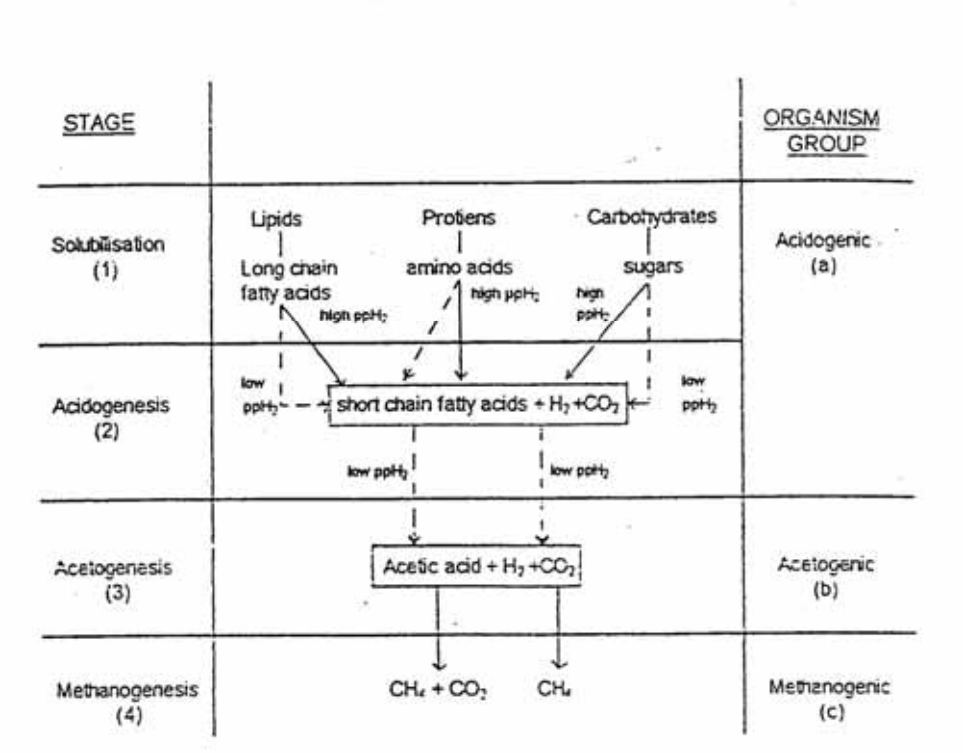
กลุ่มแรก แบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ (Organic Acids)

กลุ่มสอง แบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทน (Methane Gas)

หลักการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียคือ ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงเรื่อย ๆ โดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมีดังแสดงไว้ในภาพที่ 2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยา 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกย่อยสลายให้มีขนาดเล็กลงจนละลายน้ำได้ โดยเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular enzyme) ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด (acidogenic bacteria) ผลผลิตที่ได้คือ น้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน ซึ่งแบคทีเรียสามารถดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมา การทำงานของเอนไซม์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์ เป็นต้น ทำให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะใช้เวลาต่างกัน



<u>ภาพที่ 2</u> ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยขบวนการไร้ออกซิเจน

ที่มา: Sam – soon et al. (1987)

<u>ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)</u>

ผลผลิตที่ได้จากการไฮโดรไลซิส ได้แก่ น้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน จะถูกดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรียพวกสร้างกรดโดยผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) ภายในเซลล์ และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิออนิก (propionic acid) กรดบิวทิริก (butyric acid) เป็นต้น รวมทั้งได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยจะได้สารชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของสารจากขั้นตอนไฮโดรไลซิสและค่าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน (hydrogen partial pressure, ppH_2) ผลของปฏิกิริยาที่ได้จะแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 ตัวอย่างเช่น การย่อยสลายกลูโคสผ่านกระบวนการ Embden-Meyerhof pathway ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำจะได้ผลผลิตคือ กรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงจะได้ผลผลิตคือ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดโพรพิออนิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

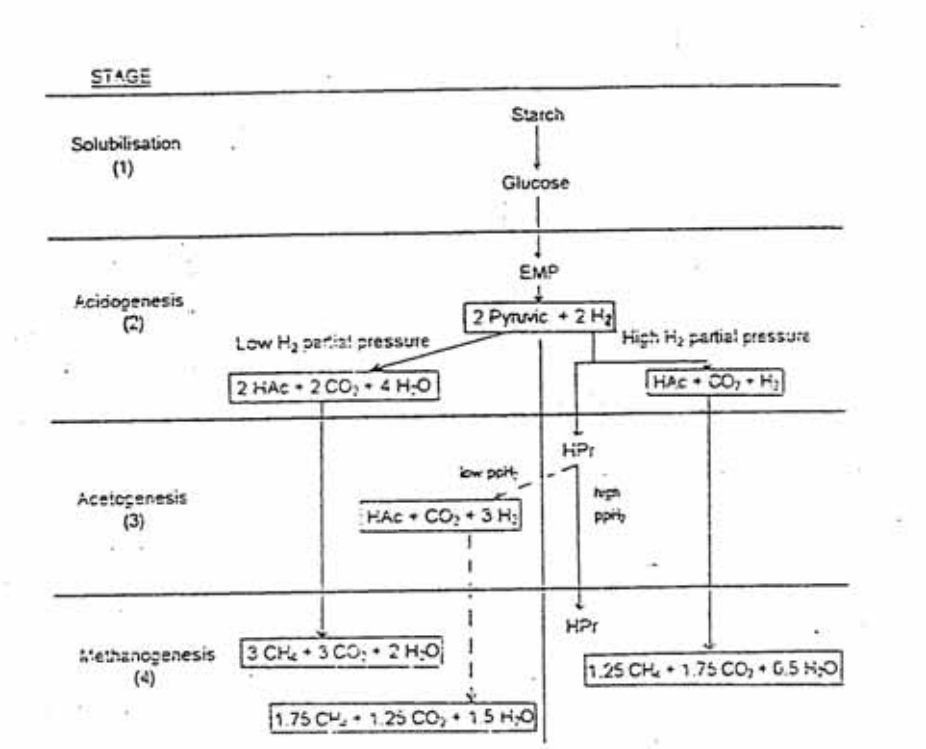
สภาวะความดันของไฮโดรเจนที่ค่าต่ำ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2 \quad (1)$$

สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่ค่าสูง

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2COOH \text{ (propionic acid)} + CH_3COOH + CO_2 + H_2 \quad (2)$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH \text{ (butyric acid)} + 2CO_2 + 2H_2 \quad (3)$$



<u>ภาพที่ 3</u> การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำและสูง

ที่มา: Sam – soon et al. (1987)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างอะซิเตท (Acetogenesis)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (methanogenic bacteria) ผลิตมีเทนได้โดยใช้กรดฟอร์มิก (formic) กรดอะซิติก ไฮโดรเจน เมธานอล (methanol) และเมธิลลามิน(methylamines) แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิออนิก ซึ่งเป็นสารอาหารโดยตรงในการผลิตมีเทน ดังนั้นแบคทีเรียพวก acetogenic จึงมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทนแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจน (hydrogen producing acetogenic bacteria) สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิออนิก ให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ ดังสมการ

$$CH_3CH_2COOH \text{ (propionic acid)} + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \qquad (4)$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH \text{ (butyric acid)} + 2H_2O \longrightarrow 2\,CH_3COOH + 2H_2 \qquad (5)$$

โดยแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจนนี้จะเป็นตัวช่วยไม่ให้เกิดการสะสมตัวของกรดบิวทิริก กรดโพรพิออนิก ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ค่าพีเอชลดลง จนยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (obligate anaerobic) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (obligate acetoclasic methanogen) แบคทีเรียชนิดนี้สร้างมีเทนจากกรดอะซิติกเพียงอย่างเดียว

$$CH_3COOH + H_2O \longrightarrow CH_4 + H_2CO_3 \qquad (6)$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวจะผลิตมีเทนได้ประมาณ 70 % ของมีที่ได้ทั้งหมด

2. แบคทีเรียสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน (obligate hydrogenotrophic methanogen, H_2 utilizer) แบคทีเรียชนิดนี้สร้างมีเทนจากไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอน

$$4H_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CH_4 + 3H_2O \qquad (7)$$

แบคทีเรียชนิดนี้ยังใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ง่ายดังสมการ

$$HCOOH \longrightarrow CO_2 + H_2 \qquad (8)$$

เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนนี้สามารถเจริญเติบโตในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-7.2 และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งมักมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำ (specific growth rate) ทำให้ขั้นตอนนี้ดำเนินไปช้า และมักเป็นขั้นตอนในการจำกัดอัตราการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

3. แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจน (hydrogenotrophic / acetoclassic methanogen) แบคทีเรียชนิดนี้สร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจน แต่ชอบไฮโดรเจนมากกว่า

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ จะเห็นว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนใหญ่สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งให้อิเลคตรอนในการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่แบคทีเรียส่วนใหญ่ในเม็ดตะกอนในระบบยูเอเอสบีคือแบคทีเรียพวก methanothrix และ methanosarcina ซึ่งแบคทีเรียพวก methanothrix ใช้กรดอะซิติกเป็นสารอาหาร ส่วนแบคทีเรียพวก methanosarcina สามารถใช้สารอาหารได้หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก เมทานอล เมธิลลามีน และบางครั้งก็ใช้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เช่นกัน

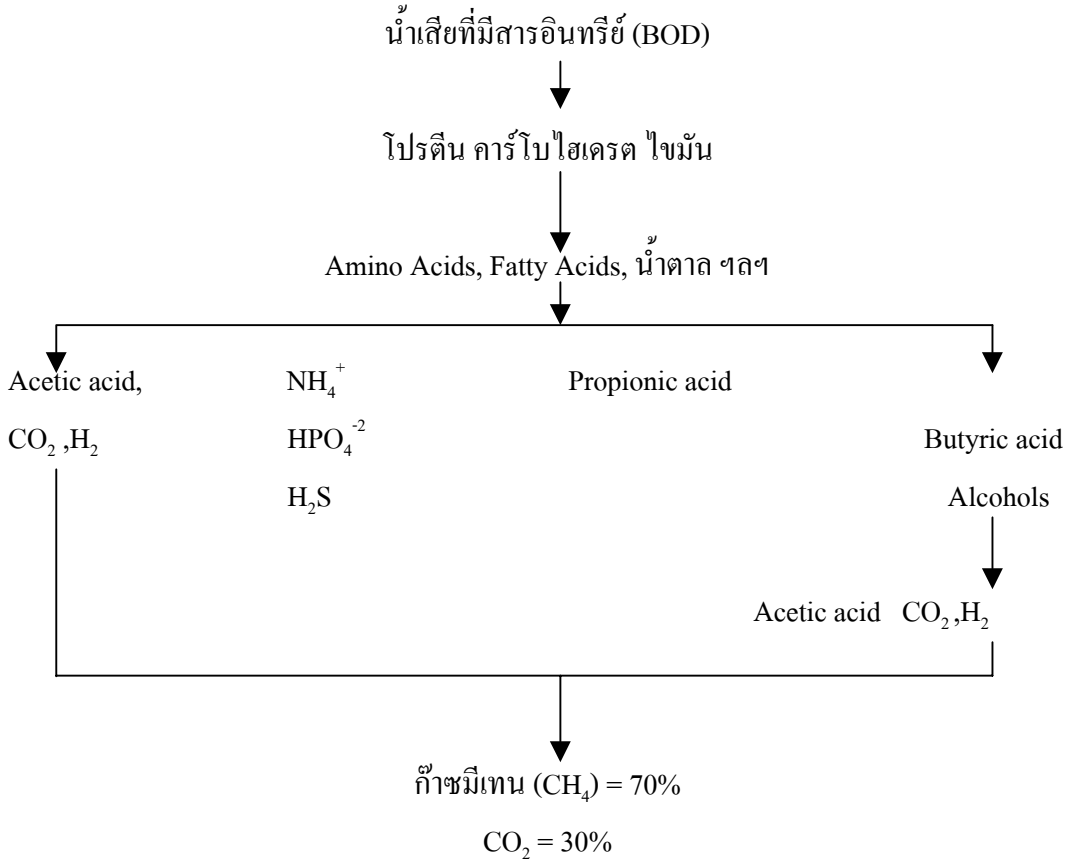
ตารางที่ 4 ตัวอย่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้

Genus	Morphology	Gram Reaction	Number of species	Substrates for methanogenesis	DNA (mol%CC)
Group I					
Methanobacterium	Long rods	+ or -	8	H_2+CO_2, formate	29 - 61
Methanobrevibacter	Short rods	+	3	H_2+CO_2, formate	27 - 31
Methanophaera	Cocci	+	1	Methanol+H_2 (both needed)	26
Group II					
Methanothermus	Rods	+	2	H_2+CO_2, can also reduce S^O	33
Group III					
Methanococcus	Irregular cocci	-	5	H_2+CO_2,pyruvate +CO_2, formate	29 - 34
Group IV					
Methanomicrobium	Short rods	-	2	H_2+CO_2, formate	45 - 49
Methanogenium	Irregular cocci	-	3	H_2+CO_2, formate	51 - 61
Methanospirillum	Spirilla	-	1	H_2+CO_2, formate	46 - 50
Methanoplanus	Plate-shaped cells occurring as thin plates with sharp edges	-	2	H_2+CO_2, formate	38 - 47
Group V					
Methanosacina	Large rregular cocci in packets	+	6	H_2+CO_2, methanol,methylamines,acetate	41 - 43
Methanolobus	Irregular cocci in aggregates	-	5	Methanol, methylamines	38 - 42

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Genus	Morphology	Gram Reaction	Number of species	Substrates for methanogenesis	DNA (mol%CC)
Methanoculleus	Irregular cocci	-	4	H_2+CO_2, alcohols, formate	54 - 62
Methanobalobium	Irregular cocci	-	1	Methanol, methylamines; halophilic	44
Methanococcoides	Irregular cocci	-	2	Methanol, methylamines	42
Methanobalophilus	Irregular cocci	-	3	Methanol, methylamines,methyl sulfides;halophile	41
Methanotherix (Methanosacta)	Long rods to filaments	-	3	Acetate	52 - 61
Group VI					
Methanopyrus	Rods in chains	+	1	H_2+CO_2;hyperthermophile,growth at 110^{o}C	60
Group VII					
Methanopusculum	Irregular cocci	-	3	H_2+CO_2, formate, alcohols	48 - 52

ที่มา: Madigan et al. (1997)



<u>ภาพที่ 4</u> ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ตัวอย่างวิถีชีวเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหย

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

<u>ขั้นตอนแรก</u>

กลูโคสจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นกรดไพรูวิก ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + 2NAD^+ + 2ADP + 2P \longrightarrow 2CH_3COCOOH + 2NADH + 2ATP \quad (9)$$

กลูโคสแต่ละโมเลกุลจะผลิตกรดไพรูวิก 2 โมล และ ATP 2 โมล โดยมีโคเอนไซด์ NAD^+ เป็นพาหะของอิเลคตรอน และไฮโดรเจน ทำให้เกิด NADH และเนื่องจากปริมาณ NAD^+ มีจำกัดจึงต้องมีวิธีปลดปล่อย H^+ออกจาก NAD เช่นเดิม เพื่อให้เป็นพาหนะขนส่งอิเลคตรอนได้อีก โดยปกติการปลดปล่อย H จาก NADH ให้เป็น NAD จะเกิดขึ้นดังสมการ

$$NADH \longrightarrow NAD^+ + H^+ + 2e^- \qquad (10)$$

สมการที่ 10 สามารถดำเนินไปได้ตราบเท่าที่ H_2 สามารถนี้ออกจากระบบได้ ดังนั้นสมการ (10) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ (น้อยกว่า 10^{-6} บรรยากาศ, Sam – Soon et al., 1987)

<u>ขั้นตอนที่สอง</u>

เป็นขั้นตอนไพรูวิก จากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดไขมันระเหยซึ่งจะเป็นชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนดังนี้

กรณีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ

กรดไพรูวิกที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นอะซิทิลโคเอ(CH_3CoA) ดังสมการ

$$2CH_3COCOOH + 2NAD^+ + 2NAD^+ \longrightarrow 2CH_3CoA + 2CO_2 + 2NADH \qquad (11)$$

โดยมี NAD^+ เป็นพาหนะของอิเลคตรอน ซึ่ง NAD^+ ได้จากการปลดปล่อย H^+ จากสมการ (10) อะซิทิลโคเอจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก พร้อมกับการสร้าง ATP ดังสมการ

$$2CH_3CoA + 2ADP + 2P \longrightarrow 2CH_3COOH + 2ATP \qquad (12)$$

เมื่อรวมสมการ (9), (10), (11) และ (12) เข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยาการหมักที่สมบูรณ์ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O + 4ADP + 4P \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2 + 4ATP \qquad (13)$$

จากสมการที่ (13) พบว่า การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของกลูโคส 1 โมล ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำจะได้กรดอะซิติก 2 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมล ไฮโดรเจน 4 โมล และ ATP 4 โมล และถ้าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย H_2 - utilizing bacteria สามารถใช้ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในการผลิตมีเทน หรือ sulfate – reducing bacteria (SBR) ก็สามารถใช้ไฮโดรเจนได้ดังสมการ

$$4H_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CH_4 + 3H_2O \qquad (14)$$

$$4H_2 + SO^{2-}_4 + 2H^+ \longrightarrow 4H_2O + H_2S \qquad (15)$$

จากสมการ (14) และ (15) จะมีผลทำให้ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเสมอ แต่ในสมการ (15) จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียเกิดขึ้นด้วย

กรณีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง

อย่างไรก็ตาม H_2 - utilizing bacteria ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือไม่มีแบคทีเรียดังกล่าวอยู่ในระบบ เป็นผลให้เกิดการสะสมตัวของไฮโดรเจนในระบบจนทำให้ค่าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงทำให้ NADH ไม่สามารถปลดปล่อย H^+ ตามสมการ (10) ได้ เนื่องจาก H_2 ไม่สามารถหนีออกไปจากระบบได้ แบคทีเรียชนิดไม่สามารถสร้างมีเทน จึงต้องหาวิธีอื่นในการฟื้นอำนาจ NADH เพื่อให้ปฏิกิริยาการหมักสามารถดำเนินต่อไปได้ โดยใช้วิธีการสร้างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเอง และใช้เป็นปฏิกิริยาควบคู่ในการเปลี่ยน NADH ให้เป็น NAD^+ พบว่าการเปลี่ยนกรดไพรูวิกให้เป็นกรดโพรพิออนิก สามารถทำให้ NADH ปลดปล่อย H^+ ได้ดังสมการ

$$CH_3COCOOH+2NADH + ADP + P \longrightarrow CH_3CH_2COOH + 2NAD^+ + ATP+H_2O \quad (16)$$

จะเห็นว่ากรดไพรูวิก 1 โมล สามารถปลดปล่อย H^+ จาก NADH ได้ 2 โมล แต่ยังมีกรดไพรูวิกเหลืออยู่อีก 1 โมล ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นอะซิทิลโคเอตามปกติ ดังสมการ

$$CH_3COCOOH + NAD^+ \longrightarrow CH_3CoA + CO_2 + NADH \quad (17)$$

และพบว่า เมื่อมาถึงขั้นตอนนี้ก็จะเกิดปัญหาในการฟื้นอำนาจให้แก่ NADH เช่นเดิม ถ้าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ การฟื้นอำนาจจะเป็นไปตามปกติ แต่ถ้าความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง การฟื้นอำนาจของ NADH ก็จะเกิดควบคู่ไปกับการเปลี่ยนอะซิทิลโคเอไปเป็นกรดอะซิติก ดังสมการ

$$CH_3CoA + NADH \longrightarrow CH_3COOH + H_2 + NAD^+ \quad (18)$$

เมื่อรวมสมการ (9), (16), (17) และ (18) เข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยาการหมักที่สมบูรณ์ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง ดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 + 3ADP + 3P \longrightarrow CH_3CH_2COOH + CH_3COOH + CO_2 + H_2 + 3ATP \quad (19)$$

นั่นคือการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของกลูโคส 1 โมล ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง จะได้กรดโพรพิออนิก 1 โมล กรดอะซิติก 1 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล ไฮโดรเจน 1 โมล และ ATP 3 โมล เมื่อเปรียบเทียบสมการ (13) กับ (19) ในขั้นตอนการสร้างกรดจะเห็นว่าการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ภายใต้ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ จะให้ ATP 4 โมล และผลิตกรดอะซิติก 2 โมล ในขณะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงจะให้ ATP เพียง 3 โมล และผลิตกรดอะซิติกและกรดโพรพิออนิกอย่างละ 1 โมล

บทบาทของไฮโดรเจนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน จะมีผลผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยไฮโดรเจนเกิดจากปฏิกิริยาการปลดปล่อย H^+ ของ NADH ดังสมการ (2)

$$2NADH \longrightarrow 2NADH^{+} + H_2 + 2e^{-} \quad (20)$$

ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการฟื้นอำนาจของ NAD^{+} เพื่อใช้เป็นพาหนะของอิเลคตรอนในปฏิกิริยารีด๊อกซ์

$$NAD^{+} + 2e^{-} + H^{+} \longrightarrow NADH \quad (21)$$

ภายใต้ภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ สมการ (2) จะเกิดขึ้นได้โดย H_2 สามารถหนีออกจากน้ำสู่บรรยากาศในถังย่อย ทำให้เกิดปฏิกิริยาในสมการ (2) สามารถเกิดขึ้นจากซ้ายไปขวาได้ตลอดเวลา หากขบวนการไร้ออกซิเจนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะต้องมีการทำงานที่สัมพันธ์กันของ H_2 -Utilizing methane bacteria โดยใช้ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในการผลิตมีเทนตามสมการ (6)

$$4H_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CH_4 + 3H_2O \quad (22)$$

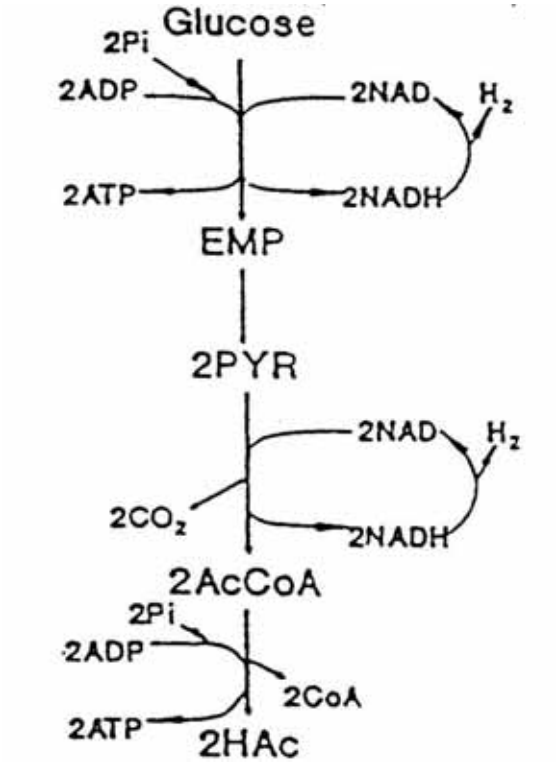
การสะสมไฮโดรเจนจึงไม่เกิดความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนจึงมีค่าต่ำตลอดเวลา แต่ถ้าการทำลายไฮโดรเจนไม่มีประสิทธิภาพหรือไม่เกิดขึ้น ทำให้ไฮโดรเจนเกิดการสะสมตัวจนถึงจุดอิ่มตัวแล้วความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงขึ้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการไร้ออกซิเจน 2 ประการคือ

ผลกระทบต่อการสร้างกรดไขมันระเหย

เมื่อไฮโดรเจนเกิดการสะสมตัวมาก จนความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง ทำให้แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนหาทางปลดปล่อย H^{+} จาก NADH โดยการเปลี่ยนกรดไพรูวิกไปเป็นกรดโพรพิออนิก ดังสมการ (8)

$$CH_3COCOOH + 2NADH + ADP + P \longrightarrow CH_3CH_2COOH + 2NAD^{+} + ATP + H_2O \quad (23)$$

ปฏิกิริยาข้างต้น จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงกว่า $2 * 10^{-3}$ บรรยากาศ ปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันระเหย ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ และสูง ดังแสดงในภาพที่ 5 และ ภาพที่ 6



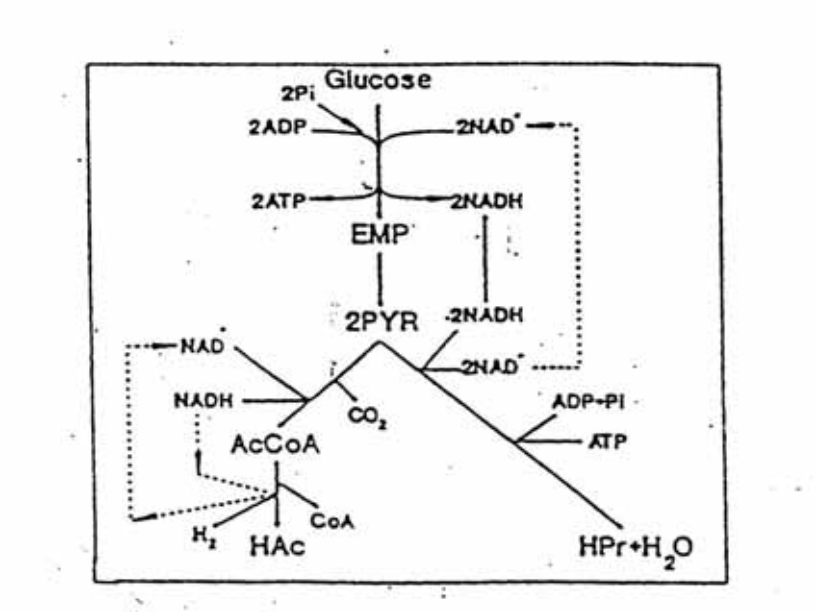
<u>ภาพที่ 5</u> ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคสภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ โดยวิถีทาง EMP (EMP-Embden-Meyerhof pathway; PYR – pyruvic acid; AcCoA-acetyl coenzyme A; Hac – acetic acid)

ที่มา: Sam – Soon et al. (1987)

ผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติก

ขั้นตอนการสร้างอะซิเตท เป็นขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ให้เป็นกรดอะซิติก โดย acetogenic bacteria จึงสามารถนำไปสร้างมีเทนได้ การเปลี่ยนแปลงกรดโพรพิออนิกไปเป็นกรดอะซิติกแสดงได้ดังสมการ

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \qquad (24)$$



<u>ภาพที่ 6</u> ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคสภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง โดยวิถีทาง EMP (EMP-Embden-Meyerhof pathway; PYR-pyruvic acid; AcCoA-acetyl coenzyme A; Hac-aceticcacid)

ที่มา: Sam-Soon et al. (1987)

พบว่า มีไฮโดรเจนเกิดขึ้นด้วย หากไฮโดรเจนไม่ถูกกำจัดออก ปฏิกิริยาในสมการที่ (13) จะหยุดทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นกรดโพรพิออนิกไปเป็นกรดอะซิติกได้ หากความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าไม่เกิน $9*10^{-3}$ บรรยากาศ ปฏิกิริยา (13) จะดำเนินไปได้ แต่หากมีค่าเกิน $9* 10^{-3}$ บรรยากาศจะทำให้มีกรดโพรพิออนิกสะสมอยู่ในระบบ เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก การสะสมตัวของกรดโพรพิออนิก หรือกรดไขมันระเหยอื่น ๆ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบมีค่าต่ำลง จนทำให้ระบบมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และยังพบว่ากรดโพรพิออนิกเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียไร้ออกซิเจน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไม่เติมอากาศ จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

BOD ค่า BOD ของน้ำเสียทั่วไปมีได้ประมาณตั้งแต่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปถึง BOD ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ เป็นพันเป็นหมื่น มก.ต่อลิตรได้ โดยปกติระบบนี้สามารถลด BOD ของน้ำเสียได้ต่ำถึงระดับประมาณ 20-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า BOD ของน้ำเสียและลักษณะน้ำเสีย คือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถทำให้น้ำที่ผ่านระบบดังกล่าวมีคุณภาพถึงระดับ BOD_5 เท่ากับ 10 หรือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ง่ายนัก

pH เป็นตัวที่วัดค่าความเป็นกรดหรือด่างในระบบ บ่อยครั้งพบว่า pH ของน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียตกลงไปถึง 3-4 ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อระบบบำบัด เพราะระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องควบคุมให้อยู่ในระดับ pH ประมาณ 7-8 ดังนั้นอาจใช้ปูนขาวหรือด่างชนิดอื่น ๆ ใส่ลงไปทำให้ pH ของระบบมีสูงขึ้น ถ้าเติมด่างมากเกินไปจะทำให้ pH ในระบบมีสูงเกิน 8 ก็ไม่เหมาะสมอีก ดังนั้นค่า pH ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.6-8.0 เพราะว่าเมื่อมี pH ต่ำกว่า 6.6 จะทำให้เกิดก๊าซ CO_2 มากกว่าปกติ และจะเกิดกลิ่นเหม็นพร้อม ๆ กับมีฝาตะกอนลอยขึ้นมามากมาย และเมื่อ pH สูงกว่า 7.5-8.0 จะทำให้แบคทีเรียประเภทที่ช่วยผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) มีน้อยลงและเชื่องช้า และถ้ามี pH สูงขึ้นถึง 9.0 ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์จะไม่ทำงาน นั่นคือการกำจัด BOD ของน้ำเสียมีน้อยลงอย่างมาก

อุณหภูมิ ของน้ำในระบบมีความสำคัญมาก พบว่าอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมควรอยู่ในช่วง 37-40 °ซ และอุณหภูมิที่เหมาะสมอีกช่วงคือช่วง Thermophilic (55°ซ) การผลิตก๊าซมีเทนจะมีต่ำลงมาก ณ อุณหภูมิ 42 °ซ สำหรับการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนและจะมีความเหมาะสมกับประเทศไทยมาก เพราะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม

สารพิษ ที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียในที่นี้ หมายถึง สารโลหะต่าง ๆ ได้แก่ Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++} และแอมโมเนีย เป็นต้น พบว่าถ้ามีปริมาณสารพิษมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (ลดBOD) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลปริมาณสารพิษที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สารพิษ	ปริมาณที่มีผลต่อระบบบำบัด (มก/ลิตร)
โซเดียม (Na+)	> 3500
โปแตสเซียม (K+)	> 2500
แคลเซียม (Ca++)	> 2500
แมกนีเซียม (Mg++)	> 1000
แอมโมเนีย (ของ N)	> 1500

ก๊าซที่ผลิตได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 70 % ก๊าซ CO_2 ประมาณ 30 % และก๊าซอื่น ๆ อีกเล็กน้อยคือ ก๊าซ N_2, H_2, H_2S ฯลฯ ปริมาณของก๊าซที่ผลิตออกมาได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์และชนิดของน้ำเสีย ตารางที่ 6 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากน้ำเสียประเภทต่าง ๆ โดยพบว่าก๊าซที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้คือ 0.5 ลูกบาศก์เมตรของก๊าซที่ผลิตได้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1.0 กิโลวัตต์ – ชั่วโมง

ตารางที่ 6 ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซที่ผลิตออกมาได้จากน้ำเสียประเภทต่าง ๆ

วัสดุ	ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (ลิตร/กก.ของสารอินทรีย์ตากแห้ง)
กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน	600
ขยะมูลฝอยจากชุมชน	300
น้ำเสียจากโรงงานเบียร์	440
เปลือกกล้วย	450
อุจจาระหมู	400
เปลือกของต้นอ้อย	500
หญ้า	550

เมื่อกล่าวถึงปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตออกมาได้โดยเปรียบเทียบกับ BOD_5 จะได้ว่า 1 กิโลกรัมของ BOD_5 สามารถผลิตก๊าซได้ประมาณ 0.35 ลูกบาศก์เมตร หรือ 350 ลิตร สมการ (1) ได้แสดงสูตรคำนวณหาปริมาตรของก๊าซมีเทนจากข้อมูลของค่า BOD_L ของน้ำเสีย

$$Q_{\text{มีเทน}} = 0.35\left(\frac{EQS_O}{1000} - 1.42\,P_X\right) \qquad (25)$$

ในเมื่อ : $Q_{\text{มีเทน}}$ = ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

0.35 = ปริมาตรของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากการกำจัด BOD_L 1.0 กิโลกรัม, ลูกบาศก์เมตร CH_4ต่อกิโลกรัมBOD_L

E = ประสิทธิภาพของการย่อยสลายน้ำเสีย (0.6-0.9)

Q = ปริมาณน้ำเสียไหลเข้าระบบ, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

S_O = ค่า BOD_L ของน้ำเสีย, กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.42 = ค่าตัวคูณที่เปลี่ยนตัวจุลชีพไปเป็นค่า BOD_L

P_X = ปริมาณของตัวจุลชีพที่เกิดขึ้นต่อวัน, กิโลกรัมต่อวัน

$$P_X = \frac{YQES_O}{(1+K_d\theta_c)\,1000}$$

เมื่อ : Y = อัตราส่วนระหว่างจำนวนจุลชีพที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย, มิลลิกรัมMLVSSต่อมิลลิกรัมBOD_5

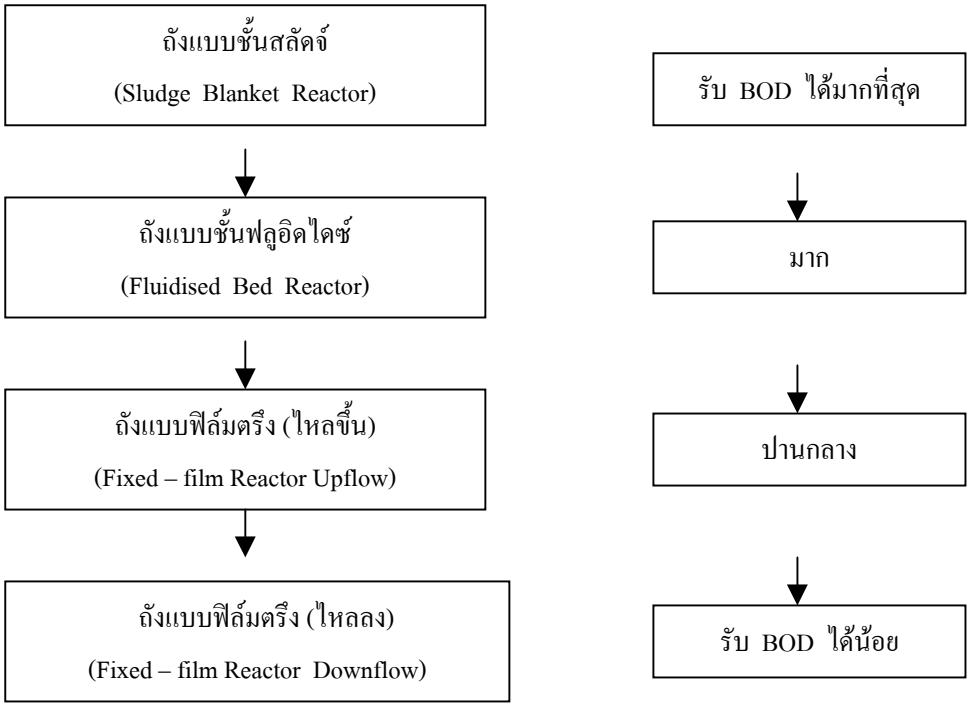
Kd = ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของจำนวนจุลชีพ, มิลลิกรัมต่อ (มก.วัน)

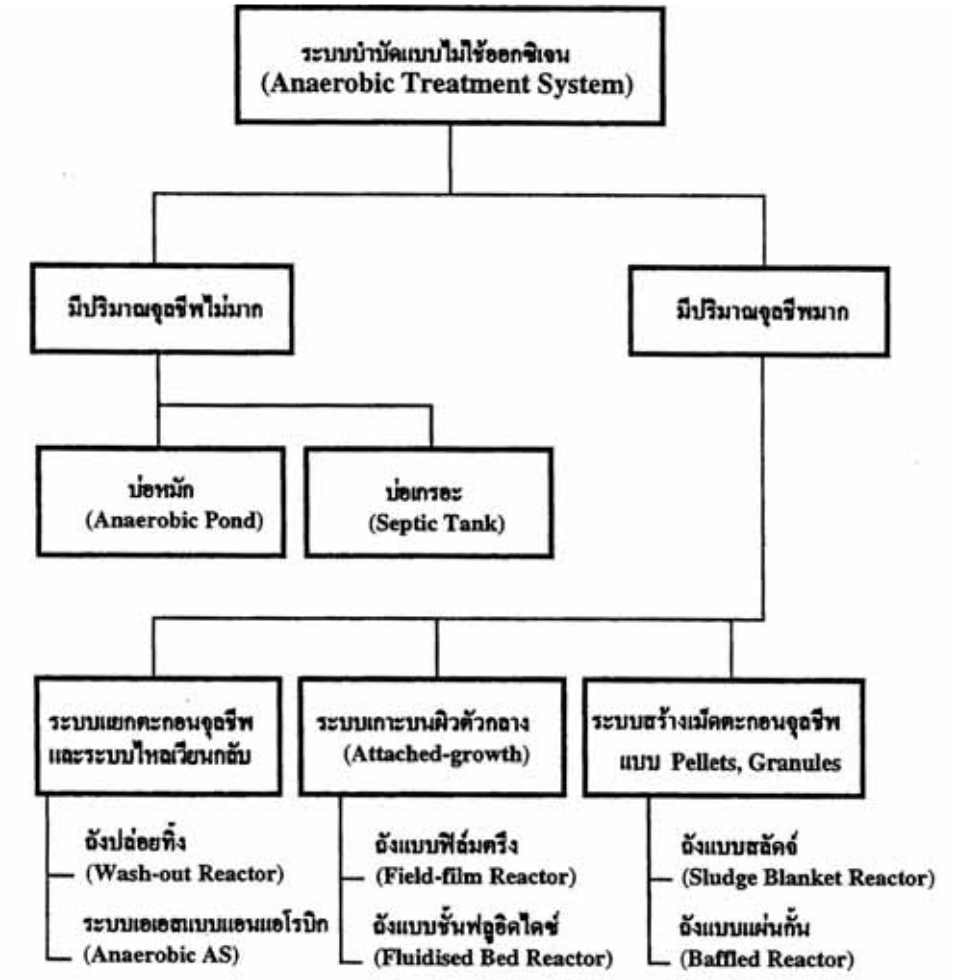
θc = อายุตะกอน, วัน

ค่าความเป็นกรด - ด่างในระบบ ค่าความเป็นกรด - ด่างในระบบมีความสำคัญมากต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic โดยใช้ค่า Alkalinity สำหรับแสดงความเป็นด่าง และค่า Volatile Acids สำหรับแสดงความเป็นกรดจากข้อมูลทางวิชาการพบว่าค่า Alkalinity ควรมีอยู่ในช่วง 1000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ $CaCO_3$ โดยค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2000-3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ $CaCO_3$ สำหรับค่า Volatile Acids ควรอยู่ในช่วง 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตรของ Acetic และมีค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ระบบเท่ากับ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตรของ Acetic

<u>กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน</u>

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีหลายวิธีหลายลักษณะ ซึ่งทั้งหมดมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน จากเอกสารทางวิชาการของ Lettinga et al. (1984) ได้เปรียบเทียบความสามารถในการรับ BOD ขนาดต่าง ๆ จากมากไปสู่น้อยตามลำดับข้างล่าง



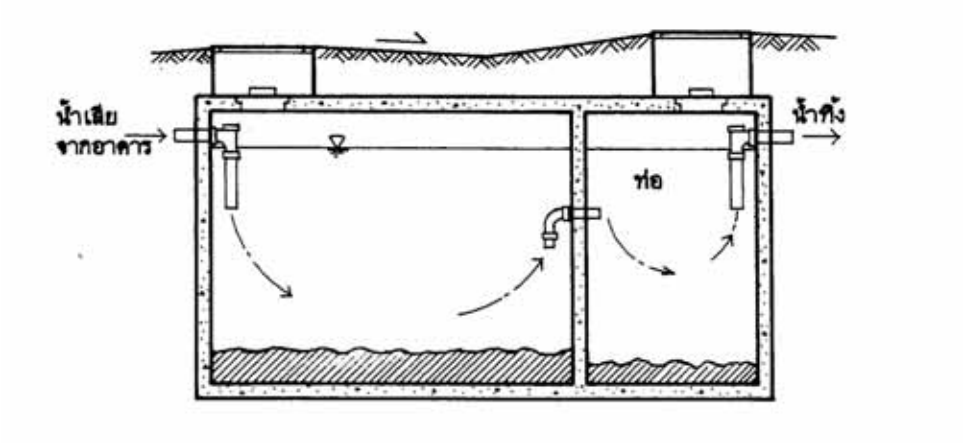


ภาพที่ 7 กระบวนการต่าง ๆ ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ถังเกรอะ (Septic Tank)

ถังเกรอะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียประเภท Anaerobic เช่นเดียวกันเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดเหมาะสำหรับอาคารพักอาศัยทั่วไป อาคารสำนักงาน ฯลฯ ที่มีปริมาณน้ำทิ้งไม่มากนัก ระบบนี้จะมีการก่อสร้างไม่ยุ่งยากนัก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้ ผู้ชำนาญการดูแลรักษาระบบแต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ น้ำทิ้งที่ไม่ไหลผ่านถังเกรอะแล้วจะยังมีความสกปรกอยู่มาก จึงต้องมีการบำบัดในขั้นต่อไปอีก พบว่าถ้ามีปริมาณน้ำเสียเกิน 7.5 มิลลิกรัมต่อวัน ควรมีถังเกรอะ 2 ชุดวางเรียงอนุกรมกัน



<u>ภาพที่ 8</u> ถังเกรอะ

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

<u>ตารางที่ 7</u> ข้อมูลการออกแบบถังเกรอะ

ข้อมูลออกแบบถังเกรอะ	ขนาดต่าง ๆ
เวลาเก็บกักของถังเกรอะ	1 วัน (เฉพาะน้ำไหลเข้า)
ปริมาตรของน้ำเสียในถัง	อัตราไหลเข้าสูงสุดในรอบวัน, ลบ.ม.
ปริมาตรของตะกอนในก้นถัง	0.06 ลบ.ม./(คน.ปี)
ปริมาตรของฝาตะกอนลอยในถัง	0.02 ลบ.ม./(คน.ปี)
ระดับน้ำต่ำกว่าฝาปิดถัง	0.30 ม.
ระดับน้ำลึกในถัง	1.00 ม.
ขนาดท่อน้ำทิ้งเล็กที่สุดที่ยอมให้มี	100 มม.
ขนาดความยาวต่อความกว้างของถัง	> 3 : 1
ระยะห่างระหว่างชั้นตะกอนกับท่อออก	> 100 มม.
พื้นที่ผิวของชั้นตะกอน / ระดับน้ำลึก	> 3 ม.
ขนาดความจุน้อยที่สุดของถัง	3.80 ลบ.ม.

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ตารางที่ 8 คุณภาพของน้ำทิ้งจากถังเกรอะสำหรับอาคารพักอาศัยทั่วไป

คุณภาพ	ข้อมูล	คุณภาพ	ข้อมูล
pH	7-8.5	ออกซิเจนละลาย (DO)	0 มก./ลิตร
E.Coli	10^6-10^8/100 มล.	อุณหภูมิ ณ 27 °ซ ของอากาศ	5-15 °ซ
BOD_5	90-380 มก./ลิตร	COD	150-720 มก./ลิตร
TSS	40-350 มก./ลิตร	VSS	30-28 มก./ลิตร
TS	820 มก./ลิตร	TOC	130 มก./ลิตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	30-50 มก./ลิตร	อินทรีย์ไนโตรเจน (Org-N)	9-15 มก./ลิตร
แอมโมเนีย (NH_3-N)	20-35 มก./ลิตร	ฟอสเฟต (PO_4)	20-30 มก./ลิตร
คลอไรด์ (Cl^-)	75-95 มก./ลิตร	Alkalinity ($CaCO_3$)	400 มก./ลิตร
ไขมัน	50-150 มก./ลิตร		

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ถังแบบฟิล์มตรึงแอนแอโรบิก (Anaerobic Fixed-film Reactor)

ถังบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มตรึงแอนแอโรบิก เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงมาก สามารถบำบัดน้ำเสียทั้งที่มี BOD_5 ไม่มากระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่านั้น ระบบนี้มีจุลชีพเกาะผิวตัวกลางเป็นหลักด้วยอาศัยการเกาะติดทางกายภาพ เพื่อป้องกันการชะล้างจุลชีพทิ้งออกจากระบบทำให้ระบบนี้มีอายุสลัดจ์และปริมาณจุลชีพมากพอกับการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นข้อดีของระบบบำบัดนี้ เพราะได้ใช้ขนาดถังที่มีจำนวนปริมาณจุลชีพมากเพียงพออย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะมีค่าอายุสลัดจ์หรือเวลาเก็บกักของสลัดจ์ประมาณ 10 ถึง 100 เท่าของเวลาเก็บกักของน้ำเสียในระบบถังแบบฟิล์มตรึงแอนแอโรบิกสามารถรับน้ำเสียแบบมีปริมาณช็อคได้ดี และแม้กระทั่งระบบบำบัดถูกกระทบจนประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตกลงก็สามารถฟื้นประสิทธิภาพบำบัดได้เหมือนเดิมภายในเวลาไม่กี่วันอาจเพียงสองสามวัน

หลักการของระบบนี้คือ น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ไหลผ่านตัวกลางอาจไหลขึ้นหรือลงก็ได้ ซึ่งมีจุลชีพเกาะบนผิวตัวกลางที่ควรมีผิวขรุขระ (ให้มีพื้นที่ผิวมาก ๆ คือ มีค่าขนาดพื้นที่ผิวตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของตัวกลาง) ทำให้มีจำนวนจุลชีพแบบเกาะผิวตัวกลางมาก ๆ คือ มีจำนวนจุลชีพเกาะบนผิวมาก ๆ แต่ไม่ควรให้มีความหนาของจุลชีพหนาจนเกินไป เพราะเมื่อฟิล์มจุลชีพหนาจนเกินไป จะทำให้จุลชีพที่อยู่ชั้นในของฟิล์มจุลชีพไม่ได้สัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) ทำให้เกิดจุลชีพชั้นในเน่าตายและเกิดหลุดออกจากผิวตัวกลาง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอุดตันขึ้นในระบบบำบัด และเกิดการไหลลัดวงจรได้ ระบบนี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ตัวกลางบรรจุอยู่ภายในระบบถัง ทั้งนี้เพื่อให้มีอายุสลัดจ์หรือเวลาเก็บกักของสลัดจ์ยาวนาน แต่มีเวลาเก็บกักของน้ำเสียต่ำกว่า เพราะพวกสลัดจ์จะไปเกาะบริเวณผิวตัวกลาง ยิ่งมีผิวขรุขระมากเท่าไรก็จะยิ่งสามารถมีปริมาณสลัดจ์ (น้ำหนักสลัดจ์ต่อ ตร.ม.) มากขึ้นด้วย ระบบนี้สามารถแบ่งออกได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter)
ถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง (Downflow Anaerobic Filter)
ถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง-ไหลขึ้น (Downflow-Upflow Anaerobic Filter)

ก. ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter)

โดยจุลชีพที่บรรจุอยู่ในระบบจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งตัวจุลชีพจะเกาะอยู่บริเวณผิวตัวกลาง และบางส่วนจะอาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลาง ทำให้ระบบนี้ไม่ต้องมีการกวนน้ำเสียภายในถัง การจำกัด BOD ของน้ำเสียโดยระบบนี้จะใช้กระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การดูดซับ (Adsorption) การกรอง และปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวเคมี ระบบนี้จะใช้เวลาเก็บกักของน้ำเสียอาจมีตั้งแต่ 1-10 วัน โดยสามารถรับ COD ของน้ำเสียได้ตั้งแต่ 4 ถึง 16 กก. COD/(ลบ.ม.วัน) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวกลางที่สามารถใช้ได้คือพวกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ ได้แก่ ก้อนหิน พลาสติก อิฐ ยาง ดินเผา เป็นต้น พบว่าตัวกลางที่ใช้ดินเผาจะมีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบค่อนข้างดีมาก เพราะว่ามีพื้นที่ผิวขรุขระมากสามารถมีจำนวนตะกอนจุลชีพมากในระบบ สำหรับขนาดของตัวกลางไม่ควรมีขนาดเล็กหรือใหญ่จนเกินไป ถ้ามีขนาดเล็กจนเกินไปอาจจะทำให้เกิดปัญหาอุดตันขึ้นได้ง่าย ทำให้เกิดการไหลลัดวงจร แต่ถ้าใช้ตัวกลางขนาดใหญ่เกินไปอาจทำให้มีพื้นที่ผิวตัวกลางน้อยลง ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลงไปด้วย

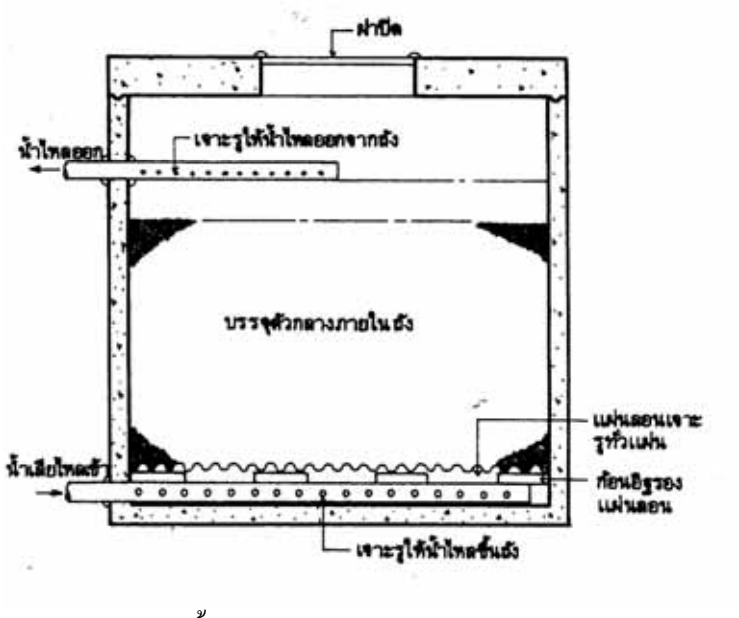
ระบบแบบถังไร้อากาศแบบไหลขึ้น จะมีจุลชีพสองประเภทคือ ประเภทแขวนลอยและประเภทเกาะผิวตัวกลาง ระบบนี้จึงใช้จุลชีพทั้งสองประเภทในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อมีจุลชีพแขวนลอยเกิดสะสมอยู่ภายในถัง ทำให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางไม่สะดวกอาจเกิดการไหลลัดวงจรได้ อย่างไรก็ตามตัวกลางก็ยังมีความสำคัญอยู่ในการเลือกใช้ตัวกลางที่เหมาะสมก็ควรดูที่ค่าขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ แต่ไม่สำคัญเท่ากับของถังกรองไร้อากาศแบบไหลลงตังกลางที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นอาจใช้ก้อนหินหรือลูกบอลพลาสติกขนาด 20 มิลลิเมตร จะมีปริมาตรช่องว่างประมาณ 40% โดยทั่วไปสำหรับถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นนิยมใช้ตัวกลางขนาด 20-170 มิลลิเมตร ตัวกลางที่ดี คือ มีพื้นที่ผิวมาก ๆ และ มีความพรุน (Porosity) คอปริมาตรรวมของช่องว่างในตัวกลางเป็นร้อยละของปริมมาตรทั้งหมด แต่ถ้ามีความพรุนมากก็จะทำให้รบบมีจุลชีพแขวนลอยทับถมอยู่ในช่องว่าง ทำให้เกิดแทนที่น้ำจึงมีขนาดความจุถังน้อยลง และยังทำให้เกิดการไหลขึ้นตามช่องว่างที่มีให้ ซึ่งเกิดปัญหาน้ำเสียไหลขึ้นค่อนข้างเร็ว

ในบางครั้งบางเวลาน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบมีค่า BOD สูงมากกว่าปกติก็อาจแก้ไขได้โดยการสูบน้ำทิ้งที่ไหลผ่านระบบ Anaerobic Filter นี้แล้วกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้งเพื่อทำให้ BOD ผสมมีขนาดความเข้มข้นปกติ หรือมากกว่าเล็กน้อย

สำหรับขนาดความลึกของตัวกลางที่ควรมีระบบ ไม่จำเป็นต้องมีมาก ๆ เพราะถ้ามีขนาดความลึกของตัวกลางมากเกิน 1.50 เมตร ก็อาจเริ่มเกิดปัญหาอุดตันหรือสูญเสียความดัน (head loss) ขึ้น ดังนั้นอาจใช้ความลึกของตัวกลางประมาณ 1.20 เมตร ก็น่าจะเพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำเสียทั่วไป

เวลาเก็บกักของถังกรองไร้อากาศประมาณ 7 วัน ขึ้นไปจะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง และควรมีเวลาเก็บกักอย่างน้อย 4 วัน สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเพื่อสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำโสโครกด้วย

โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศสามารถกำจัด BOD_5 ให้ลงเหลือได้ไม่ต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จากงานวิจัยของ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และเพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากถังบำบัดน้ำส้วมแบบแอนแอโรบิค ซึ่งผลของคุณภาพน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปที่ติดตั้งไว้ในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยทั่วไปได้ (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9)



ภาพที่ 9 ถังกรองไร้อากาศแบบขึ้น

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ตารางที่ 9 คุณภาพน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปของอาคารพักอาศัยทั่วไป

ข้อมูล	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย
อุณหภูมิ, °ซ	28 – 32	29.9
BOD_5, มก/ล	20.5 – 41.9	31.2
COD, มก/ล	106 – 236	171
TKN, มก. N/ล	43 – 119	80.9
NH_3 – N, มก. N/ล	35 – 111	73
Org - N, มก. N/ล	3.6 – 12.1	7.9
ฟอสฟอรัสทั้งหมด, มก. P/ล	4.5 – 19.1	11.8
TSS, มก/ล	10.1 – 55.3	32.7
TDS, มก/ล	225 – 444	334
Settle able Solids, มก./ล	0 – 0.6	0.2
pH	6.8 – 7.8	7.3
โคไลฟอร์ม, MPN/100 มล.	$1.6 \times 10^5 – 7.5 \times 10^5$	4.6×10^5

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ข้อดีของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

1) ก่อสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน

2) การดำเนินการและบำรุงรักษาระบบง่าย ไม่ยุ่งยาก

3) สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซ CO_2 เป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีสลัดจ์ชีวภาพเกิดขึ้นน้อย ช่วยลดภาระจัดการสลัดจ์

4) มีค่าสูญเสียความดันต่ำในระบบถังบำบัด โดยปกติจะมีน้อยกว่า 0.15 เมตร

5) มีความต้องการสารอาหาร (Nutrients) น้อยสำหรับระบบบำบัด

6) น้ำทิ้งมีกลิ่นน้อย และมี TSS ไม่มากนัก พอยอมรับได้โดยไม่รบกวนชุมชนข้างเคียง

7) สามารถรับน้ำเสียที่มีอัตราไหลน้ำเสียแปรเปลี่ยนมากได้ แม้กระทั่งไม่มีน้ำเสียไหลต่อเนื่องก็ยังสามารถเดินระบบได้ดี

8) ในระบบมีตัวกลางบรรจุอยู่ในถังกรอง ทำให้ตัวกลางเหล่านี้ช่วยป้องกันการไหลทิ้งของของแข็งแขวนลอย

9) ถังกรองอากาศแบบไหลขึ้นจะช่วยเสริมประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำทิ้งจากอาคารที่มีถังเกรอะอยู่แล้ว

10) ถังกรองอากาศแบบไหลขึ้นต้องการล้างถังบ้างแต่นาน ๆ ครั้งเป็นปี

11) ระบบนี้ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย

12) ถังกรองไร้อากาศอาจใช้กับการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งให้เป็นก๊าซไนโตรเจน (เกิด Denitrification)

13) ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องการระยะเวลาเก็บกักนาน เพราะระบบบำบัดนี้มีอายุสลัดจ์นานพอเพียงกับการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ

14) ระบบนี้สามารถรับสารพิษต่าง ๆ จนเกิดปัญหา pH ตกต่ำลง หรือปล่อยถังทิ้งไว้โดยไม่มีน้ำไหลผ่านเข้าออกเป็นเดือน ๆ ระบบถังกรองไร้อากาศนี้ก็ยังสามารถฟื้นคืนสภาพบำบัดได้รวดเร็ว

ข้อเสียของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

1) อาจเกิดการไหลลัดวงจรได้ง่าย โดยเฉพาะจะไหลไปด้วยกับช่องทางก๊าซลอยขึ้น

2) สลัดจ์ในระบบมีการกวนผสมกันน้อยมาก

3) การจัดเรียงตัวกลางค่อนข้างมีความสำคัญ เพราะอาจแทนที่น้ำมากเกินไปจนมีความจุน้ำจริงน้อยกว่าที่คำนวณออกแบบไว้ และอาจมีพวกสลัดจ์ทับถมกันจนแทนที่น้ำด้วย

4) ถ้าน้ำเสียมี TSS ค่อนข้างมากก็อาจทำให้ถังกรองไร้อากาศอุดตันได้ง่าย

5) ต้องการการเดินระบบช่วงเริ่มต้นจนถึงสภาวะคงที่ในระยะเวลานานกว่าระบบใช้อากาศ

6) โดยปกติระบบบำบัดนี้จะได้น้ำทิ้งออกที่มี BOD_5 มากกว่า 30 มก./ล.

7) เนื่องจากระบบบำบัดนี้ต้องมีค่าอายุสลัดจ์นาน ทำให้ใช้เวลาปรับสภาพใหม่นานเมื่อมีสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

8) ระบบบำบัดนี้ยังไม่มีการพัฒนาการล้างย้อนถังกรองได้ดี เนื่องจากเป็นถังขนาดใหญ่ต้องอาศัยเทคนิคซ้ำซ้อน ดังนั้นการล้างย้อนยังไม่เหมาะสม

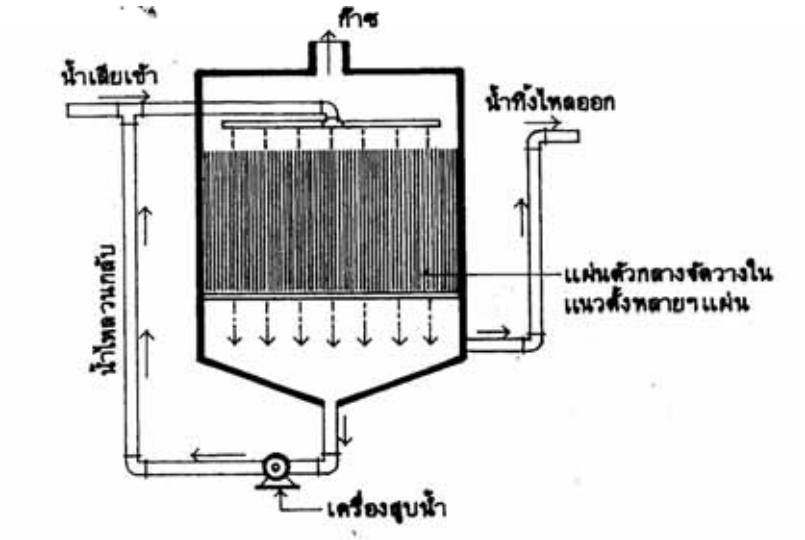
ข. ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง (Down flow Anaerobic Filter)

จะมีตัวกลางบรรจุอยู่ในระบบ สำหรับระบบนี้จะมีปริมาณสารแขวนลอยไม่มากเท่ากับของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter) น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลออกทางส่วนก้นถัง และน้ำทิ้งบางส่วนควรสูบกลับไปที่ระบบอีกครั้งเพื่อให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดียิ่งขึ้น สำหรับข้อมูลออกแบบอื่น ๆ ก็จะเหมือนกับของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

ระบบแบบไหลลงจะใช้กับน้ำสียที่มี TSS มากได้ดีกว่าของระบบไหลขึ้น พวก TSS ของน้ำเสียจะไหลผ่านฟิล์มจุลชีพ และจะชะฟิล์มจุลชีพออกบางส่วน จากนั้นจะไหลลงสู่ส่วนก้นถังออกจากระบบบำบัด ทำให้น้ำทิ้งออกของระบบนี้มี TSS ค่อนข้างสูงกว่าของระบบแบบไหลขึ้น และในระบบแบบไหลลงจะมีจุลชีพค้างอยู่ในถังบำบัดโดยเฉพาะที่เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลางเป็นส่วนใหญ่ทำให้มีจุลชีพแขวนลอยในถังไม่มากเท่ากับของระบบแบบไหลขึ้น ดังนั้นระบบแบบไหลลงจึงน่าจะเป็นระบบบำบัดแบบฟิล์มตรึงจริง ส่วนในระบบบำบัดนี้จะมีการกวนเกิดขึ้น โดยน้ำทิ้งไหลเวียนกลับไหลสวนทางกับก๊าซที่เกิดขึ้นลอยขึ้นมา

ตัวกลางที่เลือกใช้ควรเป็นตัวกลางที่มีผิวขรุขระให้มาก ๆ เช่น ดินเผา พวก Fibrous Polyester เป็นต้น จะได้ประสิทธิภาพบำบัดสูง ในการออกแบบจัดเรียงตัวกลางมีช่องว่างให้น้ำไหลผ่านขนาดประมาณ 1-2.5 เซนติเมตร มีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 100-150 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร และมีปริมาตรช่องว่างประมาณ 60-90% ของปริมาตรถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง

ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลลงจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ผิวต่อปริมาตรความจุของตัวกลาง (ตร.ม.ผิวตัวกลาง ต่อลบ.ม.ตัวกลาง) โดยเมื่อมีขนาดพื้นที่ผิวตัวกลางต่อลูกบาศก์เมตรของตัวกลางสูงก็จะมีผลให้สามารถรับภาระอินทรีย์ได้สูงขึ้นตามด้วย ซึ่งส่งผลให้เกิดก๊าซมีเทนมากขึ้นตามด้วย พบว่าระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลลงสามารถรับภาระอินทรีย์ได้เท่ากับ 5-15 กิโลกรัม COD/(ลบ.ม.วัน) โดยมีประสิทธิภาพจำกัด COD เท่ากับ 70-95% ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสีย



<u>ภาพที่ 10</u> ถังกรองไร้อากาศแบบลง

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ข้อดีของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง

1) มีการกวนสลัดจ์ค่อนข้างดี โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องกวน แต่จะอาศัยการกวนด้วยน้ำเสียไหลลงสวนทิศทางกับก๊าซลอยขึ้น

2) การไหลวนกลับสำหรับระบบบำบัดนี้ไม่จำเป็นต้องใช้

3) ระบบนี้จะมีเสถียรภาพดีขึ้นเมื่ออัตราภาระอินทรีย์สูงขึ้น

4) ก่อสร้างง่าย และมีการดำเนินการระบบบำบัดง่ายไม่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้พลังงานมากในการปล่อยน้ำเสียเข้าระบบบำบัด

ข้อเสียของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง

1) เมื่อน้ำเสียมี TSS มากจะส่งผลให้คุณภาพน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดนี้ไม่ดี

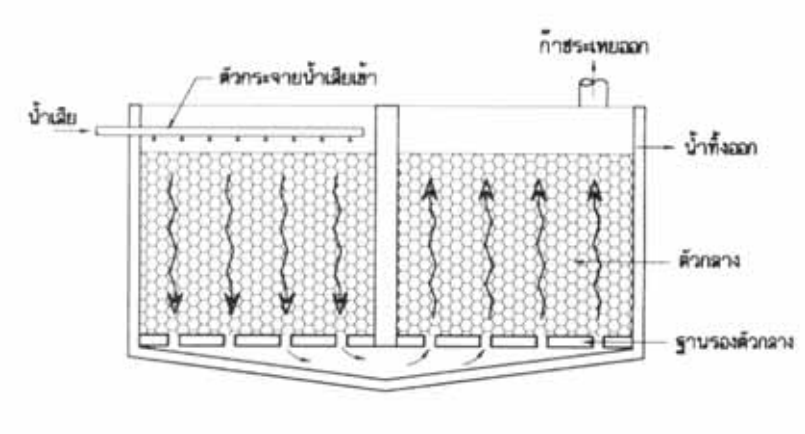
2) ต้องการดูแลระบบบำบัดในช่วงเริ่มต้นเดินระบบอย่างดี

3) ระบบบำบัดนี้ยังไม่สามารถรับภาระอินทรีย์สูงมาก ๆ ได้ดี ยังต้องการพัฒนาระบบอีก

4) ระบบบำบัดนี้ยังไม่มีการพัฒนาการล้างย้อนถังกรองได้ดี เนื่องจากเป็นถังขนาดใหญ่ต้องอาศัยเทคนิคซ้ำซ้อน ดังนั้นการล้างย้อนยังไม่เหมาะสมกับระบบนี้

ค. ถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง-ไหลขึ้น (Downflow-Upflow Anaerobic Filter)

การปล่อยน้ำเสียไหลเข้าถังต้องกระจายน้ำเสียให้ทั่วบริเวณ ส่วนหนึ่งไหลลงจะมีความคล้ายคลึงกับระบบโปรยกรอง น้ำเสียจะไหลผ่านเข้าท่อจ่ายเข้าสู่ช่องกระจาย น้ำเสียจะกระจายหรือจะหมุนแขนกระจายน้ำเสียก็ได้ แต่ต้องให้น้ำเสียได้กระจายผิวบนของถังอย่างทั่วถึง มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาจุลชีพบางบริเวณแห้งไปในที่สุด เมื่อน้ำเสียไหลลงแล้วจะไหลผ่านลงมาส่วนก้นถัง ซึ่งจะเป็นที่รวบรวมตะกอนทับถมมากมาย จำเป็นต้องมีระบบระบายถ่ายตะกอนออกทิ้งบ้าง ป้องกันการเกิดอุดตันขึ้นในระบบ บริเวณก้นถังกรองไร้อากาศจะมีฐานรองตัวกลางอาจใช้แผ่นคอนกรีตอัดแรงเว้นช่องว่างพอประมาณที่ไม่ยอมให้ตัวกลางหลุดตกลงมา แต่ให้น้ำเสียละสลัดจ์ไหลลอดผ่านได้ นั่นคือถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง โดยอาจเลือกใช้ตัวกลางที่เหมาะสมกับถังกรองไร้อากาศแบบไหลลงต่อมาน้ำเสียจากก้นถังจะไหลขึ้น ประโยชน์ของระบบบำบัดนี้คือสามารถลดขนาดความลึกถังกรองได้มาก ขณะที่ยังมีเวลาให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวกลางนานพอ เมื่อถังกรองมีความลึกไม่มากก็สามารถบำรุงรักษาถังและตัวกลางได้สะดวกง่ายขึ้น



<u>ภาพที่ 11</u> ถังกรองไร้อากาสแบบไหลลง-ไหลขึ้น (Downflow-Upflow Anaerobic Filter)

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

<u>ถังไร้อากาศแบบชั้นสลัดจ์ (Anaerobic Fluidiser Bed Reactor)</u>

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้ให้น้ำไหลขึ้น ซึ่งนิยมเรียกระบบน้ำว่า Upflow Anaerobic Sludge Blanket Treatment (UASB)

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่มีศักยภาพสูงสำหรับการบำบัดน้ำเสียหลายชนิด เป็นที่ยอมรับและมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีมากในประเทศเนเธอร์แลนด์ แต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยมมากนักในอีกหลายประเทศ อาจเนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขาดแคลนข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับการติดตั้งระบบแบบไร้ออกซิเจน

2. ขาดหลักความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมสุขาภิบาล เนื่องจากเหตุผลทางการค้า เช่น บริษัทส่วนมากได้ลงทุนศึกษาค้นคว้าและจดลิขสิทธิ์กับระบบแบบเติมอากาศไปก่อนแล้ว

3. ขาดการให้การศึกษาทางด้านวิศวกรรม

4. ขาดโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐาน การประสานงาน การค้นคว้า และศูนย์กลางด้านการศึกษาข้อมูล

5. กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน มีลักษณะทางเทคโนโลยีชีวภาพมากกว่าทางด้านวิศวกรรมโยธาหรือสุขาภิบาล

6. เทคโนโลยีทางด้านนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก จากสถาบันค้นคว้าและบริษัทเอกชนปัญหาที่มักพบเสมอของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีหลายประการ เช่น ความยากลำบากในการแยกตะกอนแบคทีเรียทำให้ตะกอนแบคทีเรียมักหลุดออกไปกับน้ำทิ้งของระบบ

7. ระบบบำบัดแบบนี้มักต้องใช้เวลากักน้ำ (hydraulic detention time) นาน ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่

8. ระบบมีเสถียรภาพในการทำงานต่ำ

ระบบยูเอเอสบีถูกพัฒนาขึ้นโดย Lettinga et al. ในช่วงปลายทศวรรษที่ 70 โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเอาชนะปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าว ระบบนี้ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบที่ประหยัดทั้งด้านการลงทุน การควบคุมระบบ ตลอดจนการบำรุงรักษา การใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอื่น ๆ จึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจและใช้กันอย่างกว้างขวาง

ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน รวมทั้งการสามารถแยกเชื้อแบคทีเรีย เช่น พวก methanogenic bacteria ออกมาเป็นเชื้อบริสุทธิ์ได้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของแบคทีเรียพวก anaerobic มากขึ้น การใช้ระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดีของระบบยูเอเอสบี

1. การก่อสร้างและควบคุมระบบ สามารถกระทำได้ง่ายและมีราคาถูก

2. มักจะไม่ต้องการใช้ไฟฟ้าและเครื่องจักรกล

3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในระบบบำบัดขนาดเล็กมากไปจนถึงขนาดใหญ่มาก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ระบบบำบัดขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว

4. เมื่อไม่จำเป็นจะต้องใช้ระบบบำบัดขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว ก็จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบดักรวบรวม และขนส่งน้ำเสียลงไป

5. ปริมาณการเกิดกากตะกอน (sludge) มีน้อยในระบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ประมาณ 10% ในขณะที่ระบบใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ถึง 50%

6. กากตะกอนที่เกิดขึ้นมีความคงตัวสูง และสามารถทำ dewatering ได้ง่าย

7. ได้มีเทนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา ก๊าซตัวนี้ใช้เป็นพลังงานได้

8. ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบใช้ออกซิเจน

9. สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่เป็นปัญหา และการเริ่มต้นเดินระบบใหม่ก็กระทำได้ง่าย ระบบสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็วจึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู

10. ระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจน สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษบางอย่างได้ เช่น พวก halogenated solvents

ข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

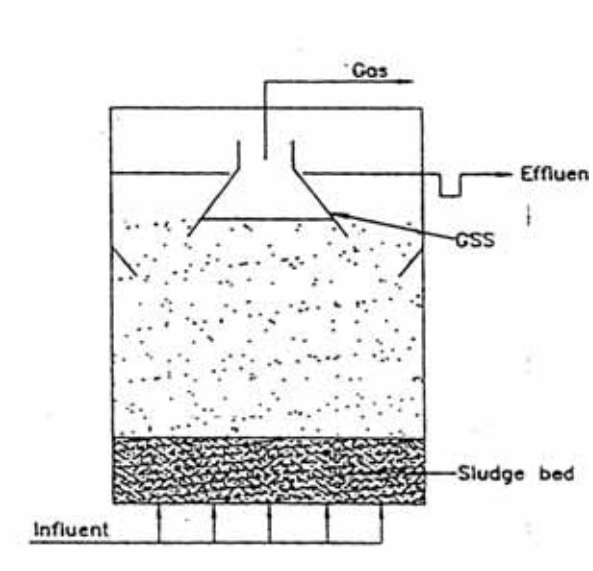
1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไม่สามารถใช้เป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้ เนื่องจากยังคงมีสาร intermediates ต่าง ๆ หลงเหลืออยู่ทำให้น้ำทิ้งมักมีค่า BOD สูง

2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักมีปัญหาที่อุณหภูมิต่ำ

3. ความรู้และประสบการณ์ในขั้นการทำงานจริงยังมีอยู่ไม่มากนัก

ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ลักษณะทั่วไปเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยม หรือทรงกระบอกก็ได้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 15



<u>ภาพที่ 12</u> แสดงลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี

1. ส่วนแรกเป็นถังปฏิกิริยาและระบบป้อนน้ำเสีย (feed inlet system) อยู่ด้านล่างของถัง

2. ส่วนที่สองเป็นส่วนแยกน้ำ ก๊าซและตะกอนแขวนลอยอยู่ด้านบนของถัง

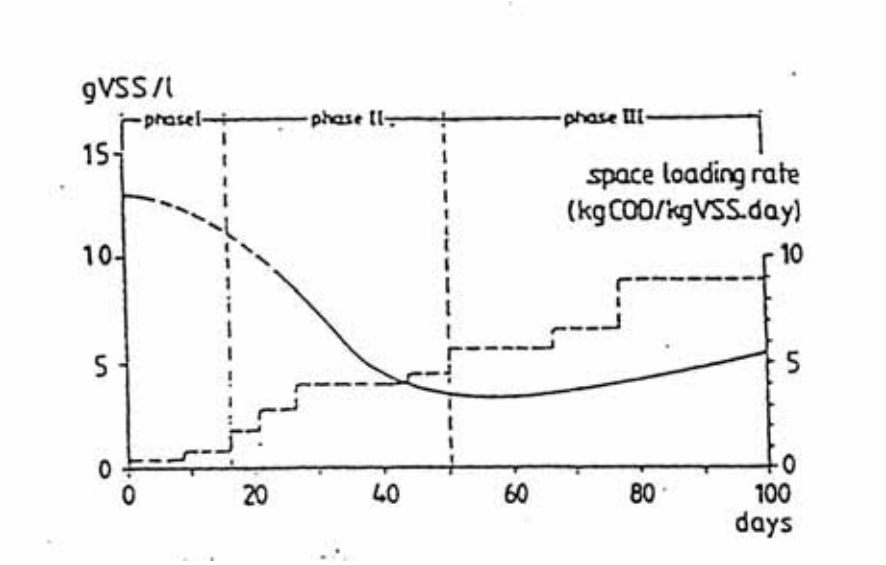
การทำงานของระบบยูเอเอสบีจะมีการเติมเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา จากนั้นทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความหนาแน่นและรวมตัวเป็นเม็ดหรือเกล็ด (granular or pellet) ทำให้มีความเร็วในการจมตัวสู่ก้นถังปฏิกิริยาสูง รวมเป็นชั้นของตะกอนนอน (sludge bed) ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ และมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าจะลอยอยู่เป็นชั้นของตะกอนแขวนลอย (sludge blanket)

เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยา จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดเซลล์และก๊าซขึ้น โดยก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนและความเร็วของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะทำให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ด้านบน ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแขวนลอย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่จนถึงส่วนบนของถังซึ่งมีอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสียและตะกอนแขวนลอย ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกแยกไปเก็บยังส่วนบน และไหลไปตามท่อสู่ที่เก็บก๊าซ ตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถังปฏิกิริยา ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของถัง

จะเห็นว่าปัจจัยสำคัญของระบบยูเอเอสบีคือ การเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะเป็นเกล็ดหรือเป็นเม็ด ซึ่งมีความหนาแน่นและน้ำหนักมากเพื่อที่จะตกตะกอนได้ดี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของระบบนี้ เพราะถ้าไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ดหรือเกล็ดจะทำให้เกิดการหลุดออก (wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ได้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงหรืออาจล้มเหลวได้ นอกจากนี้การป้องกันน้ำเสียที่เข้าระบบไม่ให้เกิดการไหลเป็นช่อง (chanelling) ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพราะมิฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบลดลงได้

กลไกการเกิดเม็ด หรือเกล็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Pelletization)

Hulshoff-Pol et al. (1983) ได้ศึกษากลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยสังเกตจากพฤติกรรมในการคงอยู่ หรือการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ดังภาพที่ 16 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบี จากการทดลองของ Hulshoff-Pol et al. ได้กล่าวถึงขั้นตอนของการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้



<u>ภาพที่ 13</u> การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถัง UASB (B)

ที่มา: Hulshoff-Pol et al. (1983)

ขั้นตอนที่ 1 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์< 2 กก.ซีโอดี / ลบ.ม.-วัน)

เป็นขั้นตอนเริ่มต้น เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบีแล้ว ชั้นตะกอนล่างจะเกิดการขยายตัว เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าไปและก๊าซที่เริ่มเกิดในระบบเกิดจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (filamentous organisms) ซึ่งทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้น้อยลง

ขั้นตอนที่ 2 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 – 5 กก.ซีโอดี / ลบ.ม. – วัน)

ขั้นตอนนี้จะมีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมากขึ้น ทำให้มีการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ๆ ออกนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และหนักสามารถคงอยู่ในถังต่อไปได้ ซึ่งเป็นการคัดเลือกของระบบที่มีการสร้างจุลินทรีย์ และมีการรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ทำให้มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนจมอยู่ส่วนล่างของถัง เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 3 (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ > 3 - 5 กก.ซีโอดี / ลบ.ม. – วัน)

เป็นขั้นตอนที่อัตราการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีมากกว่าการหลุดออกนอกถังของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งหลังจากระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว ระบบจะสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้จากการทดลองที่ผ่านมา ระบบอาจรับได้สูงถึง 50 กก.ซีโอดี / ลบ.ม. – วัน

ลักษณะของการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถัง 3 ขั้นตอน แสดงในภาพที่ 17 ซึ่งใช้เส้นกราฟความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (g.SS/1) ตามความสูงของถัง แสดงถึงขั้นตอนทั้งสามดังกล่าว

Sam – Soon et al. (1987) ทำการทดลองระบบยูเอเอสบี เพื่อศึกษาถึงที่มาและสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำแอปเปิ้ลเป็นน้ำเสีย และให้ข้อสังเกตดังนี้ การเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของ H_2- utilizing methane bacteria ชนิดหนึ่งคือ methanobacterium Strain AZ (m. Strain. AZ) กล่าวคือ ในสภาพแวดล้อมที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง อัตราส่วน ATP / ADP สูง M. Strain.AZ สามารถใช้ H_2 เป็นแหล่งพลังงานและสร้างกรดอะมิโนที่จำเป็นได้ แต่ไม่สามารถสร้าง cysteine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งและมีความสำคัญในการสร้างโปรโตพลาสซึม ทำให้ต้องอาศัย cysteine จากภายนอกเซลล์ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว และมีปริมาณ NH_3-N เพียงพอรวมทั้งปริมาณ cysteine จากภายนอกมีจำกัดจะทำให้ M Strain. AZ สร้างกรดอะมิโนขึ้นในปริมาณมาก และเมื่อมีปริมาณมากเกินไปก็จะถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์กรดอะมิโนที่ถูกปล่อยออกมาจะรวมตัวกันเป็น polypeptide ล้อมรอบจุลินทรีย์และรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้เกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขึ้น

Sam –Soon et al. (1987) ได้สรุปลักษณะสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ดังนี้คือ

1. ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนของระบบต้องมีค่าสูง

2. ปริมาณ NH_3-N ในระบบต้องมีเพียงพอ

3. ปริมาณ cysteine ในระบบต้องมีจำกัด

4. ค่าพีเอชในระบบต้องเป็นกลาง

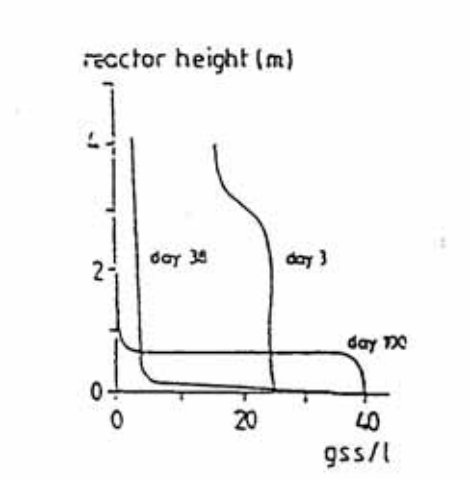
5. ลักษณะการไหลของน้ำเสียต้องเป็นลักษณะ Plug flow

De Zeeuw et al. ได้กล่าวถึงชนิดของเม็ดตะกอนและปัจจัยของการเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรียแต่ละชนิดในกระบวนการไร้ออกซิเจน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. เม็ดตะกอนชนิด A (A-type granules) เป็นเม็ดตะกอนที่เกิดจากการรวมตัวกันเองของแบคทีเรียได้เม็ดตะกอนทรงกลมแน่น ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่ม mathanothrix soehngenii

2. เม็ดตะกอนชนิด C (C-type granules) เป็นเม็ดตะกอนที่เกิดจากการรวมตัวกันเองของแบคทีเรียได้เม็ดตะกอนทรงกลมแน่น ซึ่งประกอบย้วยแบคทีเรียกลุ่ม mathansarcina ชนิด acetoclasts

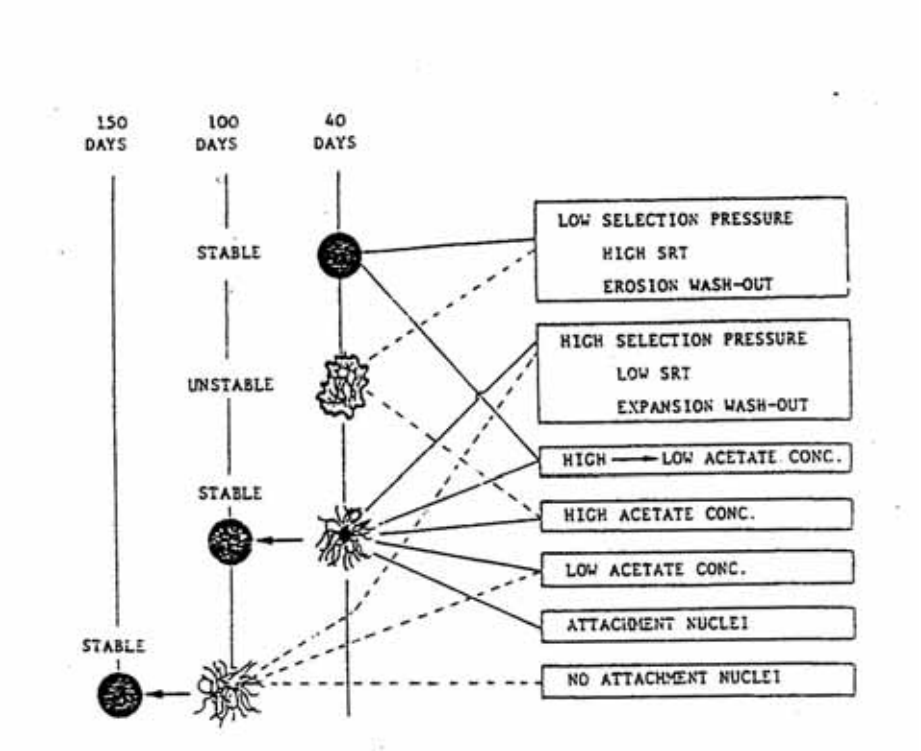
3. เม็ดตะกอนชนิด B (B-type granules) เป็นเม็ดตะกอนที่เกิดจากกลุ่มแบคทีเรียไปเกาะติดบนผิวของอนุภาคเฉื่อยขนาดเล็ก (inert particles) และเจริญเติบโตเป็นฟิล์มชีวะหุ้มรอบอนุภาคเฉื่อย จนกลายเป็นเม็ดตะกอนในเวลาต่อมา



<u>ภาพที่ 14</u> ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถัง UASB (2B)

ที่มา: Hulshoff-Pol. (1983)

ภาพที่ 18 แสดงถึงปัจจัยที่มีผลบังคับในการเกิดเม็ดตะกอนของตะกอนแบบไร้ออกซิเจน จะเห็นว่ามีตะกอนชนิด A ซึ่งเป็นเม็ดตะกอนที่มีเสถียรภาพ และตกตะกอนได้ดี เกิดขึ้นได้เสมอ เมื่อกำหนดสภาพในระบบให้มี selection pressure ต่ำ (ทั้ง hydraulic loading rate และ gas loading rate) อายุตะกอนสูง (high SRT) และการคัดล้างตะกอนเป็นแบบ erosion (erosion wash-out) พร้อมกับรักษาระดับความเข้มข้นอะซิเตทให้ต่ำ ถ้ารักษาระดับความเข้มข้นอะซิเตทให้ต่ำ ถ้ารักษาระดับอะซิเตทให้สูง จะทำให้เกิดตะกอนชนิด C ซึ่งไม่มีเสถียรภาพ ส่วนเม็ดตะกอนชนิด B จะเกิดขึ้นเมื่อกำหนดสภาพภายในระบบให้มี selection pressure สูง อายุตะกอนต่ำ และการคัดล้างตะกอนเป็นแบบ expansion (expansion wash-out) โดยความเข้มข้นอะซิเตทอาจสูงหรือต่ำก็ได้



<u>ภาพที่ 15</u> ปัจจัยที่มีผลบังคับในการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในกระบวนการไร้ออกซิเจน

ที่มา: de Zeeuw et al. (1983)

ผลของตะกอนแขวนลอยต่อเม็ดตะกอน

ตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบยูเอเอสบี อาจเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาในการใช้ระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสีย (Hulssshoff-Pol, 1989; Lettinga et al., 1985; Lin en Yang, 991; Sayed et al., 1988) การสะสมตัวของตะกอนแวนลอยในชั้นตะกอนและการรวมตัวกันระหว่างตะกอนแวนลอยกับเม็ดจุลินทรีย์ล้วนส่งผลกระทบต่อลักษณะของเม็ดตะกอน เช่น สูญเสียความสามารถในการตะกอน (settleability) ขัดขวางการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนในเม็ดตะกอน (methanogenic activity) และความต้านทานต่อแรงภายนอกของเม็ดตะกอนลดลง

ปัญหาที่เกิดจากตะกอนแขวนลอยชนิดต่าง ๆ อาจแบ่งประเภทได้ดังนี้

1. การตกค้างของสารอนินทรีย์ (inorganic material) เช่น อนุภาคดินเหนียวและเม็ดทรายในถังยูเอเอสบี อนุภาคดังกล่าวจะไปแทนที่มวลจุลินทรีย์ในระบบ (Lettina and Hulshoff - Pol, 1991; Rozzi and Verstraete, 1981; Van et al., 1990)

2. การรวมตัวกันระหว่างสารอินทรีย์พวกไฟเบอร์ (fibers) กับเม็ดตะกอนจะไปทำให้มวลจุลินทรีย์ในเม็ดตะกอนลดลง

3. การเกาะติดผิวอนุภาคอินทรีย์ที่ตกตะกอนไม่ดีโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนที่แขวนลอย (suspended methanogens) จะทำให้การเจริญเติบโตของเม็ดตะกอนลดลง

4. การดูดติดผิวเม็ดตะกอนโดยอนุภาคจำพวกไขมัน หรือโปรตีนจะทำให้สารอาหารซึมผ่านสู่ภายในเม็ดตะกอนได้ยาก และไปขัดขวางการปล่อยก๊าซชีวภาพออกจากเม็ดตะกอน

5. การย่อยสลายอนุภาคอินทรีย์บนผิวเม็ดตะกอน อาจทำให้เกิดแบคทีเรียสร้างกรดเจริญเติบโตอยู่บนผิวเม็ดตะกอน ลักษณะผิวเม็ดตะกอนเปลี่ยนไป

6. การดูดติดผิวเม็ดตะกอนโดยสารอินทรีย์ความหนาแน่นต่ำ ทำให้เกิดการหลุดออกของเม็ดตะกอน (Rinzema et al., 1969; Sayed et al., 1988) และ/หรือก่อให้เกิดชั้นผิวของเม็ดตะกอนที่มีความทนทานต่ำ แบคทีเรียสร้างกรดชนิดแขวนลอย (suspended acidogenic bacteria) มักปรากฏอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการสร้างกรดมาก่อนในรูปตะกอนแขวนลอย ฉะนั้นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการสร้างกรดมาก่อนจึงไม่ควรละเลยปัญหาที่อาจเกิดจากตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียดังได้กล่าวข้างต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

อุณหภูมิ (temperature)

ระบบยูเอเอสบีสามารถแบ่งช่วงการทำงานในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 3 ช่วง คือ

1. ช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิค (thermophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 50-65 °ซ.

2. ช่วงการทำงานของมีโซฟิลิค (mesophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 20-45 °ซ.

3. ช่วงการทำงานของไซโคฟิลิค (phychrophilic) มีอุณหภูมิประมาณ 20 °ซ.

แม้ว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิค จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิค แต่นิยมให้แบคทีเรียอยู่ในช่วงมีโซฟิลิคในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เนื่องจากพบว่าพวกเทอร์โมฟิลิคจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า ส่วนช่วงไซโคฟิลิคก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมากและในส่วนของการย่อยสลาย (hydrolysis) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 20 °ซ. ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอจึงมีความสำคัญมากกว่าที่จะให้มีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด

พีเอช, สภาพความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหย (pH, alkalinity, volatile fatty acid)

ค่าพีเอช, สภาพความเป็นด่าง, และกรดไขมันระเหย มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 6.8 – 7.2 ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดมักสามารถปรับตัวได้ในช่วงที่มีพีเอชกว้างกว่า กรดไขมันระเหยที่ผลิตโดยพวกแบคทีเรียที่สร้างกรดปกติควรมีค่าอยู่ในระบบประมาณ 200 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของกรดอะซิติก โดยถ้าปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณแสดงว่าระบบเสียสมดุลย์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิกมากกว่า 1000 มก./ล. จะแสดงความเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวแสดงให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของระบบ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำไม่พอเพียง ปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสภาพดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นถ้ามีกำลังของบัฟเฟอร์มากพอ โดยทั่วไปในการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าสภาพความเป็นด่างประมาณ 2000 – 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก) ต่อสภาพความเป็นด่างไปคาร์บอเนต (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งเป็นการแสดงค่ากำลังของบัฟเฟอร์ทางหนึ่ง โดยถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่ามีกำลังของบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมากกว่า 0.8 แสดงว่ามีกำลังของบัฟเฟอร์ต่ำ อาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้

สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมพีเอช ได้แก่ การเติมด่างแก่ไบคาร์บอเนต หรือคาร์บอเนตให้แก่ระบบ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้เติมให้ระบบ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี เป็นการเติมไบคาร์บอเนตให้แก่ระบบโดยตรงแต่ราคามักจะสูงกว่าสารอื่น

สารอาหารเสริม (nutrient)

การบำบัดด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนมีข้อดีอย่างหนึ่งคือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นมาน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำกว่า McCarty กล่าวว่าจุลินทรีย์ต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อย่างน้อยควรมีอัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100: 1.1: 0.2 ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ มิฉะนั้นระบบไม่อาจดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ ธาตุดังกล่าว ได้แก่ เหล็ก, โคบอลต์, นิเกิล และ

ซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) แต่อย่างไรก็ดีการเติมธาตุดังกล่าวให้กับแบคทีเรียลำบาก เนื่องจากซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่าง ๆ ตกผลึกแยกออกจากน้ำได้ เช่น เหล็กรวมกับซัลไฟด์เป็นผลึกที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันอาจทำโดยเติม yeast extract หรือ milorganite ให้แก่ระบบโดยตรง

สารพิษ (toxic materials)

น้ำเสียที่จะบำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีสารที่เป็นพิษอยู่เพราะจะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบ หรือยับยั้งการเจริญเติบโต โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ความรุนแรงของพิษย่อมขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้น ๆ ด้วย สารที่เป็นพิษต่อระบบ ได้แก่

พิษของอิออนบวกกับโลหะหนัก

อิออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินความจำเป็นจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอิออนบวกที่มีวาเลนซีสูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอิออนบวกที่มีวาเลนซีต่ำ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอิออนบวก

ชนิดอิออนบวก	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	กระตุ้นพิษ	ยับยั้งปานกลาง	ยับยั้งมาก
Na^{+}	100 - 200	3500 - 5500	8000
Ka^{+}	200 - 400	2500 - 4500	12000
Ca^{2+}	100 - 200	2500 - 4500	8000
Mg^{2+}	75 -150	1000 - 1500	3000

ที่มา: McCarty (1964)

พิษของอิออนสามารถลดความเป็นพิษลงได้ (antagonism) เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่น ๆ ในปริมาณที่พอเหมาะ เช่น พิษของ Na^{+} มีความเข้มข้น 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้ลดลงได้ถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 – 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในทางตรงกันข้ามอิออนบางชนิดจะไปเพิ่มความเป็นพิษให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน (synergism)

การยับยั้งจากโลหะหนักมีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน Mosey และ Hughes (1975) ศึกษาพบว่า Cu^{2+} มีผลต่อระบบมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลยับยั้ง 50% ของแบคทีเรียสร้างมีเทน

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มก./ล.)
Fe^{2+}	1 - 10
Zn^{2+}	10^{-4}
Cd^{2+}	10^{-7}
Cu^{+}	10^{-12}
Cu^{2+}	10^{-16}

ที่มา: Mosey and Hughes (1975)

ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์พอเหมาะ เพราะว่าซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ดีโลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับแบคทีเรีย แม้จะในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

พิษของกรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างมากเกินไป เช่น ในสภาวะที่สารอินทรีย์หรืออาหารเข้ามามากแบคทีเรียที่ผลิตกรดจะผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก หากพบว่าระบบมีกำลังของบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ ตารางที่ 12 แสดงความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่มีผลยับยั้ง 50 %ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่มีผลยับยั้ง 50 % ของแบคทีเรียสร้างมีเทน

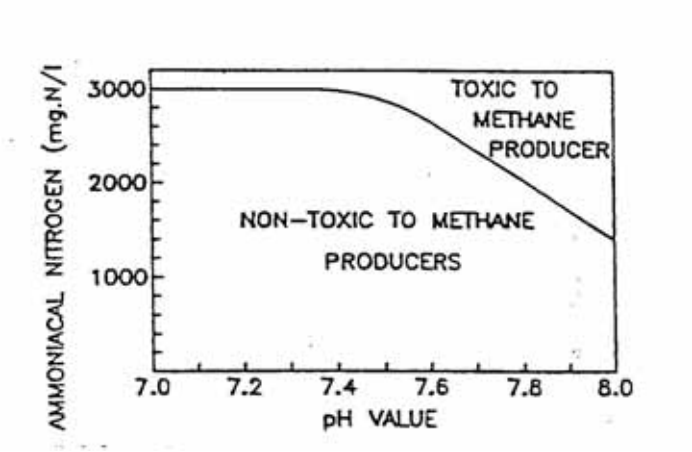
พีเอช	กรดอะซิติก (มก.ซีโอดี/ลิตร)	กรดโพรพิออนิก (มก.ซีโอดี/ ลิตร)
5.0	44	13
5.5	106	30
6.0	300	80
6.5	912	241
7.0	2851	745
7.5	8376	2358
8.0	28368	7398

พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของระบบไร้ออกซิเจน มาจากการย่อยสลายพวกโปรตีน โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน (NH^+_4) และแอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการ

$$NH^+_4 \longrightarrow NH_3 + H^+ \qquad (28)$$

โดยปริมาณของแอมโมเนียมอิออนนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชคือ ที่พีเอชประมาณ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1 % ของแอมโมเนียทั้งหมด โดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมอิออน 99 % แต่ถ้าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ปฏิกิริยาจะไปทางขวามือมากขึ้น ทำให้เกิดแอมโมเนียมาก ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียมอิออน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียคือมากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียมอิออนได้สูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการรักษาค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 หรือต่ำกว่าจะทำให้แอมโมเนียมอิออน ซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า ภาพที่ 16 แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนและพีเอชต่อระบบ ตารางที่ 13 แสดงความเข้มข้น



ภาพที่ 16 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อระบบ

ที่มา: Meynell (1976)

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบไร้ออกซิเจน

แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ล.)	ผลต่อระบบ
50 – 200	ปริมาณพอเหมาะ
200 – 1000	ยังไม่เกิดผลชัด
1500 – 3000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
> 3000	เป็นพิษโดยตรง

ที่มา: McCarty (1964)

ผลของซัลเฟตต่อระบบยูเอเอสบี

การที่น้ำเสียมีปริมาณซัลเฟตมากจะทำให้มีแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ได้ โดยกลุ่มของ Sulfate–reducing bacteria (SRB) เช่น Desulffovibrio, Dessulfotomaculum จะสามารถใช้ซัลเฟต (SO^{2-}_4) เป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้ายได้โดยซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นซัลไฟด์ได้ดังสมการ

$$SO^{2-}_4 + 4H_2 + H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O \qquad (29)$$

โดยแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะแย่งอาหารกันกับพวกสร้างมีเทน โดยสามารถใช้อะซิเตทและไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร และสามารถชนะแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ ทำให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนน้อยลง นอกจากนี้การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไป Cappenbeg พบว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ ถ้ามี H_2S เท่ากับ 0.1 nM อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาในแง่การใช้ไฮโดรเจน เป็นสารอาหารของแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะทำงานสัมพันธ์กันกับแบคทีเรียสร้างไฮโดรเจน โดยจะช่วยให้ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเสมอเป็นการลดการสะสมตัวของก๊าซไฮโดรเจนทางหนึ่ง ดังนั้นแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจึงมีบทบาทต่อการสร้างกรดไขมันระเหย และมีผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติกจากกรดโพรพิออนิกด้วย ตารางที่ 14 แสดงสมการรีดิวซ์ซัลเฟตและการผลิตมีเทน

<u>ตารางที่ 14</u> สมการรีดิวซ์ซัลเฟตและการผลิตมีเทน

Reaction	ΔG(kj / react.)	
Hydrogen – consuming		
By H-SRB $4H_2 + SO^{2-}_4 + H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O$	-152.2*	(30)
By H-MPB $4H_2 + HCO^-_3 + H^+ \longrightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135.6*	(31)
Acetate – consuming		
By A-SRB $CH_3COO^- + SO^{2-}_4 \longrightarrow HS^- + 2HCO^-_3$	-47.6*	(3)
By A-MBP $CH_3COO^- + H_2O \longrightarrow CH_4 + HCO^-_3$	-31.0*	(4)
Propionate - consuming		
By propionate-degrading SRB or by protop-reducing acetogen (PRA) wjth H-SRB:		
$4CH_3CH_2COO^- + 3SO^{2-}_4 \longrightarrow 4CH_3COO^- + 4HCO^-_3 + 4HCO^-_3 + 3HS^- + H^+$	-150.6*	(5)
By PRA:		
$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \longrightarrow CH_3COO^- + HCO^-_3 + H^+ + 3H_2$	-76.1*	(6)
By PRA with H-MPB:		
$4CH_3CH_2COO^- + 12H_2O \longrightarrow 4CH_3COO^- + HCO^-_3 + H^+ + 3CH_4$	-102.4*	(7)

ที่มา: Widdel (1988); Thauer et al. (1977); Dolfing (1988)

เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรด

Lettinga and Hulshoff (1991) แนะนำให้ใช้ถังกวนผสมอย่างสมบูรณ์เป็นถังสร้างกรดและถังปรับสภาพ (balancing tank) ที่มีอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถดัดแปลงนำมาใช้เป็นถังสร้างกรดได้ Alexiou et al. (1991) แนะนำให้ใช้ถังสร้างกรดเป็นแบบง่ายที่สุดทั้งในด้านการออกแบบและการดำเนินการ เพื่อหลีกเลี่ยงการลงทุนและค่าดำเนินการที่สูง

อุณหภูมิและพีเอช

อุณหภูมิที่เหมาะสมของถังสร้างกรดขึ้นกับค่าพีเอชที่เลือกใช้ Zoetemeyernb et al. (1982a, 1982b) กล่าวว่าอุณหภูมิของถังสร้างกรดควรอยู่ในช่วงมีโซฟิลิค หรือเทอร์โมฟิลิค โดยที่ช่วงมีโซฟิลิคจะมีส่วนประกอบของกรดที่คงที่กว่าโดยส่วนประกอบของกรดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราส่วนการเจือจาง ค่าพีเอชที่เหมาะสมของถังกรดอยู่ระหว่าง 5.8 – 6.2 ขณะที่ Cohen et al. (1980) กล่าวว่าค่าพีเอชของถังมีเทนควรอยู่ระหว่าง 7.0 – 7.2 และอัตราการสร้างกรดจะลดลงอย่างรวดเร็วที่พีเอชต่ำกว่า 5 (Lettinga et al., 1991)

ระยะเวลากักน้ำ

Lettinga and Hulshoff (1991) แนะนำว่าระยะเวลากักน้ำในถังสร้างกรด ควรอยู่ระหว่าง 6–24 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยเลือกระยะเวลาการกักน้ำที่ทำให้เกิดการมักกรด 20-40 % การทำให้เกิดกรดโดยสมบูรณ์ไม่ใช่สิ่งจำเป็น ทำให้ต้องเสียเงินลงทุนและเสียค่าดำเนินการสูงขึ้น และยังเป็นผลเสียต่อระบบ เพราะอาจมีแบคทีเรียสร้างกรดจำนวนมากปนเข้าไปในถังมีเทน ทำให้เกิดผลเสียต่อเม็ดตะกอน และการทำงานของระบบได้

การเลือกเวลาของน้ำของถังสร้างกรดขึ้นกับระยะเวลาที่ทำให้เกิดปริมาณกรดที่เหมาะสม คือ ไม่ก่อให้เกิดผลเสียกับระบบมีเทนในขั้นตอนต่อไป โดยต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมากแต่ปริมาณกรดที่ได้ไมแตกต่างกันนักด้วย เช่น Alexiou et al. (1994) พบว่าเวลากักน้ำเสียในถังสร้างกรดจาการผลิตกาแฟ 24 ชั่วโมง จะเกิดกรด 50 % ในขณะที่เวลากักน้ำ 6 ชั่วโมงจะเกิดกรด 40 % การลดเวลากักน้ำส่งผลให้ขนาดถังสร้างกรดลดลงเป็นการประหยัดการลงทุนทางหนึ่ง ดังนั้นกรศึกษาระยะเวลากักน้ำที่เหมาะสม สำหรับน้ำเสียแต่ละชนิดเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบถังสร้างกรดสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรดไม่มีข้อกำหนดตายตัว ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบอาศัยจากการศึกษาที่ผ่านมา โดยขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของน้ำเสียแต่ละประเภท ค่าพารามิเตอร์ของถังสร้างกรดที่ใช้ในการศึกษาต่าง ๆ ที่ผ่านมาแสดงในตารางที่ 14

จากการศึกษาต่าง ๆ ที่ผ่านมา พบเวลากักน้ำที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 12 ชั่วโมง (Alexiou et al., 1994)

เกณฑ์การออกแบบถังยูเอเอสบี Lettinga and Huishoff (1991) ได้แนะนำเกณฑ์การออกแบบถังยูเอเอสบีไว้ดังนี้

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate)

สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรม อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ในเทอมซีโอดีที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้) เป็นปัจจัยที่ใช้ควบคุมขนาดของถัง อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์นี้ขึ้นกับปะสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรีย (sludge activity) อุณหภูมิ และลักษณะของน้ำเสีย ปริมาตรถังสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_r = (C^* Q) / B_v$$

เมื่อ V_r คือ ปริมาตรถัง, ลูกบาศก์เมตร

C คือ ความเข้มข้นน้ำเสีย, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสีย, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

B_v คือ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วัน

ตารางที่ 15 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรด จากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน

ประเภทน้ำเสีย	พีเอช	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลากักน้ำ (ชั่วโมง)	การเกิดกรด	อ้างถึง
กลูโคส	6	37	-	-	Zoetemeyer (1982a,1982b)
	5.8	30	24	-	Alphenaar (1994)
น้ำตาล	4.8	30	3	-	Lettinga (1980)
แป้งมันสำปะหลัง	4.5-4.7	30-32	12	1200mg/l	Lwin (1996)
	7	37	24	-	ธาดา (1987)
กาแฟ	6	37	6	40-50%	Alexiou (1994)
	4.5	45	3	-	Kozuchowska (1995)
กากน้ำตาล	4.0-5.0	35-37	4.7	60%	Yoda (1997)
	6	35	3.4	50%	Romli (1994)
น้ำเสียชุมชน	-	18	4	-	Sayed (1993)
เนยแข็ง	6.5	-	-	23-28%	Malaspina F. (1996)
	4.5	35	9.6	70%	Garcia P.A. (1991)
โรงเบียร์	5.9-0.3	32	7± 2	20%	Stadlbauer (1994)
มูลหมู	-	36	4วัน	-	Cseh T. (1984)
นมผง	5.0-5.5	35	12	85%	Anderson (1994)
แป้ง	6.2	35±2	12	67%	Zhang (1994)

จากตารางที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เป็นไปได้กับอุณหภูมิในการเดินระบบที่ความเข้มข้นเท่ากับ 25 กิโลกรัม ในรูปของแข็งระเหยแขวนลอยต่อลูกบาศก์เมตร

<u>ตารางที่ 16</u> ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับอุณหภูมิสำหรับการเดินระบบยูเอเอสบี

อุณหภูมิ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี / ลบ.ม. - วัน)		การกำจัด
(°ซ)	ในรูปสารอินทรีย์ละลาย	30% ของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอย	ตะกอนแขวนลอย
15	1.5 - 3	1.5 – 2	พอใช้ได้
20	2 – 4	2 – 3	พอใช้ได้
25	4 – 8	3 – 6	ปานกลาง
30	8 – 12	6 – 9	พอสมควร
35	12 – 18	9 – 14	ค่อนข้างต่ำ
40	15 – 24	14 – 18	ต่ำ

ที่มา: Lettinga and Hulsoff (1991)

สำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ปริมาตรถังไม่ขึ้นกับความเข้มข้นน้ำเสีย แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยมากมาย เช่น ลักษณะและส่วนประกอบของน้ำเสียและสามารถหาปริมาตรถังได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_r = \tau * Q$$

เมื่อ τ คือ เวลากักน้ำ, วัน

ส่วนน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการตกตะกอนก่อน เวลากักน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เวลากักน้ำสำหรับน้ำเสียชุมชนที่ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°ซ)	เวลากักน้ำ (ชม.)
16 – 19	10 – 14
22 – 26	7 – 9
> 26	6

ที่มา: Lettinga and Hulshoff (1991)

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของถัง

พื้นที่หน้าตัดและความสูงของถัง

ความสูงของถังยูเอเอสบีเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากความสูงที่มากไปจะทำให้สิ้นเปลืองค่าก่อสร้างโดยไม่จำเป็น ถ้าน้อยไปไม่สามารถกักเก็บตะกอนไว้ได้ แนวทางในการกำหนดความสูงของถังมีดังนี้

น้ำเสียละลาย 10 เมตร
น้ำเสียละลายบางส่าน 3-5 เมตร
ซีโอดีเกิน 3000 มก./ล. 5-7 เมตร

จากค่าความสูงของถัง, เวลากักน้ำ และอัตราการไหลของน้ำเสียสามารถคำนวณพื้นที่หน้าตัดของถังหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$A = \tau * Q / H$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดถัง, ตารางเมตร
H คือ ความสูงถัง, เมตร

ความเร็วไหลขึ้น (Admissible superficial velocity)

ความเร็วไหลขึ้นเป็นปัจจัยอีกตัวหนึ่ง ซึ่งสัมพันธ์กับตัวถัง ความเร็วที่พอเหมาะจะทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับเม็ดตะกอนเกิดขึ้นอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพความเร็วไหลขึ้นสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_a = H / \tau$$

เมื่อ V_a คือ ความเร็วไหลขึ้น เมตรต่อชั่งโมง

ค่าความเร็วไหลขึ้นคิดจากพื้นที่ผิวเปียก (wet surface area) ในส่วนตกตะกอนของถังยูเอเอสบี และขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะน้ำเสียและประเภทตะกอนเป็นสำคัญ สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

- น้ำเสียละลาย	3	เมตรต่อชั่งโมง
- น้ำเสียละลายบางส่วน	1-1.25	เมตรต่อชั่งโมง
- ตะกอนจุลินทรีย์ไม่ค่อยมีเม็ด	0.5	เมตรต่อชั่งโมง

ระบบป้อนน้ำเข้า (feed inlet system)

ระบบการกระจายน้ำเข้าระบบเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง ของถังยูเอเอสบีทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนอย่างเหมาะสมและทั่วถึง ต้องกระจายน้ำเสียได้ทั่วถึงตลอดหน้าตัดไม่ทำให้เกิดการไหลเป็นช่อง (channeling)

ระบบการกระจายน้ำเข้าระบบเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของถังยูเอสบีทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนอย่างเหมาะสมและทั่วถึง ต้องกระจายน้ำเสียได้ทั่วถึงตลอดหน้าตัดไม่ทำให้เกิดการไหลเป็นช่อง (channeling) ของน้ำเสียในชั้นตะกอนและเกิดบริเวณจุดบอด (dead comers) ในถังยูเอเอสบี ตารางที่ 18 แสดงจำนวนจุดป้อนน้ำเข้าที่ต้องการ

อุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS device)

เพื่อรักษาตะกอนให้อยู่ในระบบได้มากที่สุด อุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องติดตั้งในถังยูเอเอสบี วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์แยกสามสถานะ คือ

1. เพื่อแยกและระบายก๊าซชีวภาพออกจากถัง
2. เพื่อป้องกันการหลุดออกของเม็ดตะกอน
3. ช่วยให้ตะกอนที่ตกตะกอนกลับลงสู่ส่วนล่างของถัง
4. เพื่อป้องกันการขยายตัวมากเกินไปของชั้นตะกอนและหลุดเข้าไปในส่วนตกตะกอน
5. เพื่อให้ได้น้ำที่ใสขึ้น

ตารางที่ 18 จำนวนจุดป้อนน้ำเข้าที่ต้องการในถังยูเอเอสบี

ชนิดตะกอน	พื้นที่ต่อจุด (ตร.ม.)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
- ตะกอนลักษณะเป็นฟล็อคหนาแน่น (> 40 กก. ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ/ลบ.ม.)	0.5 – 1 1 – 2 2 – 3	<1 1 – 2 >2
- ตะกอนลักษณะเป็นฟล็อคหนาแน่นปานกลาง (20- 40 กก. ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ/ลบ.ม.)	1 – 2 2 – 5	<1 – 2 >3
- ตะกอนเม็ด	0.5 0.5 – 2 >2	<2 2 – 4 >4

Lettinga and Hulshoff (1991)

เกณฑ์ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการสร้างอุปกรณ์แบบสามสถานะมีดังนี้

1. ความลาดชันของก้นส่วนตกตะกอนควรจะมีค่าระหว่าง 45 - 60°ซ

2. พื้นที่ผิวของช่องว่างระหว่างที่เก็บก๊าซควรจะมีค่า 15-20 % ของพื้นที่ผิวของถัง

3. ความสูงของที่เก็บก๊าซควรจะมีค่า 1.5 – 2 เมตร ที่ความสูงถังเท่ากับ 5 – 7 เมตร

4. พื้นที่หน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและก๊าซควรอยู่ภายในที่รวบรวมก๊าซเพื่อที่จะทำให้การเก็บรวบรวมและการระบายฟองก๊าซได้ง่ายและป้องกันการเกิดชั้นสกัม

5. การซ้อนทับแผ่นกั้นควรติดตั้งให้ต่ำกว่าช่องระบายก๊าซชีวภาพ 10 – 20 ซม. เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพหลุดเข้าสู่ส่วนตกตะกอน

6. แผ่นกั้นป้องกันชั้นสกัมควรติดตั้งตอนหน้าของเวียร์น้ำออก

7. ขนาดของท่อนำก๊าซชีวภาพต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายก๊าซชีวภาพออกจากที่เก็บก๊าซโดยเฉพาะกรณีของการเกิดฟองจำนวนมาก

8. ในส่วนบนของที่เก็บก๊าซควรมีการติดตั้งหัวฉีดสเปรย์น้ำ ในกรณีการบำบัดน้ำเสียที่ก่อให้เกิดฟองมากเพื่อลดจำนวนฟอง

การระบายตะกอน (sludge discharge)

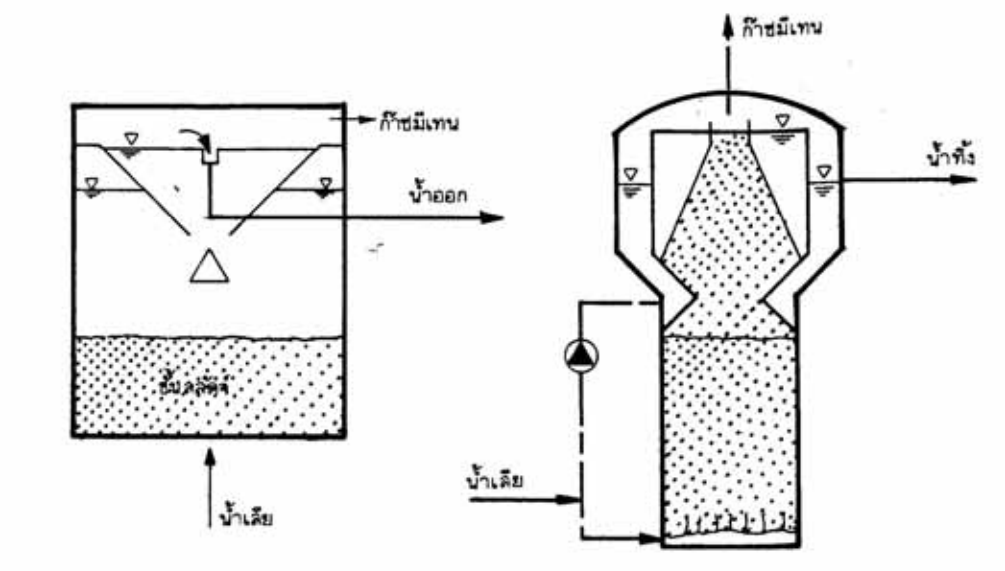
การออกแบบให้มีการระบายตะกอนส่วนเกินจากถังเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อไม่ให้เกิดการอัดตัวของตะกอนในถังหนาแน่นเกินไป โดยทั่วไปตำแหน่งที่เหมาะสมควรอยู่ที่กึ่งกลางของความสูงถัง การระบายตะกอนส่วนเกินควรจะทำจากส่วนบนของชั้นตะกอน เพื่อป้องกันการสูญเสียเม็ดตะกอน

อุปกรณ์สำหรับการหมุนเวียนน้ำออก

สำหรับน้ำเสียที่เข้มข้นสูง การหมุนเวียนน้ำออกเข้าสู่ถังใหม่ เพื่อเจือจางระดับซีโอดีในน้ำเข้าให้ต่ำกว่า 15 กรัมต่อลิตร เป็นสิ่งควรคำนึงถึง เพราะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายสารบัฟเฟอร์ และเป็นการเพิ่มการสัมผัสระหว่างตะกอนกับน้ำเสีย

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง

จากการใช้ระบบยูเอเอสบีขนาดจริงที่ผ่านมาในประเทศเนเธอร์แลนด์ แสดงให้เห็นว่าการกัดกร่อนเป็นปัญหาหลัก โดยเฉพาะที่ส่วนบนสุดของถังยูเอเอสบี ที่ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูออกซิไดซ์เป็นซัลเฟตโดยก๊าซออกซิเจน ซึ่งนำไปสู่การมีค่าพีเอชต่ำโดยก๊าซออกซิเจน ซึ่งนำไปสู่การมีค่าพีเอชต่ำ ทั้งคอนกรีตและโลหะเหล็กจะถูกกัดกร่อนทั้งสิ้น เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าววัสดุที่ใช้ก่อสร้างและป้องกันการกัดกร่อนได้ ควรเป็นเหล็กสแตนเลส หรือพลาสติก หรือการเคลือบวัสดุด้วยวัสดุเฉพาะบางชนิด



<u>ภาพที่ 17</u> ถังไร้อากาศแบบชั้นสลัดจ์ (UASB)

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

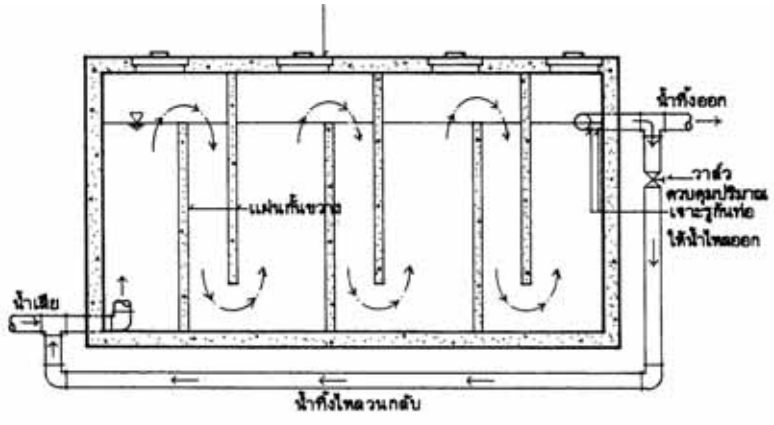
ตารางที่ 19 ข้อมูลออกแบบและความสามารถของระบบ UASB

ข้อมูล	ค่าที่ใช้งาน
อัตราภาระอินทรีย์ (OLR)	0.5-60 กก. COD/(ลบ.ม.วัน)
อุณหภูมิที่เหมาะสม	30-35 °ซ
เวลาเก็บกักของน้ำเสีย (HRT)	4 ชม.-2 วัน
อัตราไหลเข้าต่อพื้นที่ผิวบนของถัง	1.5 ลบ.ม./(ตร.ม.ชม.)
ปริมาณตะกอนจุลชีพ	20-60 กก. TS/ลบ.ม.

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

ถังไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Baffled Reactor)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ในถังยาว การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นไหลลงสลับกันไปหลายครั้ง โดยอาจมีความเร็วในการไหลขึ้นประมาณ 0.2-0.4 เมตรต่อชั่วโมง ลักษณะการทำงานของระบบจะมีหลักการเช่นเดียวกับของระบบ UASB ภาพที่ 18 ได้แสดงรูปรายละเอียดของ Anaerobic Baffled Reactor (ABR) จากข้อมูลทางวิชาการพบว่าระบบนี้สามารถรับปริมาณ COD ได้สูงถึง 110 กิโลกรัม COD ต่อ (ลบ.ม.วัน)



ภาพที่ 18 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

การศึกษาที่ผ่านมา

จากเอกสารทางวิชาการของ “Young and Mc Carty, The Anaerobic Filter for Waste Treatment, Proc. 22nd Ind. Waste Conference, Purdue University, p. 559-574, 1967”. ได้อธิบายและเริ่มนำระบบถังกรองไร้อากาศแบบฟิล์มตรึงแอนแอโรบิกมาทดลอง และวิเคราะห์กันอย่างจริงจัง โดยเฉพาะสำหรับระบบถังกรองอากาศแบบไหลขึ้น โดยใช้ตัวกลางเป็นก้อนหินทั่วไปจากการศึกษาของเขาพบว่าจะมีพวกจุลชีพที่เกิดขึ้นภายในถังกรองไร้อากาศที่ไม่ได้เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลาง โดยจุลชีพเหล่านี้จะมีความเร็วลอยหรือไหลขึ้นต่ำ ซึ่งทำให้จุลชีพแขวนลอยนี้ไม่หลุดลอยไปกับน้ำทิ้งออกมากนัก ระบบนี้จึงอาจมีแนวโน้มเกิดเม็ดตะกอนกลมหรือฟล็อกดังเช่นของถัง UASB เขายังพบอีกว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นจะช่วยในการกวนในระบบด้วย เพื่อป้องกันการอุดตันได้บ้าง และจากผลการทดลองได้พบว่าระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นสามารถกำจัด COD ได้ในอัตราสูงสุดถึง 1 กก. COD/(กก.VSS.วัน) ระบบนี้เท่าที่พบจะมีปริมาณจุลชีพต่อปริมาตรความจุถังอยู่ในช่วงกว้างมากคือ 5 ถึง 35 กก. VSS ต่อ ลบ.ม.