



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาของอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงาน, 2540)

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังประมาณ 8.82 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คิดเป็นผลผลิตประมาณ 19.1 ล้านตัน 30 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง 70 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด

โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิต จำแนกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ ได้แก่ มันเส้น (Chips) และมันอัดเม็ด (Pellets) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องกัน อุตสาหกรรมประเภทนี้จะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะอยู่บ้างในด้านเกี่ยวกับฝุ่นละออง แต่จะไม่ก่อปัญหาทางด้านน้ำเสียแต่อย่างใด

2. ผลิตภัณฑ์แป้งมันแปรรูป ซึ่งมีการถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตผงชูรส อุตสาหกรรมผลิตสาชู ฯลฯ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังนี้จำเป็นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกรรมวิธีการผลิต ซึ่งน้ำที่ใช้ในการผลิตเกือบทั้งหมดจะถูกระบายทิ้งเป็นน้ำเสียของโรงงาน

อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง (Native Starch) อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันดัดแปร (Modified starch) และอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันแปรรูป โดยแป้งมันสำปะหลัง (Native Starch) จะเป็นวัตถุดิบให้แก่การผลิตแป้งมันดัดแปรและผลิตแป้งมันแปรรูป

การผลิตแป้งมันดัดแปรนั้นจะนำแป้งมันสำปะหลังมาเปลี่ยนคุณสมบัติทางด้านเคมีและ/หรือด้านกายภาพ ด้วยวิธีการให้ความร้อนและ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ต่อไปในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แป้งมันดัดแปรจะมีลักษณะเป็นผงหรือเป็นเกล็ดสีขาวนวลหรือสีน้ำตาลอ่อน ส่วนในการผลิตแป้งมันแปรรูปจะนำแป้งมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นกลูโคส ฟรุคโตสและซอร์บิตอลโดยใช้กระบวนการย่อยแป้ง

ในประเทศไทยโรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (Native Starch) ซึ่งจะต้องใช้น้ำในขั้นตอนการผลิตที่สูงจึงทำให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากและมีความสกปรกสูงด้วย จาก

ข้อมูลของสำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540) พบว่า ปริมาณน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีปริมาณประมาณ 5 – 10 ตันต่อตัน ของปริมาณวัตถุดิบ หรือ 30 – 50 ตันต่อตันของผลผลิต ในขณะที่มีความสกปรกในรูปของค่าบีโอดีประมาณ 4,000 – 6,000 มก./ลบ.ม. ดังนั้นสำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิตแป้งมัน 60 ตันต่อวัน จะมีน้ำเสียมากถึง 2,400 ลบ.ม./วัน หรือคิดเป็นน้ำหนักรวมทุกบีโอดีประมาณ 12,000 กก.บีโอดี/วัน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป 1 แห่งที่มีกำลังผลิตเฉลี่ย 60 – 100 ตันต่อวัน จะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกเทียบเท่ากับจำนวนประชากรประมาณ 300,000 คน

2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) คือ

1) การกำจัดเศษรากมันสำปะหลัง

เป็นการกำจัดเศษรากมันสำปะหลังที่ได้คิดมาด้วยซึ่งจะเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกลดลงได้ เศษวัสดุเหล่านี้จะเป็นเศษรากมันซึ่งจะถูกนำไปขายเพื่อทำเป็นเชื้อเพลิง หรือเผาทิ้งและฝังกลบภายในโรงงานเอง

2) การรับและตรวจสอบคุณภาพหัวมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเมื่อถูกซังน้ำหนักและผ่านการทดสอบหาปริมาณแป้งโดยอาศัยหลักการลอยตัวของวัตถุในของเหลวแล้วก็จะถูกตีราคาเพื่อทำการซื้อขาย จากนั้นจะถูกนำไปเทรวมไว้บนลานวัตถุดิบและมักจะถูกส่งเข้ากระบวนการผลิตใน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันปริมาณแป้งในหัวมันลดต่ำลง

3) การเตรียมรากมันสำปะหลัง

- การกำจัดเศษดินทราย นำรากมันสำปะหลังที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วส่งเข้าตะแกรงร่อนดินและทรายเพื่อทำการแยกดินทรายที่ติดมาและทำให้ผิวนอกของรากมันสำปะหลังหลุดออกด้วย ขั้นตอนนี้ปกติแล้วจะมีวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งประมาณ 20 กก./ตันรากมันสำปะหลังสด

การปอกเปลือกและล้างรากมันสำปะหลัง เมื่อรากมันสำปะหลังผ่านขั้นตอนการร่อนดินทรายแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องปอกเปลือกและเครื่องล้างรากมันสำปะหลังที่ใช้วิธีฉีดน้ำพ่นเป็นฝอยเพื่อทำความสะอาด นอกจากนี้เศษเปลือกมันสำปะหลังยังสามารถขายให้เกษตรกรนำไปใช้เพาะเห็ดได้ ในขั้นตอนนี้จะได้น้ำทิ้งจากการล้างรากมันสำปะหลัง 1.6 ลบ.ม./ตันรากมันสำปะหลังสด และเศษวัสดุเหลือที่เป็นของแข็งได้แก่ เปลือกรากมันสำปะหลัง 0.03 ตันต่อตันรากมันสำปะหลังสด และเศษดินทราย 0.025 ตันต่อตัน รากมันสำปะหลังสด

4) การบดราวมันสำปะหลัง

ให้มันสำปะหลังเข้าเครื่องสับรากลึงมันสำปะหลังเพื่อสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1 – 2 นิ้ว จากนั้นชิ้นมันสำปะหลังก็จะตกสู่เครื่องขูดรากลึงซึ่งอยู่ด้านล่างเพื่อทำการย่อยชิ้นมันสำปะหลังให้ละเอียดขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเป็นแป้งออกมา จากนั้นจะเป็นการแยกน้ำออกจากแป้งด้วยดีแคนเตอร์ รากลึงมันสำปะหลังสดโดยทั่วไปจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 60–70 เปอร์เซ็นต์ และในน้ำที่แยกได้จะมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ โพแทสเซียม (K) สารประกอบไนโตรเจน (N) และสารประกอบฟอสฟอรัส (P) ในปริมาณสูง ซึ่งน้ำในส่วนนี้จะเกิดการย่อยสลายได้ง่ายเกิดเป็นแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ทำให้แป้งที่ได้มีคุณภาพต่ำลง โรงงานหลายแห่งต้องทำการแยกน้ำออกจากแป้งก่อนโดยการใช้ดีแคนเตอร์ซึ่งน้ำที่ได้จะไปปนกับน้ำทิ้งจากขั้นตอนสับและบดรากลึงมันสำปะหลังสดรวมประมาณ 1.0 ลบ.ม./ตันรากลึงมันสำปะหลังสด

5) การสกัดแป้ง

หลังจากทำการแยกน้ำออกจากแป้งแล้ว กากมันจะถูกเติมน้ำและนำเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง (Extractor) เพื่อแยกเซลลูโลสออกจากแป้ง โดยในขั้นตอนนี้ในกรณีที่โรงงานไม่มีการแยกน้ำออกจากแป้งหรือแยกออกได้ไม่หมดมักมีการเติมน้ำกำมะถันลงไปด้วยเพื่อช่วยป้องกันการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งจะเปลี่ยนแป้งเป็นกรดแลคติก โรงงานส่วนใหญ่จะใช้ชุดสกัด 3 ชุดแต่โรงงานขนาดใหญ่อาจใช้ถึง 4 ชุดต่อเนื่องกัน โดยชุดแรกเป็นการสกัดหยาบจะใช้ตะแกรงขนาด 60 – 80 เมช (Mesh) และชุดสุดท้ายนี้จะเป็นการสกัดละเอียดโดยใช้ผ้ากรองที่มีขนาด 90 เมช (Mesh) การทำงานเป็นเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง ในขณะที่เครื่องหมุนอยู่ก็จะมีการป้อนมันสำปะหลังตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันก็จะมีการฉีดน้ำเข้ามาอย่างสม่ำเสมอในลักษณะ Counter – Current

กากมันสำปะหลังจากขั้นตอนนี้มีน้ำอยู่ถึง 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแป้งน้อยมาก กากมันสำปะหลังจะถูกแยกออกจากน้ำแป้งและนำเข้าสู่เครื่องอัดกากและนำไปตากแดดเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งในขั้นตอนนี้คือ กากมันสำปะหลัง 60 กก./ตันรากลึงมันสำปะหลัง วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกาก 0.2 ลบ.ม./ตันรากลึงมันสำปะหลังสด

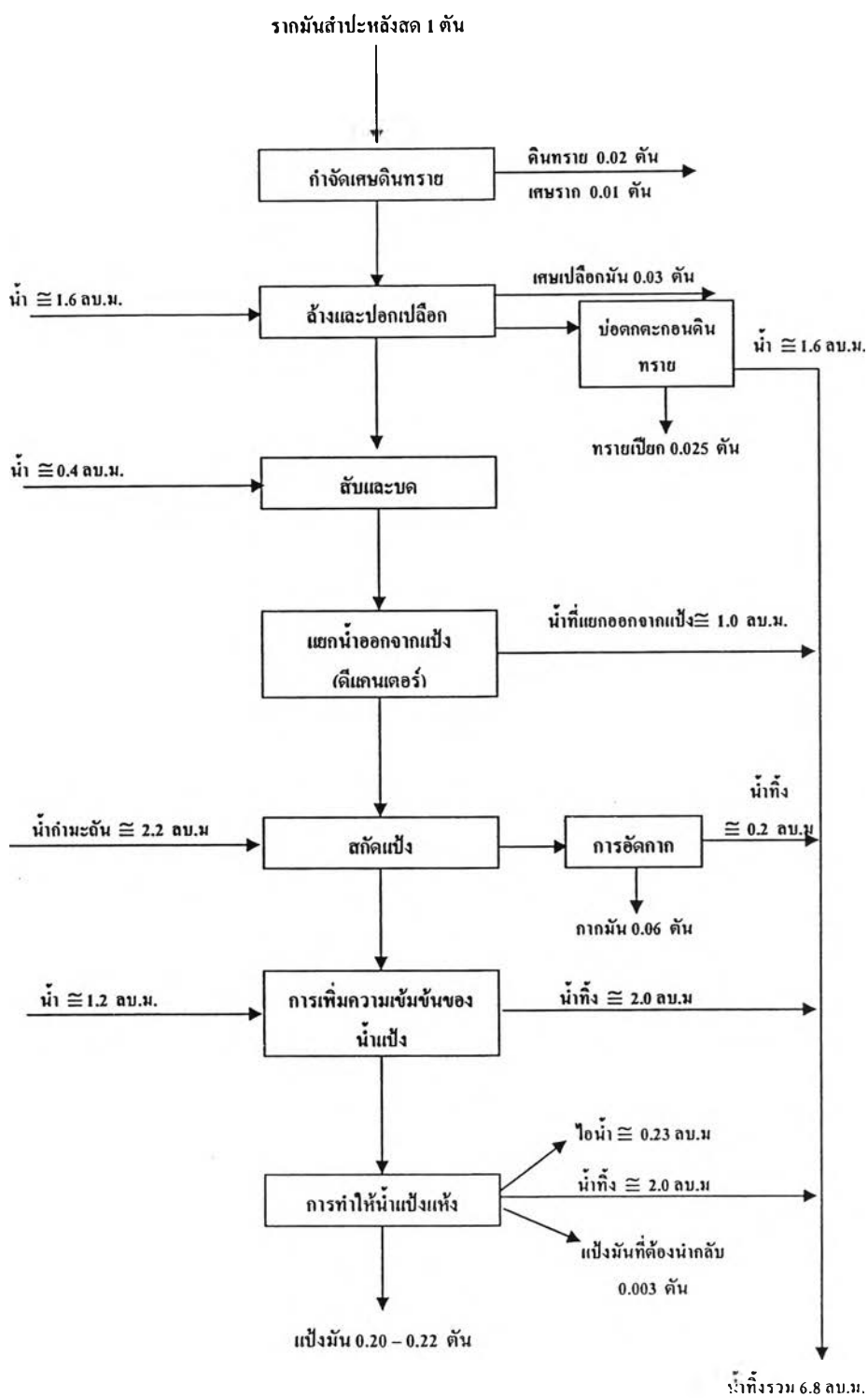
6) การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง

น้ำแป้งจะถูกส่งต่อไปยังเครื่อง (Separators) ซึ่งอาจเป็นเครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separators) หรือไฮโดรไซโคลอน (Hydrocyclone) โดยโรงงานส่วนใหญ่มักใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ชุด เพื่อแยกกากมันสำปะหลังออกให้หมดและทำให้น้ำแป้งเข้มข้น

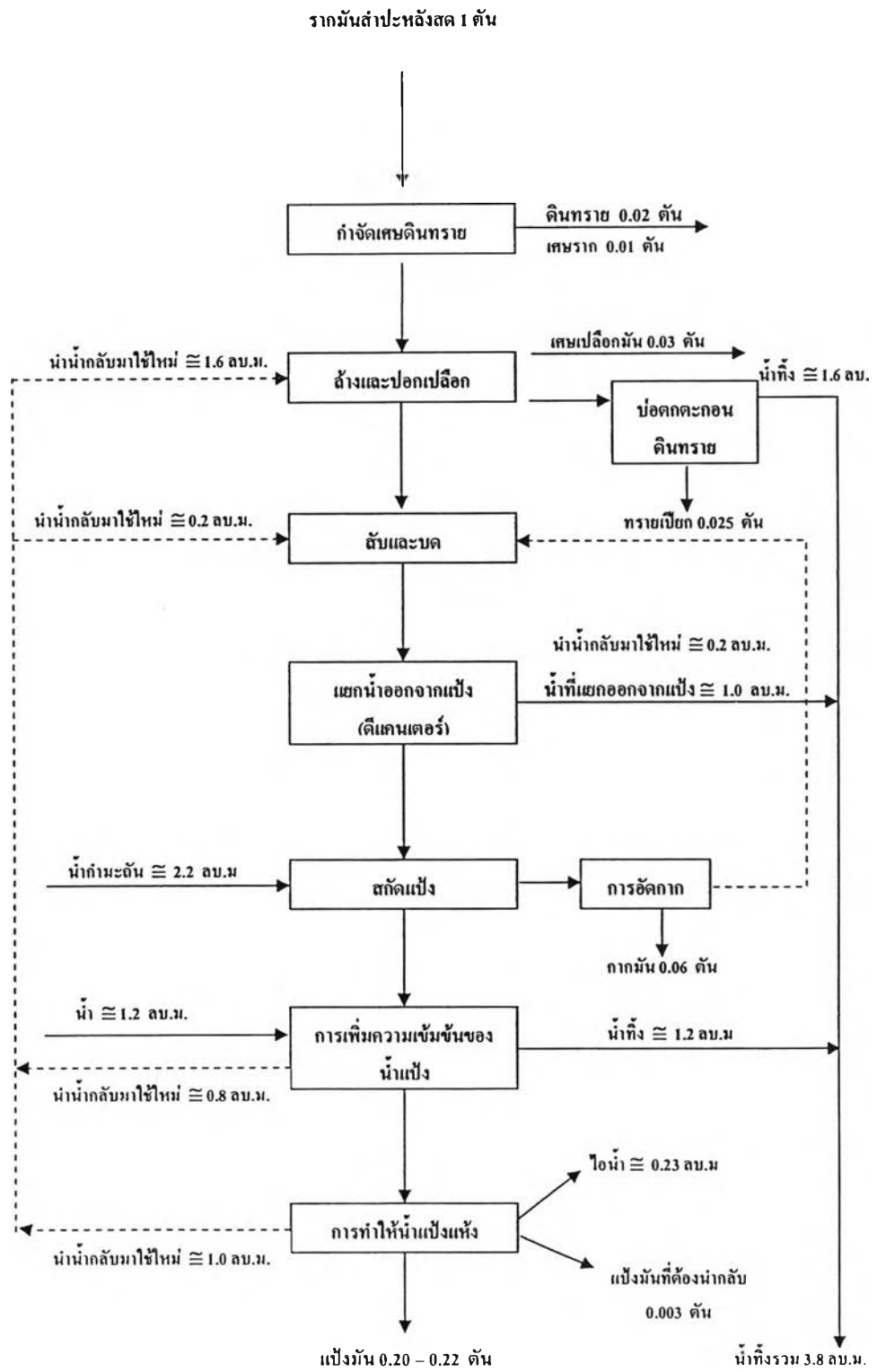
ในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งโดยใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยงจะก่อกำเนิดน้ำทิ้ง 2.0 ลบ.ม./ตันรากลึงมันสำปะหลังสด

7) การทำให้แข็งแห้งและการบรรจุผลิตภัณฑ์

น้ำแข็งจะถูกแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งจะทำได้แข็งที่มีความชื้น 32 – 38 เปอร์เซ็นต์ แล้วจะถูกพ่นเข้าสู่ท่อไอร้อนซึ่งมีลมร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส จากเตาเผาเป่าเข้ามาด้วยความดันสูงพัดแข็งขึ้นไปตามปล่องสูงแล้วตกลงมาสู่ไซโคลน (Cyclone) แป้งมันที่ได้จากไซโคลนจะเป็นแข็งที่แห้งแต่ยังร้อนอยู่ ซึ่งต้องทำให้เย็นทันทีโดยใช้ไซโคลนเย็น (Cooling cyclone) ทั้งไซโคลนร้อนและเย็นจะต้องมีประสิทธิภาพในการแยกแป้งจากอากาศได้ถึง 99.95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นแป้งมันจะมีความชื้นอยู่ระหว่าง 12 – 13 เปอร์เซ็นต์ ก่อนถูกปล่อยลงสู่เครื่องร่อนแป้ง (Sifter) ก่อนจะบรรจุลงสู่ไซโลเพื่อรอทำการบรรจุต่อไป น้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการทำให้แข็งแห้ง 1.0 ลบ.ม./ตันรากลมันสำปะหลัง



รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)



รูปที่ 2.2 แผนผังขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

ตารางที่ 2.1 คัดชี้วัดผลงานด้านการปฏิบัติการของอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง
(สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

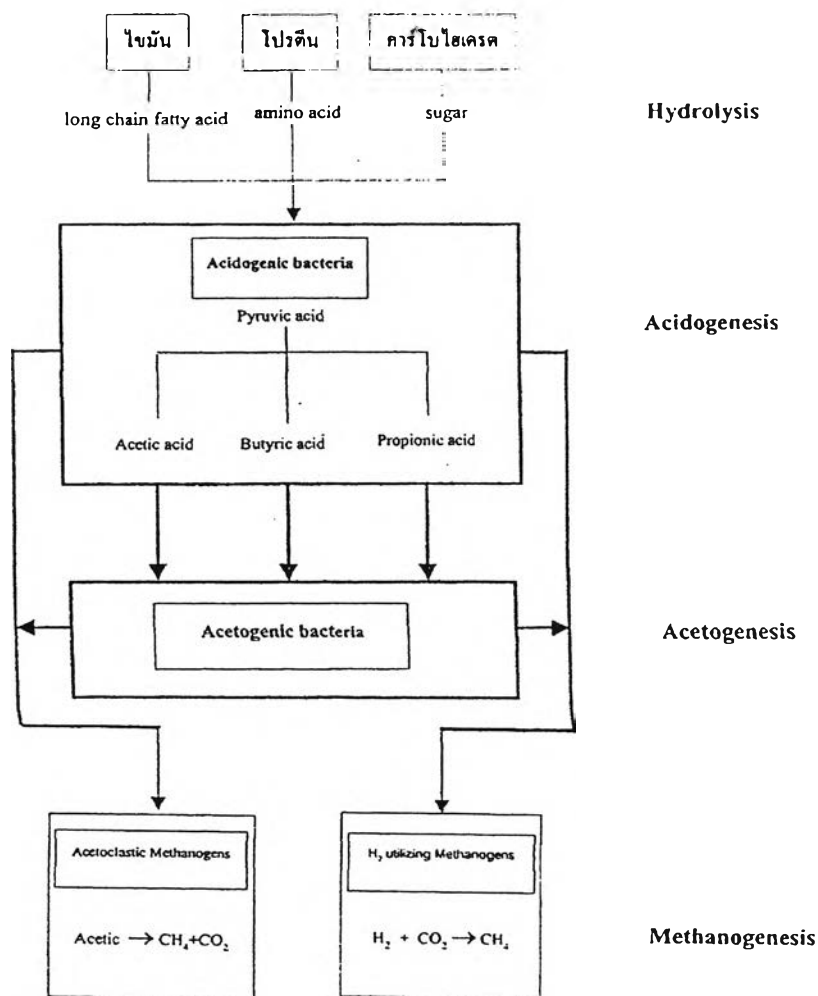
ลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อม	ดัชนีสิ่งแวดล้อม	หน่วยดัชนี	การตรวจวัด	ความสำคัญ
1. การใช้วัตถุดิบ	1.1 ปริมาณการใช้น้ำ	ลูกบาศก์เมตร ต่อตันแป้ง	I	สำคัญ
	1.2 ประสิทธิภาพในการผลิตแป้ง = เปอร์เซนต์ของปริมาณแป้งที่ผลิตได้ x 100 เปอร์เซนต์ของปริมาณเชื้อแป้งที่รับซื้อโดยเฉลี่ย	เปอร์เซนต์	I	สำคัญ
2. การใช้พลังงาน	2.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตันแป้ง	I	สำคัญ
	2.2 ปริมาณการใช้น้ำเค็ม	ลิตรต่อตันแป้ง	I	สำคัญ
	2.3 ปริมาณการใช้แกลบ	ตันต่อตันแป้ง	I	สำคัญ
3. การปล่อยสารมลพิษสู่น้ำ (ลักษณะน้ำทิ้งบ่อสุดท้าย)	3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	I	สำคัญ
	3.2 สารแขวนลอย (SS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	E	สำคัญ
	3.3 บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	E	สำคัญ
	3.4 ซีโอดี (COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	E	-
4. การปล่อยสารมลพิษสู่อากาศ	4.1 ปริมาณ SO ₂ ณ ปากปล่อง	ส่วนในล้านส่วน	E	สำคัญ
	4.2 ปริมาณสารเคมีที่ฟุ้งกระจายบริเวณปฏิบัติงาน (เฉพาะการผลิตแป้งคัดแปร)	ส่วนในล้านส่วน	E	สำคัญ
5. ผลกระทบอื่น ๆ	5.1 ระดับเสียงภายในโรงงาน บริเวณปฏิบัติงาน (สับเหง้า เครื่อง โม่ เครื่องสไลด์แห้ง เครื่องเทอร์โบ และส่วนบรรจุ)	เดซิเบลเอ	I	-
	5.2 จำนวนการร้องเรียนของชุมชนในเรื่องกลิ่นเหม็น	ครั้งต่อปี	I	สำคัญ

หมายเหตุ : การตรวจวัด

I = ดัชนีสิ่งแวดล้อมที่โรงงานสามารถตรวจวัดเองได้

E = ดัชนีสิ่งแวดล้อมที่โรงงานไม่สามารถตรวจวัดเองได้ ต้องให้หน่วยงานภายนอก ทำการตรวจวัด

ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งโรงงานแปรงมันสำปะหลังโดย โสภิตา บุญเอกทรัพย์ และคณะ (2541) ศึกษาน้ำเสียโรงงานผลิตแปรงมันสำปะหลัง จำนวน 5 โรงงาน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ ฟิเอช บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ทีเอส เอสเอส ทีดีเอส ของแข็งตกตะกอน พบว่า น้ำทิ้งจากจุดล้างหัวมันมีค่าฟิเอช (ในช่วง 5.61 – 5.88) บีโอดี (ในช่วง 7,317 – 15,221 มก./ล.) ซีโอดี (ในช่วง 10,860 – 15,696 มก./ล.) เอสเอส (ในช่วง 4,630 – 7,765 มก./ล.) ทีดีเอส (ในช่วง 5,905 – 11,065 มก./ล.) ของแข็งตกตะกอน (ในช่วง 10 – 40 มก./ล.) น้ำทิ้งจากจุดสกัด/แยกแปรงรวมกับน้ำทิ้งจากการทำความสะอาดกระบวนการผลิตมีค่าฟิเอช (ในช่วง 5.54 – 6.48) บีโอดี (ในช่วง 5,074–12,165 มก./ล.) ซีโอดี (ในช่วง 10,540–19,048 มก./ล.) ทีเคเอ็น (ในช่วง 197 – 292 มก./ล.) ทีเอส (ในช่วง 7,410 – 18,885 มก./ล.) เอสเอส (ในช่วง 1,475 – 11,330 มก./ล.) ทีดีเอส (ในช่วง 4,730 – 8,875 มก./ล. ของแข็งตกตะกอน (ในช่วง 13 – 42 มก./ล.) ส่วนน้ำทิ้งรวมมีค่าฟิเอช (ในช่วง 4.99 – 6.33) บีโอดี (ในช่วง 6,465 – 12,646 มก./ล.) ซีโอดี (ในช่วง 10,996 – 19,278 มก./ล.) ทีเคเอ็น (ในช่วง 228 – 512 มก./ล.) ทีเอส (ในช่วง 12,549 – 19,844 มก./ล.) เอสเอส (ในช่วง 5,790 – 7,965 มก./ล.) ทีดีเอส (ในช่วง 5,583 – 12,851 มก./ล.) ของแข็งตกตะกอน (ในช่วง 17 – 78 มก./ล.)



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542)

2.3 การบำบัดชีวภาพแบบไร้อากาศ

การบำบัดชีวภาพแบบไร้อากาศ อาศัยการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่ไร้อากาศ ในการย่อยสลายสารอาหารเปลี่ยนเป็นเซลล์ใหม่และก๊าซชีวภาพ มักใช้ในการบำบัดน้ำที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เนื่องจากระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ มีค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย แต่ข้อเสียที่สำคัญคือแบคทีเรียที่ใช้ในระบบบำบัดเจริญเติบโตช้าต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบยาวนานมาก นานกว่าแบบใช้ออกซิเจนมาก สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน

2.3.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ สารอินทรีย์ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันอยู่ในรูปของของแข็งและสารละลาย โมเลกุลใหญ่ย่อยสลายไปเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงไปด้วยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี 4 ขั้นตอนหลัก ดังรูป 2.3

ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยไร้อากาศ

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

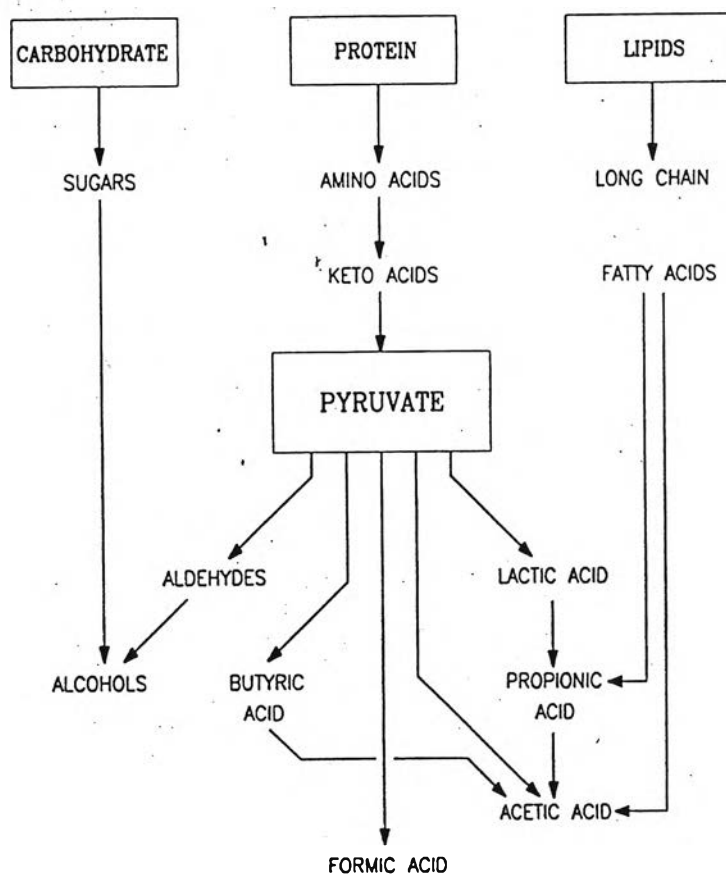
การที่สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก ตัวอย่างเช่น การย่อยสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกลูโคส เพื่อให้สามารถนำไปในเซลล์ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งจุลินทรีย์จะใช้เอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ (Extracellular Enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตที่เกิดจากขั้นตอนที่ 1 จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย โดยผ่านกระบวนการเฟอร์เมนเตชัน (Fermentation) ซึ่งผลสุดท้ายจะมีทั้งสารที่อยู่ในรูปรีดิวซ์และรูปออกซิไดซ์ ผลผลิตที่เป็นรูปออกซิไดซ์ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ปฏิกิริยาในการสร้างกรดอินทรีย์เหล่านี้เรียกว่า เอซิดโดเจนิซิส และแบคทีเรียที่รับผิดชอบเรียกว่า แบคทีเรียสร้างกรด ผลผลิตเป็นรูปรีดิวซ์เป็นสารอินทรีย์หลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมถึงปฏิกรณ์

แบคทีเรียสร้างกรดบางชนิดสามารถใช้ไฮโดรเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนแทนสารอินทรีย์ ทำให้เกิดโมเลกุลของไฮโดรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยา ในกรณีเช่นนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก

แบคทีเรียบางตัวนั้นสามารถใช้กรดอินทรีย์ขนาดใหญ่หรือสารอินทรีย์อื่นในการสร้างกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้สามารถสร้างไฮโดรเจนได้จากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่เรียกว่า ไฮโดรจีโนเจนิซิส เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ได้ แต่ตัวที่สร้างกรดได้อาจไม่สามารถสร้างไฮโดรเจน เพราะฉะนั้นแบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจนจึงเป็นแบคทีเรียที่สร้างกรด แบคทีเรียทั้งสองชนิดอาจเรียกรวมได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรด

(Jeris และ McCarty, 1962)

พบว่าไฮโดรเจนถูกใช้ในการรีดิวส์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ดังนั้นการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างและไม่สร้างมีเทนจึงเป็นประโยชน์ร่วมกัน แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนจะให้กรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายแก่แบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งในการสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย กระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ คือ

ชนิดของสับสเตรท

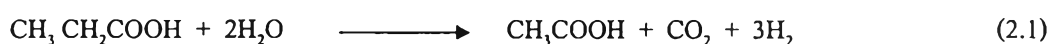
ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น

ตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายเป็นอะซิติก และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายเป็นกรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก

ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผ่านวิธี Embden - Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนที่ต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลสูง ผลผลิตที่ได้คือ กรดอะซิติก กรดไพรูวอิก กรดบิวทิริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่น ๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) เป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตมีเทนได้โดยตรง เนื่องจากการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสับสเตรทเฉพาะเจาะจงมากได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลลามีน (Methylamine) แบคทีเรียอะซิโตเจนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวทิริกและกรดไพรูวอิกตามลำดับ



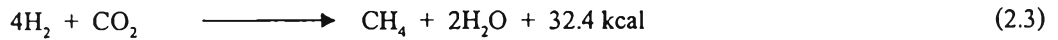
ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในสภาวะที่ไฮโดรเจนที่มีความดันพาร์เซิลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนที่มีความดันพาร์เซิลสูง

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

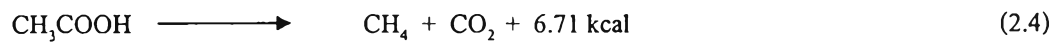
แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ดีซ้ำมาก และยังเป็นเซลล์ที่จำเพาะต่อชนิดอาหารมากและบอบบาง เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม หรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอชระหว่าง 6.8 - 7.2 ได้ จะพบว่าสับสเตรทที่แบคทีเรียทุกตัวสามารถใช้ได้มีเพียงไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์และกรดฟอร์มิก และมีแบคทีเรียเพียงตัวเดียวที่ใช้กรดอะซิติกและเมทานอลได้ แบคทีเรียสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิดและสารอินทรีย์อื่น ๆ ด้วย แต่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนต้องการสารอินทรีย์บางชนิดอย่างเจาะจง กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้ ทำให้ต้องมีสารอีกจำนวนมากที่ตกค้างอยู่ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ระบบไร้อากาศมักไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำเสียให้เหลือต่ำกว่ากับกรณีของระบบที่ใช้ ออกซิเจนได้

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

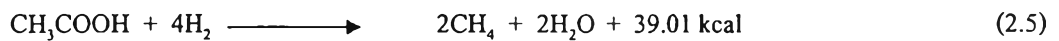
1. แบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้จากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic Methanogen หรือ Hydrogen Utilizer) กล่าวคือ ได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจำนวนมากจากไฮโดรเจน แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสับสเตรทเพียงอย่างเดียวได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่ากรดฟอร์มิกสามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย



2. แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก (Acetolastic Methanogen) พบว่ามีเทนส่วนใหญ่ได้มาจากการแตกตัวของกรดอะซิติกดังนี้



แต่อย่างไรก็ดียังมีข้อสงสัยว่าปฏิกิริยา (2.4) จะสามารถให้พลังงานพอเพียงในการดำรงชีวิตของเซลล์หรือไม่ (ทั้งนี้เพราะตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ อาจพิสูจน์ได้ว่าสมการ (2.4) ได้พลังงานไม่เพียงพอในการดำรงชีวิตของเซลล์) การเปลี่ยนอะซิเตทให้เป็นมีเทนอาจเกิดขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาที่มีไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานดังนี้



ในปฏิกิริยาอันนี้กรดอะซิติกเป็นสารตัวสุดท้ายในการรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจน พลังงานที่ได้สูงกว่าที่ได้จากสมการ (2.4) มาก และเชื่อว่าเพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตของเซลล์

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2540)

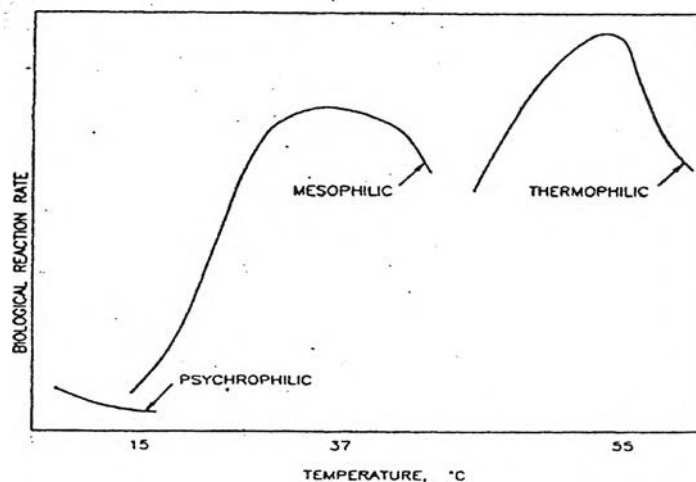
ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ได้และอุณหภูมิ ค่าพีเอช กรดอินทรีย์ ความเป็นด่าง สารอาหารที่จำเป็นและสารพิษเป็นต้น ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการให้มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัย และสภาวะแวดล้อมให้พอเหมาะ

อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมิอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก เพราะจุลินทรีย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจุลินทรีย์ส่วนมากจะดำรงชีพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 99 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

- 1) Psychophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 5 – 15 องศาเซลเซียส
- 2) Mesophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 35 – 37 องศาเซลเซียส
- 3) Thermophilic Range ช่วงอุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส

ในแต่ละช่วงอุณหภูมิก็มิจจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันจะเห็นว่า Mesophilic Range เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าในช่วง Psychophilic Range มาก แต่น้อยกว่าในช่วง Thermophilic Range เพียงเล็กน้อย ยังต้องการพลังงานในการควบคุมต่ำกว่า Psychophilic Range และมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2540)

สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 28 – 33 องศาเซลเซียส และในถังปฏิกริยาอุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ 3 – 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ดังนั้นจึงจัดอยู่ในช่วง Mesophilic Range โดยไม่ต้องให้ความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อจุลินทรีย์ในแง่ของการเจริญเติบโต ได้ตั้งสมมติฐานว่าค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนแตกต่างกันไป ซึ่งทำให้ค่าความต่างศักย์ของ

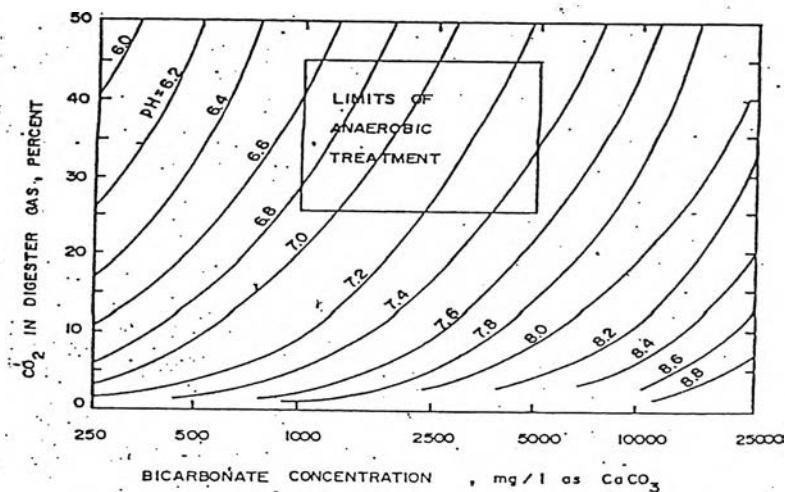
เคมีไฟฟ้า ของการขนถ่ายสารอาหารและกำจัดของเสียออกจากเซลล์เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่าพีเอชต่ำ ๆ จะมีปริมาณไฮโดรเจนอออนอยู่มากทำให้การซึมเข้าและออกจากเซลล์เป็นไปได้ยาก เป็นเหตุให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์

Speece (1996) เห็นว่าพีเอช ควรอยู่ในช่วง 6.6 ถึง 8.2 หากพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว การควบคุมสภาพกรดและด่าง กระทำโดยควบคุมอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างไม่ให้เกิน 0.4 โดยเติมด่าง(NaHCO_3) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่พีเอช 4.2 มีจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนเมทานอลเป็นมีเทน

กรดอินทรีย์ และค่าความเป็นด่าง (Volatile fatty acid and Total Alkalinity)

กรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิกเป็นต้น แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซิติกในสภาพพีเอชเป็นกลาง กรดอินทรีย์เหล่านี้จะอยู่ในรูปของกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก ในระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุล อัตราการสร้างกรดและอัตราการใช้กรดเพื่อสร้างมีเทนของจุลินทรีย์จะเท่ากัน แต่ถ้าอยู่ในสภาวะไม่สมดุลอัตราการสร้างกรดสูงกว่า จะเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ซึ่งทำให้ค่าพีเอชลดลงและทำให้ระบบล้มเหลวไปในที่สุด กรดอินทรีย์ก็มีความเป็นพิษโดยตรงกับจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นเกินกว่า 2,000 มก./ล. แต่ก็อาจจะทดสอบได้ถึงความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

McCarty (1964) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของด่างไบคาร์บอเนต และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าค่าความเป็นด่างไม่ควรน้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของ CaCO_3 เพื่อพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของด่างไบคาร์บอเนตความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (McCarty, 1964)

สารอาหาร (Nutrient)

เพื่อให้การสร้างเซลล์จุลินทรีย์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ควบคุมอัตราส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (BOD : N : P) ประมาณ 100 : 1.1 : 0.2 หรือ ซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD : N : P) ประมาณ 350 : 5 : 1 นอกจากนี้ พบว่าโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก นิเกิล โคบอลต์ มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential, ORP)

เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) โดยแสดงปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบ โดยทั่วไปจะวัดค่าโออาร์พีได้ค่าบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือในเครท และวัดค่าโออาร์พีเป็นลบเมื่อน้ำเสียอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน โออาร์พีจะแสดงถึงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย ถ้าวัดค่าโออาร์พีมีค่าบวกมาก ๆ แสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดี สำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อยหรือมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดีและมีค่าโออาร์พีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 300 – 500 mV.

สารพิษ (Toxic Substance)

สารเคมีใด ๆ ที่เข้าสู่ระบบเมื่อมีค่าความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งแล้วมีผลให้ประสิทธิภาพ หรือเสถียรภาพของระบบลดลงสารนั้นจัดเป็นสารพิษ (Toxic) ความเป็นพิษต่อระบบมิได้ตั้งแต่การยับยั้งผลของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Inhibit) จนถึงการทำลายจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมความเข้มข้นของสารใด ๆ มิให้เกิดขีดจำกัดที่จะมีผลต่อระบบในน้ำเสียก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ (McCarty, 1964)

สารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งทางชีววิทยา แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

พิษของไอออนหรือโลหะหนัก (Ion or Heavy metal Toxicity)

ระดับความเป็นพิษของไอออนหรือโลหะหนัก ถ้ามีมากเกินไปจนถึงจำนวนหนึ่งก็จะทำให้เกิดการเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ ไอออนที่สำคัญได้แก่ Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ K^+ และ S^{2-} โดยปกติไอออนบวกจะมีความเป็นพิษมากกว่าไอออนลบ นอกจากนี้การศึกษายังพบว่าไอออนบวกที่มีเวเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อจุลินทรีย์น้อยกว่าไอออนที่มีเวเลนซ์เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} Na^+ และ K^+ ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนบวกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวเลนซ์สูงขึ้น และน้ำหนักอะตอมมากขึ้น เราสามารถลดความเป็นพิษของไอออนบวกได้โดยการทำแอนทาโกนิสซึม (Antagonism) คือเมื่อไอออนบวกอยู่ร่วมกันในความเข้มข้นที่พอเหมาะ พิษของไอออนบวกชนิดหนึ่งสามารถลดความเป็นพิษไอออนอีกชนิดหนึ่งได้ เช่น พิษของ Na^+ เข้มข้น 3,500 มก./ล. สามารถจะทำให้หมดไปได้ ถ้ามี Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 50 – 1,000 มก./ล. แต่ในทางตรงกันข้าม

ไอออนบวกบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนอีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่รวมกันเราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ซินเนอร์ยีสซึม (Synergism)

พิษของกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid Toxicity)

กรดไขมันระเหยเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน เพราะการที่เกิดกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น จะทำให้พีเอชลดลงซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์

พิษของสารอินทรีย์ (Toxic Organic material)

สารอินทรีย์บางชนิดจะไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ สารพวกนี้ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol) และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long – chain fatty acid) เช่น เมทานอล (Methanol) ซึ่งความเป็นพิษของสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถทำลายได้โดยการนำน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอ (Continuous Feed) เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยและปรับตัวได้ แม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษถึง 10,000 มก./ล. ก็ตาม หรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

พิษของก๊าซบางชนิด

พิษของแอมโมเนีย (Ammonia Toxicity) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ จะมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย คือพวกโปรตีนหรือยูเรีย (Urea) ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยสารสองชนิดนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นกับพีเอช ดังสมการที่ 2.6



ถ้าพีเอชสูงกว่า 8 ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวาซึ่ง NH_3 จะยับยั้งการทำงานของ และเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า NH_4^+ ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งวิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการจะรวมทั้ง NH_4^+ และ NH_3 การลดพิษของแอมโมเนียไนโตรเจนทำได้โดยการเจือจาง (Dilution) น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดหรืออาจกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

พิษของซัลไฟด์ (Sulfide Toxicity) ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพวิทยาแบบไร้อากาศจะเกิดการเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อจุลินทรีย์เมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีปริมาณของซัลไฟด์มากหรือเกิดการย่อยสลายของซัลเฟต (SO_4^{2-}) หรือเกิดการย่อยสลายโปรตีนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับไอออนบวกที่รวมอยู่ ถ้ารวมกับโลหะหนักก็จะตกตะกอนลงมา ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำในรูปแบบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ได้ จุลินทรีย์ชนิดที่ไร้อากาศอิสระสามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำอันมีความเข้มข้น 50 ถึง 100 มก./ล. แต่ความเข้มข้นที่มากกว่า

200 มก./ล. จะเป็นพิษต่อจุลชีพชนิดนี้ การลดพิษของซัลไฟด์ทำได้โดยการทำให้ตกตะกอนของซัลไฟด์ หรือโดยการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของก๊าซมีเทน (Kotze และคณะ, 1968)

Chemical formula :	CH ₄
Molecular weight :	16.042
Boiling point at 14.696 psia (760 mm)	-258.68 °F (-161.49 °C)
Freezing point at 14.696 psia (760 mm)	-296.46 °F (-182.48 °C)
Critical pressure :	673.1 psia (47.363 kg/cm)
Critical temperature :	-116.5 F (-82.5 °C)
Specific gravity :	
Liquid (at -263.2 F {-164 C})	0.415
Gas (at 77 F {25 C} and 14.696 psia {760 mm})	0.000658
Specific volume at 60 F {25 C} & 14.696 psia (760 mm)	223.61 ft/lb (1.47 l/gm)
Calorific value 60 F (15.5 C) & 14.696 psia (760 mm)	1,012 Btu/ft (38,130.71 KJ/m)
Air required for combustion ft/ft	9.53
Flammability limits :	5 to 15 percent by volume
Octane ratio :	130
Ignition temperature :	1,202 °F (650 °C)
Combustion equation :	CH ₄ + 2O ₂ ----> CO ₂ + 2H ₂ O
O/CH for complete combustion :	3.98 by weight
O/CH for complete combustion :	2.0 by volume
O/CH form complete combustion :	2.74 by weight
O/CH form complete combustion :	1.00 by volume

2.4 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

โดยส่วนมากก๊าซชีวภาพจะประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนประมาณ 60 - 70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้มีก๊าซไฮโดรเจน ไฮโดรซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีความชื้นปนอยู่เล็กน้อย คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก ก๊าซชีวภาพมีค่าของความร้อนประมาณ 4,500-5,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทนที่ผสมอยู่เนื่องจากก๊าซชีวภาพประกอบด้วย

ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงควรจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังตารางที่ 2.2

2.5 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

2.5.1 หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี

น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ด้านล่างของถังหมักด้วยความเร็วที่เหมาะสม ความเร็วนี้จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ด้านบนเกิดการสัมผัสกับน้ำเสียทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีการกวนผสมเพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสีย เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นจะช่วยให้เกิดการกวนผสมกันอยู่แล้ว

ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกริยาในระบบยูเอเอสบี มีทั้งรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอก ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

1) ถังหมักพร้อมด้วยระบบป้อนน้ำเสียที่อยู่ทางด้านล่างของถัง

2) ถังตกตะกอน ทำหน้าที่แยกของเหลว ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์ อยู่ด้านบนของถังหมักโดยมีอุปกรณ์แยกจีเอสเอส (GSS) ประกอบด้วยแผ่นเอียงทำมุมประมาณ 45 – 60 องศา และยังทำหน้าที่ช่วยป้องกันการหลุดไปของตะกอนจุลินทรีย์ออกจากถังด้วย

ในถังหมักจะมีชั้นตะกอนแบคทีเรีย 2 ชั้น (จำนวนู ภายประสิทธิ์, 2538)

ชั้นของตะกอนนอน (Sludge Bed) คือตะกอนจุลินทรีย์จะรวมกันเป็นเม็ดอยู่ด้านล่าง เป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูง(หรือความเร็วในการจมตัวสูง) และมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง

ชั้นตะกอนแขวนลอย (Sludge Blanket) โดยจะมีตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำ และความเร็วการจมตัวต่ำกว่า จะลอยฟุ้งกระจายเนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา

กลุ่มตะกอนแบคทีเรียในถังจะถูกทำให้เกิดการฟุ้งกระจายโดยก๊าซที่เกิดขึ้นและส่วนตะกอนที่ฟุ้งกระจายขึ้นมาจะเกิดการรวมกลุ่มและจมตัวลงบริเวณกรวยแยกจีเอสเอส (GSS) ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกแยกจะไหลเข้าสู่ส่วนแยกตะกอน และก๊าซชีวภาพจะลอยผ่านกรวยแยก และไหลไปตามท่อสู่ที่เก็บก๊าซ ทางด้านบนของถังหมัก รวบรวมเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของถัง

น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าทางส่วนล่างของถังยูเอเอสบี โดยผ่านระบบกระจายน้ำเสีย เพื่อให้การกระจายของน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดการสัมผัส ระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสอกับจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการย่อยสลายในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ เกิดเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ก๊าซเหล่านี้จะเกาะติดอยู่กับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ประกอบกับความเร็วน้ำที่ไหลขึ้นทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นสู่ด้านบน ช่วยให้เกิดการสัมผัสเป็นไปอย่างทั่วถึงระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียบกับจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นสู่ส่วนบนของถัง จะเกิดการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพออกจากกัน ด้วยอุปกรณ์แยกสามสถานะ กล่าวคือ น้ำเสียจะปะทะกับแผ่นกั้น ก๊าซที่เกาะมากับกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์จะถูกแยกออก โดยจะลอยตัวขึ้นไปยังส่วนบนผ่านท่อเก็บก๊าซเพื่อลำเลียงก๊าซที่ได้ไปยังอุปกรณ์เก็บก๊าซ น้ำเสียจะถูกแยกออกจากตะกอนจุลินทรีย์และไหลล้นออกไปนอกถังยูเอเอสบี ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะถูกดักไว้และตกลงไปยังส่วนล่างของถังยูเอเอสบี ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการที่ระบบล้มเหลวเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดีได้มากเพียงพอ จึงทำให้เกิดการหลุดออกไปของจุลินทรีย์พร้อมกับน้ำทิ้งเพราะการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้จับตัวกันเป็นเม็ดเป็นเรื่องยากและใช้เวลานาน

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี (จีรพงษ์ อินทร์จ้อหอ, 2537)

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิ พีเอช สารพิษ กรดไขมันระเหยง่าย ความเป็นด่าง ชนิดของน้ำเสียและอาหารเสริม เป็นต้น
2. ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ (การออกแบบระบบ)
 - เวลาที่กักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time : HRT) Lettinga และคณะ (1980) เสนอระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากับ 4 – 24 ชั่วโมง ถ้าเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกปานกลาง (ค่าซีโอดี 1,000 – 3,000 มก./ล.) อาจใช้เวลา 3 – 8 ชั่วโมง ถ้าเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง (ค่าซีโอดี 10,000 – 15,000 มก./ล.) อาจใช้เวลามากกว่า 1 วัน
 - ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate : OLR) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบ Lettinga และ Hulshoff (1991) ได้แนะนำค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 – 15 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน
 - ความเร็วไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity : Vup) ความเร็วไหลขึ้นที่เหมาะสมคือความเร็วที่ทำให้ชั้นตะกอนมีการขยับตัวขึ้นลง แต่ไม่สูงเกินจนตะกอนหลุดออกจากระบบ Wu และ Hu (1985) เสนอว่าในช่วงเริ่มต้นเดินระบบควรใช้ความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 0.25 – 0.4 เมตรต่อชั่วโมง Campos และ Andesson (1992) เสนอให้ความเร็วไหลขึ้นในช่วงเริ่มต้นเดินระบบเท่ากับ 0.72 – 0.96 เมตรต่อวัน หรือ 0.03 – 0.04 เมตรต่อชั่วโมง Ramos และคณะ (1994) พบว่า ความเร็วไหลขึ้นในการเริ่มต้นเดินระบบที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.25 – 0.5 เมตรต่อชั่วโมง
 - ระบบกระจายน้ำเสียเข้าอย่างทั่วถึง สำหรับน้ำเสียชุมชน เนื่องจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นน้อยโดยเฉพาะในช่วงเบื้องต้นของระบบ จึงก่อให้เกิดน้ำไหลเป็นช่องในชั้นตะกอนซึ่งทำให้เกิดการไหลลัดวงจร (Lettinga และคณะ, 1983) แนะนำให้ใช้ 1 จุดต่อลูกบาศก์เมตร

- ความสูงของถังหมัก ความสูงของโชนตะกอนไม่ควรต่ำกว่า 1.5 เมตร (Lettinga และคณะ, 1983) ส่วนความสูงของโชนแยกสลายขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นตะกอนล่าง
- ความเร็วในโชนตกตะกอน (Lettinga และคณะ, 1983) แนะนำให้ใช้น้อยกว่า 2 เมตรต่อชั่วโมง
- ความเร็วภายในทางเข้าระหว่างโชนย่อยสลายและโชนตกตะกอน
- การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ
- โครงสร้างอุปกรณ์แยกก๊าซตะกอนจุลินทรีย์ (Gas – Solids Separator : GSS) มุมลาดชันของผนังโชนตกตะกอนควรมีความลาดชันประมาณ 50 องศากับแนวลาด และมีพื้นที่หน้าตัดของช่องเก็บก๊าซไม่ควรต่ำกว่า 15 – 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์ (Lettinga และคณะ, 1983)

3. ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (Seed sludge)

- ควรเลือกปริมาณตะกอนเริ่มต้นให้เหมาะสมกับถังปฏิกรณ์ โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณตะกอนเริ่มต้นประมาณ 10 – 15 กก.วีเอสเอส/ลบ.ม.

- ควรมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยตะกอนจุลินทรีย์สูง
- มีอัตราการจมตัวที่สูง
- ควรมีอนุภาคละเอียดตามธรรมชาติที่เกิดจากการแตกหักของตะกอนจุลินทรีย์

4. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นเดินระบบ (Start up)

- ขั้นตอนในการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์
- ระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์
- ระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสีย
- การกวนและอัตราการไหลของน้ำเสีย
- ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นเหมาะสม

Letting และคณะ (1983) แนะนำวิธีการเริ่มต้นกระบวนการหมักในถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีโดยใช้ตะกอนที่ถูกย่อยสลายแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นหัวเชื้อ เพื่อทำการเริ่มต้นระบบในปริมาณ 10 – 20 กก.วีเอสเอส/ลบ.ม. โดยใช้อัตราการบรรทุกชั้นต้น 0.05 – 0.1 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส-วัน และจะเพิ่มการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อเมื่อกรดไขมันระเหยง่ายถูกย่อยมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยยอมให้มีการชะล้างเพื่อให้ตะกอนที่มีลักษณะเบาถูกชะล้างออกไป

2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี

ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบีได้สรุปได้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี (พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์, 2546)

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบอื่น - ใช้พลังงานต่ำเนื่องจากไม่มีการเติมอากาศไม่ใช้เครื่องจักร - เกิดตะกอนส่วนเกินน้อย - ต้องการสารอาหารน้อยเนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่าจุลินทรีย์ในระบบใช้อากาศ - ได้ก๊าซมีเทนนำมาใช้เป็นพลังงานได้ - ป้องกันจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดไร้อากาศแบบอื่น - ใช้ได้ในระบบบำบัดทั้งขนาดเล็กและใหญ่ - สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานาน และการเริ่มต้นระบบใหม่สามารถกระทำง่าย ระบบฟื้นตัวได้เร็ว 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบ (Start up) นาน - ต้องเลี้ยงตะกอนในเป็นเม็ดระบบจึงจะมีประสิทธิภาพ - ต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้เหมาะสม และควบคุมอัตราการล้างออกของตะกอนจุลินทรีย์ (Wash out) - จุลินทรีย์มีความสามารถเจริญเติบโตในช่วงพีเอชแคบ ๆ - ต้องมีอัตราการผลิตก๊าซที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวน - ไม่สามารถเป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์เนื่องจากน้ำออกยังมีค่าซีโอดีสูง - ต้องการความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างมากในการควบคุมระบบ

2.6 ประเภทของ Granular Sludge ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ลักษณะของ Granular Sludge ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ของระบบยูเอเอสบี ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อ (Seed sludge) ส่วนประกอบของน้ำเสีย ตลอดจนการเริ่มต้นการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และสิ่งแวดล้อมที่เริ่มต้น Granular Sludge อาจมีหลายชนิดดังนี้ (สมพงษ์ นิลประยูร และ เสนีย์ กาญจนวงศ์, 2536)

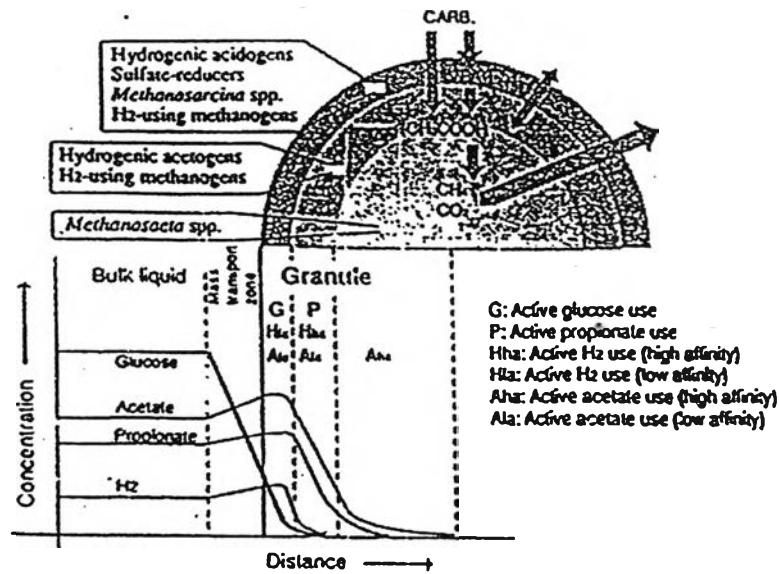
1) Sarcina Granules เป็นเม็ดแบคทีเรียที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย Methanosarcina ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อระบบหมักรับปริมาณสารอินทรีย์สูงเกินไป (Over Loading) โดยทำให้เกิดสภาพการสะสมของกรดอินทรีย์มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช น้อยกว่า 6 นี้ พบว่า Sarcina Granules มีความสามารถในการผลิตมีเทน (Methane Production Activity) ต่ำมาก

2) Rod - type Granules เม็ดแบคทีเรียประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นท่อนสั้น ๆ เป็นส่วนใหญ่ โดยเม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร และมีวีเอส สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรวจพบในถังหมักยูเอเอสบีที่รับน้ำเสียบางประเภท เช่น Sugar Beet Wastewater และ Potato Processing Waste เป็นต้น แบคทีเรียนี้จัดเป็นพวก Methanotrix Soehgenii

3) Filamentous Granules เป็นเม็ดแบคทีเรียซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีเส้นยาว (Filamentous Bacteria) เป็นส่วนใหญ่ เม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร ภายในมักเป็น

พวก Inert Carrier Material ดังนั้นจึงมีค่า วีเอส ต่ำกว่าเม็ดแบคทีเรียสองพวกแรก ในระบบหมักยูเอเอสบีที่มีเม็ดแบคทีเรียประเภทเส้นใยขาวนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นสภาพการที่ถูกกำหนดความต้องการในการควบคุมระบบหมัก กล่าวคือสภาพถังหมักจะไม่มีภาระสะสมของกรดอินทรีย์กรดอินทรีย์ในถังหมักควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) Spiky Granules ในกรณีที่น่าเสียดายมีสารแคลเซียมสูงเม็ดแบคทีเรียในระบบยูเอเอสบีจะประกอบด้วยผลึกของ $CaCO_3$ อยู่สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยมิลักษณะเป็นหนามแหลม เม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร และหนา 0.5 มิลลิเมตร มี Settling Velocity สูงถึง 2 – 90 เมตรต่อชั่วโมง แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกเส้นใยขาวเม็ดแบคทีเรียประเภทนี้มี Activity ก่อนข้างต่ำทั้งนี้เนื่องจากประกอบด้วย $CaCO_3$ ที่จะพอกบนผิวเม็ดแบคทีเรีย



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเม็ดจุลชีพในระบบยูเอเอสบี บำบัดน้ำเสียกลูโคส (Giot และคณะ, 1992)

2.6.1 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพ (Granules)

โครงสร้างของ Granular Sludge ประกอบด้วย Methanotrix Aggregates Rod เป็นแกนกลาง และล้อมรอบด้วย Methanotrix ที่เป็นสายล้อมรอบ

Giot และคณะ (1992) กล่าวว่าความเร็วของการไหลในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ของแบคทีเรียที่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดจุลชีพที่สามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดจุลชีพที่เกิดขึ้นมีข้อดีดังนี้ คือ

- มีความหนาแน่นสูง
- เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวกลาง (Media) จึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่ในถังปฏิกรณ์
- เม็ดจุลชีพมีอัตราส่วนของแบคทีเรียต่อปริมาณที่สูงมาก

การศึกษาโครงสร้างของเม็ดจุลชีพในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธีการ SEM (Scanning Electron Microscopic) พบว่ามีโครงสร้างภายในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังแสดงใน ดังนี้

ชั้นนอก ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียหลายกลุ่ม ได้แก่ Hydrogenic Acidogens Sulfate Reducers Methanosarcina และ H_2 - Utilizing Methanogens

ชั้นกลาง ได้แก่ Hydrogenics Acetogens และ H_2 - Utilizing Methanogens เช่น Methanosarcina Methanococcales และ Maethanospirillum

ชั้นใน เป็นแบคทีเรียประเภท Aceticlastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta

แบคทีเรียกลุ่ม H_2 - Utilizing Methanogens ในชั้นกลางและชั้นนอกมีความแตกต่างกันคือ กลุ่มแบคทีเรียชั้นนอกมีความชอบที่จะใช้สับสเตรทที่ต่ำกว่า (Low Affinity หรือมีค่า K_s สูง) กลุ่มแบคทีเรียชั้นกลาง และแบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ในชั้นกลาง การเกิดเม็ดจุลชีพเป็นโครงสร้างในลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียแต่ละชนิด โดยเฉพาะในแกนกลางของเม็ดจุลชีพซึ่งเป็น Aceticlastic Methanogens (ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตมีเทนโดยอาศัยสับสเตรท ได้แก่ อะซิเตท ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียกลุ่มชั้นนอกและชั้นกลาง โดยทั้งนี้ Methanosaeta เป็นแบคทีเรียที่มีค่า Affinity สูงมากที่สุด (K_s ต่ำที่สุด) ในกลุ่มแบคทีเรีย Aceticlastic Methanogens ซึ่งถือว่าเป็นผลดีต่อการทำปฏิกิริยาของ Methanosaeta ในสถานะที่ขั้วจำกัดของการแพร่กระจายอะซิเตทมายังแกนกลางของเม็ดจุลชีพ

อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าไม่พบโครงสร้างที่แบ่งเป็นชั้นของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพที่บำบัดน้ำเสียประเภทโพรพิโอเนท เอทานอล และน้ำเสียประเภทที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Non - Carbohydrate) โดยเฉพาะน้ำเสียประเภทโพรพิโอเนท พบแบคทีเรียกลุ่ม Propionate Oxidizing Acetogens กระจายอยู่ทั่วเม็ดจุลชีพ (Fang และคณะ, 1994)

โครงสร้างและขนาดของชั้นแบคทีเรียในแต่ละชั้นขึ้นกับอัตราการย่อยสลายสับสเตรทและการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดจุลชีพ ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ผิววนอกสุดของเม็ดจุลชีพพบว่ากลุ่ม Acidogens จะมีปริมาณมาก ทั้งนี้เพราะนอกเหนือไปจากความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าสูงบริเวณรอบนอก (Bulk Liquid) แล้ว ยังเป็นผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ Acidogenesis ที่มีค่าสูงกว่า Acetogenesis และ Methanogenesis อะซิเตทที่ถูกผลิตจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเม็ดจุลชีพต่อไป

ความสำคัญของ Extracellular Polymers(ECP) ต่อการเกิดเม็ดจุลชีพ (Schmidt และ Ahring, 1995)

Extracellular Polymers (ECP) เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปในธรรมชาติและเป็นพื้นฐานสำคัญของโครงสร้างเม็ดจุลชีพ อิทธิพลของเซลล์แบคทีเรียเป็นสารที่มี

โครงสร้างที่มีส่วนประกอบหลักเป็น Polysacchaide สำหรับเซลล์แกรมบวก อีซีพีเป็นสารที่เกิดได้จากหลายทาง เช่น การสลายตัวของเซลล์ หรือสารอินทรีย์ที่ถูกขับทิ้งออกมาจากเซลล์อีซีพี ประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ Sacchaide โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก โดยหน้าที่ของอีซีพีจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเซลล์แบคทีเรีย อีซีพีมีความสามารถในการดักจับสารอาหารละลาย (Soluble nutrients) และยังเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะกับเซลล์อื่นด้วย

มีรายงานวิจัยหลายรายงานว่าแบคทีเรียที่อยู่ภายในเม็ดจุลชีพถูกล้อมรอบด้วยอีซีพี และเป็นที่ยอมรับว่าในกระบวนการรวมตัวกันเป็นเม็ดจุลชีพจะมี อีซีพี เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อีซีพีที่พบในเม็ดจุลชีพมักประกอบด้วย โปรตีน และ Polysacchaides เป็นส่วนใหญ่ โดยมีอัตราส่วนโปรตีนต่อ Polysacchaide เท่ากับ 2 : 1 ถึง 6 : 1 และยังมีส่วนประกอบของไขมันซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.02 - 0.05 เปอร์เซ็นต์ของเซลล์ สารที่เป็นส่วนประกอบใน อีซีพี จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของสไลด์โดยทั่วไปแบคทีเรียที่กระจายตัวในน้ำเสียมักจะมีคุณสมบัติเป็นประจุลบและเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างเซลล์ แต่ อีซีพี ที่ห่อหุ้มรอบผิวเซลล์จะส่งผลให้เซลล์เหล่านั้นเกิดการรวมตัวเนื่องจากมีส่วนที่เป็นประจุบวกและเกิดการดูดติดกันดังแสดงในรูปที่ 2.8 อย่างไรก็ตามปริมาณอีซีพี ที่มากเกินไปสามารถส่งผลต่อการเกิดเม็ดจุลชีพเนื่องจากเกิดการผลักกันของประจุบวก



รูปที่ 2.8 บทบาทของประจุไฟฟ้าและ อีซีพี ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย (Schmidt และ Ahring, 1995)

ปริมาณ อีซีพี ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เม็ดจุลชีพเจริญเติบโต พบว่าความเข้มข้นอีซีพี ในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก มีค่าต่ำกว่าในช่วงเมโซฟิลิก และยิ่งขึ้นกับประเภทของน้ำเสียด้วย มีรายงานว่าส่วนประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งสกัดจากเม็ดจุลชีพมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมธาตุเหล็ก และ Yeast Extract ลงไปในน้ำเสีย และเกิดผลตรงข้ามกันเมื่อไม่ได้ทำการเติมเหล็ก การเพิ่มอัตราส่วน C ต่อ N จะทำให้มีปริมาณ Extracellular Polysacchaide ซึ่งทำให้ความสามารถในการยึดเกาะของเซลล์เพิ่มขึ้น และยังมีรายงานว่าปริมาณของโปรตีนและ Polysacchaide ใน อีซีพี ที่ลดลง ถูกพบในระบบยูเอเอสบีที่เปลี่ยนแปลงจากการบำบัดน้ำเสียประเภทน้ำตาลมาเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เดิมอะซิเตท โพรพิโอเนท และบิวทิเรท และยังพบปริมาณไขมันที่สูงขึ้นในเม็ดจุลชีพอีกด้วย

ปัจจุบันยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า อีชีพี เป็นผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียจำเพาะกลุ่มหนึ่ง หรือแบคทีเรียทุกชนิดในสลัดจ์ แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตซึ่งเป็น อีชีพี โดยเฉพาะ Polysacchaide เป็นผลผลิตเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม Methanogenic และ Acetogenic น้อยมาก และแบคทีเรียกลุ่ม Acidogenic เป็นกลุ่มที่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อผลผลิต อีชีพี ที่เกิดขึ้น

กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดจุลชีพอธิบายโดยขั้นตอนนี้ (Schmidt และ Ahring, 1995)

ขั้นตอนที่ 1 Transport การเคลื่อนไหวของเซลล์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ไปจับตัวกับอนุภาคเฉื่อย หรือเซลล์แบคทีเรียอื่น กลายเป็นอนุภาคพื้นฐานด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การแพร่กระจาย การพัดพา หรือการเคลื่อนไหวของเซลล์โดย Flagella

ขั้นตอนที่ 2 Reversible Adsorption การดูดติดของเซลล์แบคทีเรียกับ Substratum ซึ่งอาจเป็นกลุ่มแบคทีเรียหรืออนุภาคของแข็งเฉื่อย โดยแรงทางฟิสิกส์ – เคมี ซึ่งสามารถเกิดการแยกตัวหรือหลุดออกไปได้อีกครั้ง การดูดติดเป็นผลมาจากแรงทางประจุไฟฟ้า (Ionic strength)

ขั้นตอนที่ 3 Irreversible Adhesion ด้วยพันธะแข็งแรงของโพลิเมอร์ (ECP) การเกาะยึดติดของเซลล์เข้ากับ Substratum ซึ่งเซลล์มีโอกาที่จะหลุดออกจากเม็ดจุลชีพได้ยากมาก ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า อีชีพี ถูกผลิตขึ้นมาก่อนหรือหลังการเกาะยึดของเซลล์ Adhesion

ขั้นตอนที่ 4 Multiplication หรือการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียที่อยู่ในชั้น อีชีพี โดยเซลล์ที่แบ่งตัวใหม่ยังคงถูกกักอยู่ในชั้นอีชีพี และเกิดการเพิ่มขนาดของเม็ดจุลชีพ และนอกจากนี้ ยังเกิดจากการดักเซลล์ใหม่ที่อยู่ในน้ำเสียบเข้ามาจับตัวในเม็ดจุลชีพ

2.6.2 กระบวนการเกิดตะกอนเม็ด (Process of Granulation)

ระบบยูเอเอสบีมีปริมาณแบคทีเรียซึ่งวัดในรูป MLSS หรือ MLVSS สูงกว่าระบบหมักอื่น ๆ เนื่องจากระบบยูเอเอสบีมีตะกอนแบคทีเรียในลักษณะเป็นเม็ด ดังนั้นในการควบคุมระบบยูเอเอสบีให้มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องสร้างเม็ดแบคทีเรียดังกล่าวในถังหมักให้ได้ มิฉะนั้นแล้วระบบยูเอเอสบีจะไม่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง ในกรณีที่มีตะกอนแบคทีเรียชนิดเม็ดอยู่แล้ว การเดินระบบยูเอเอสบีจะไม่ยุ่งยากมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะไม่สามารถหาแบคทีเรียชนิดเม็ดได้ ดังนั้นการเดินระบบหมักยูเอเอสบีจึงมักเริ่มต้นด้วยตะกอนแบคทีเรียที่ได้จากระบบหมักแบบอื่น ๆ ซึ่งตะกอนแบคทีเรียเหล่านี้มักอยู่ในรูปตะกอนเบา โดยขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบคทีเรียจากตะกอนเบาเป็นตะกอนเม็ดแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

1) Wash – out Stage เป็นช่วงแรกของกระบวนการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือการเริ่มต้นเดินระบบซึ่งจะต้องเริ่มที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำ ๆ คือต่ำกว่า 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ Sludge Loading ต่ำกว่า 0.3 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมวีเอสเอสต่อวัน ในช่วงอัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำนี้จะเกิดกระบวนการสูญเสียของตะกอนแบคทีเรียขนาดเล็กซึ่งเบา โดยลอยออกมา

กับน้ำสัณคลอดเวลา (Wash out) เมื่ออัตราป้อนสูงขึ้นกว่าช่วงดังกล่าวจะยังคงเกิดกระบวนการ Wash out พร้อมกับมีการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในระบบ เนื่องจากมีปริมาณอาหารเข้าสู่ระบบสูงขึ้น

2) Transition Stage เป็นช่วงที่เริ่มเกิดแบคทีเรียชนิดเม็ด แต่ยังมีจำนวนน้อยและมีขนาดเล็ก อัตราป้อนสารอินทรีย์ในช่วง Transition Stage ขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบโดยทั่วไปพบว่าอัตราป้อนสารอินทรีย์ประมาณ 5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ประมาณ 0.3 – 0.6 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอสต่อวัน) ในช่วงนี้จะเกิดฟองก๊าซชีวภาพมาก จึงมักมาพาแบคทีเรียพวกตะกอนเบาออกจากระบบมาก ซึ่งจะเป็นผลดีทำให้แบคทีเรียที่สร้างตะกอนเม็ดมีโอกาสเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้น แต่สิ่งที่ควรระวังคือมิให้อัตราการสูญเสียปริมาณแบคทีเรียชนิดตะกอนเบาสูงกว่าอัตราการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียชนิดเม็ด มิฉะนั้นแล้วระบบจะล้มเหลวได้

3) Progressive Granulation Stage เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขนาดและปริมาณของแบคทีเรียชนิดเม็ดในถังหมัก ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น ในช่วงนี้ระบบจะมีความสามารถรับการเพิ่มของอัตราป้อนสารอินทรีย์ได้สูงและรวดเร็วขึ้นกว่าระยะอื่น

2.6.3 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียประเภทแป้ง

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโครงสร้างหลายรูปแบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียและอัตราการย่อยสลายในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรด เปรียบเทียบกับอัตราการย่อยสลายในขั้นตอนการสร้างอะซิเตตและขั้นตอนการสร้างมีเทน โดยน้ำเสียที่ซับซ้อนและย่อยสลายเร็วในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรดจะมีโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายชั้น น้ำเสียที่ซับซ้อนแต่ย่อยสลายช้าในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรดมีโครงสร้างของเม็ดตะกอนที่มีลักษณะซับซ้อนแต่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งเม็ด น้ำเสียที่ไม่ซับซ้อนและย่อยสลายได้เร็วในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรดจะมีโครงสร้างของเม็ดตะกอน 2 ชั้น และน้ำเสียที่ไม่ซับซ้อนแต่ย่อยสลายช้าในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรดจะมีโครงสร้างของเม็ดตะกอนง่าย ๆ และเป็นเนื้อเดียวกัน (Fang และ Kwong, 1995)

แป้งจัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน แต่ย่อยสลายง่าย ขั้นตอนการสร้างกรดเกิดขึ้นได้เร็ว จากการศึกษาของ Fang และคณะ (1994) พบว่า โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียจำพวกคาร์โบไฮเดรตมี 3 ชั้น ชั้นนอกจะเป็นแบคทีเรียชนิดสร้างกรดทำหน้าที่ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส และย่อยสลายสารอินทรีย์ในเป็นกรดไขมันระเหย ส่วนชั้นกลางเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่ดำรงชีพแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Syntrophic microcolonies) จะประกอบด้วยแบคทีเรียที่สร้างกรดซึ่งใช้ก๊าซไฮโดรเจน และแบคทีเรียสร้างมีเทนชนิดที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นอาหาร ในชั้นนี้กรดไขมันระเหยจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก ส่วนชั้นในสุดเป็นแกนกลางประกอบด้วยแบคทีเรียสร้างมีเทน Methanotrix ใช้กรดอะซิติกเป็นสารอาหารและผลิตก๊าซมีเทน

พบ Methanotrix กระจายแทรกตัวปนอยู่ทั่วไปทั้งชั้นนอกและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่า โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบเดียวกับนี้ได้ในการศึกษาของ Macleod และคณะ (1990) และ Guiot และคณะ (1992) ซึ่งศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอาหารพวกซูโครสและกลูโคส ตามลำดับ

น้ำเสียจำพวกแป้งจัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน และมีขั้นตอนไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนจำกัดในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Pavlostathis และ Giraldo, 1991) น้ำเสียประเภทแป้งมีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอยซึ่งอนุภาคแขวนลอยนี้จะเป็นปัญหาต่อระบบยูเอเอสบี (Lettinga และ Hulshoff, 1991) อนุภาคแป้งต้องอาศัยระยะเวลาในขั้นตอนไฮโดรไลซิสนาน เมื่ออนุภาคแป้งเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ยังไม่สามารถใช้อุณหภูมิแป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อยสลายในขั้นตอนไฮโดรไลซิส และเนื่องจากอนุภาคแป้งไม่สามารถแพร่เข้าสู่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ อนุภาคแป้งเหล่านั้นจึงตกตะกอนและติดที่ผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เป็นสาเหตุของการขัดขวางการรวมตัวเป็นเม็ดของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังขัดขวางการส่งถ่ายของสารอาหารเข้าไปในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เสียดสภาพและประสิทธิภาพการทำงานลดลง (Lettinga และคณะ, 1980)

Koster และ Lettinga (1985) พบว่าอนุภาคแป้งมันฝรั่งสะสมในชั้นตะกอนของระบบยูเอเอสบีที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำ คือ 3 และ 4-5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

2.7 ความสำคัญของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

ความเร็วไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity : V_{up})

ความเร็วไหลขึ้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสัมพันธ์กับความสูงของถังปฏิกรณ์ ความเร็วที่พอเหมาะจะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับเม็ดตะกอนเกิดขึ้นอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ

Wu และ Hu (1985) กล่าวว่าไว้ว่าการเริ่มต้นระบบในถังหมักแบบยูเอเอสบีควรเริ่มจากช่วงค่าอัตรารับภาระ 0.3 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส-วัน และเพิ่มจนถึง 0.6 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอสต่อวัน เพื่อเร่งการเกิดตะกอนเม็ด โดยค่าความเร็วไหลขึ้นที่อยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.4 ม./ชม มีค่าสูงพอที่จะเกิดตะกอนเม็ด และเมื่อรวมตัวเป็นเม็ดแล้วจึงใช้ความเร็วสูงขึ้นแต่ยังอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.5 ม./ชม.

Hulshoff และคณะ (1986) ได้กล่าวไว้ว่าระบบยูเอเอสบีนั้นให้น้ำเสียไหลจากด้านล่างไปด้านบน โดยความเร็วไหลขึ้นจะทำให้เกิดการคัดเลือกสายพันธุ์ของพวกจุลินทรีย์และทำให้จุลินทรีย์เกิดการจับรวมตัวกันและมีการรวมตัวอย่างหนาแน่น และขนาดตะกอนเม็ดยิ่งมีขนาดใหญ่

ยังมีคุณสมบัติการจมตัวได้สูงด้วย และ Arcand (1989) ได้กล่าวว่าการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในช่วงระหว่าง 0.9 ถึง 6.6 ม./ชม. จะทำให้ขนาดตะกอนเพิ่มขึ้น

Kato (1994) ศึกษาถึงการหมุนเวียนน้ำกลับในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี กล่าวว่า การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำให้มีประสิทธิภาพสูง ต้องอาศัยการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์และการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสีย โดยอาศัยความเร็วของไหลในถังยูเอเอสบี ทำได้โดยอาศัยการหมุนเวียนน้ำกลับ ความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่เหมาะสม ต้องทำให้เกิดการผสมอย่างเพียงพอ และไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายและพัดพาให้ตะกอนเม็ดลอยออกจากระบบ และพบว่าความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่สูงกว่า 5 ม./ชม. ทำให้มีประสิทธิภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเร็วไหลขึ้นในถังเท่ากับ 0.5 ม./ชม. มีประสิทธิภาพ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

Ramos และคณะ (1994) ได้ศึกษาการเกิดตะกอนเม็ดพบว่า อัตราเร็วไหลขึ้นมีผลอย่างมากต่อการเกิดตะกอนเม็ดทั้งด้านขนาดรูปร่าง โดยความเร็วที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.5 ม./ชม. โดยพบว่าขนาดตะกอนเม็ดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1.67 มิลลิเมตร

Omil และคณะ (1996) ศึกษาถึงผลของความเร็วไหลขึ้นในถังควบคุมความเร็วไหลขึ้นด้วยการหมุนเวียนน้ำออกที่อัตราการไหลต่าง ๆ กันพบว่าความเร็วไหลขึ้นช่วง 1 ถึง 2 เมตรต่อชั่วโมง สามารถกำจัดซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นให้มีค่าสูงขึ้น (4 ถึง 6 ม./ชม.) ทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงและมีเซลล์หลุดออกนอกระบบมากขึ้นสรุปว่าไม่ควรใช้ความเร็วไหลขึ้นที่สูงเกินไปในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซัลเฟตสูง และพบว่าความแข็งแรงของเม็ดตะกอนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วไหลขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญ การเพิ่มความเร็วไหลขึ้นแม้จะทำให้ตะกอนเม็ดแข็งแรงขึ้น แต่ก็ทำให้แบคทีเรียหลุดออกนอกระบบเป็นจำนวนมาก คือความเร็วไหลขึ้นที่ 6 ม./ชม. มีแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นปุยหลุดออกนอกระบบถึง 42 เปอร์เซ็นต์

Francese และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาปัจจัยความเร็วน้ำไหลขึ้น และอัตราบริการสารอินทรีย์ ที่มีต่อการเกิดตะกอนเม็ด ทำการทดลองโดยใช้ตะกอนเริ่มต้นจากสลัดจ์ชุมชนที่ผ่านตะแกรงขนาดรูเปิดน้อยกว่า 0.3 มิลลิเมตร โดยมีค่าความเร็วไหลขึ้นในช่วง 0.5 ถึง 2 ม./ชม. และมีค่าซีโอดีค่อนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เข้าระบบ (COD : N : P) เท่ากับ 450 : 6 : 1 หรือ 100 : 1.33 : 0.22 พบว่า กระบวนการสร้างตะกอนเม็ดเกิดขึ้นหลังจากการดำเนินการทดลอง 15 ถึง 35 วัน ในวันที่ 60 ของการทดลองขนาดที่พบคือ 1 ถึง 3 มิลลิเมตร โดยจะมีค่าความเร็วการจมตัวอยู่ในช่วง 45.6 ถึง 75 ม./ชม. และพบว่าตะกอนเม็ดมีลักษณะทางการภาพและเอสเอ็มเอ (SMA) แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความเร็วไหลขึ้น โดยที่ค่าเอสเอ็มเอที่ความเร็วไหลขึ้น 1 ม./ชม. มีค่าน้อยกว่าความเร็วไหลขึ้น 0.5 ม./ชม. ในวันที่ 9 และ 63 ของการทดลอง ในการทดลองแบบ

Pilot Scale ที่ใช้ความเร็วไหลขึ้น 1 ม./ชม. พบว่าในวันที่ 25 ของการทดลองตะกอนเม็ดมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร ประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์

ระบบป้อนน้ำเข้า (Feed Inlet System)

การกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการบำบัดน้ำเสียที่จะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนอย่างเหมาะสมและทั่วถึง ในการป้อนน้ำเข้าต้องกระจายน้ำเสียได้ทั่วถึงตลอดหน้าตัด ไม่ทำให้เกิดการไหลเป็นช่องหรือลัดวงจร (Short Circuit) ของน้ำเสียในชั้นตะกอนและเกิดบริเวณจุดบอด (Dead Zone) ในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นจะเห็นว่ามีปริมาณพื้นที่ต่อจุด และอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ให้เป็นตัวอย่างเพื่อใช้ในการออกแบบระบบจริง

การหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตรวมกันเป็นตะกอนเม็ด ในการบำบัดน้ำเสียการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพและการทำงานของระบบ ในระบบยูเอเอสบีมีโอกาสที่จะเกิดการไหลลัดทางของน้ำเสียอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การกระจายน้ำที่จุดเข้าไม่เพียงพอ ความเร็วน้ำเข้าระบบต่ำหรือก๊าซที่เกิดขึ้นน้อย เป็นต้น การหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบีช่วยเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างตะกอนเม็ดและน้ำเสียให้เพียงพอ ซึ่งมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ (Lettinga และคณะ, 1983) อีกทั้งยังช่วยเจือจางน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง หรือน้ำเสียที่เป็นพิษก่อนเข้าระบบ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น Lettinga และ Hulshoff (1991) แนะนำให้ใช้น้ำเข้ามีค่าซีโอดีในขณะเริ่มเดินระบบอยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงควรหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจางน้ำเข้าระบบให้ค่าซีโอดีต่ำกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดปริมาณสภาพต่างที่ต้องเติมและเพิ่มการสัมผัสระหว่างตะกอนเม็ดและน้ำเสีย Fongsatitkul และคณะ (1995) ใช้การหมุนเวียนน้ำกลับช่วยฟื้นระบบยูเอเอสบีล้มเหลว เนื่องจากมีกรดสะสมในระบบจำนวนมาก

Kato และคณะ (1994) ศึกษาการหมุนเวียนน้ำกลับในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยระบบยูเอเอสบีกล่าวว่า ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 1,000 มก./ล.) ด้วยระบบยูเอเอสบี ระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ จะให้ก๊าซน้อย ทำให้การสัมผัสกันระหว่างตะกอนเม็ดกับน้ำเสียไม่ดี ส่งผลให้อัตราการแพร่สารอาหารช้ากว่าอัตราการใช้สารอาหารในตะกอนเม็ดทำให้แบคทีเรียที่อยู่ด้านนอกของตะกอนเม็ดเท่านั้นที่จะเจริญเติบโตขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงใหญ่ขึ้นแต่มีโปรงอยู่ภายใน ทำให้การทำงานของตะกอนเม็ดต่ำลงและเกิดการลอยออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เนื่องจากแรงลอยตัวจากก๊าซที่สะสมในโพรงอากาศการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำให้มีประสิทธิภาพสูงต้องอาศัยการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์และการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียโดยเกิดการผสมกันอย่างเพียงพอจะทำให้สารอาหารสามารถแพร่เข้าไปในตะกอนเม็ดได้ซึ่งจะทำให้ค่าคงที่

อิมตัว (K_s) ของตะกอนเมื่มีค่าต่ำลง โดยอาศัยการเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีและเพิ่มอัตราการบรรทุกอินทรีย์ให้สูง การเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีทำได้โดยการอาศัยการหมุนเวียนน้ำกลับทำให้ความเร็วของการไหลขึ้นในถังเป็น 5-6 ม./ชม. ขณะที่ความเร็วที่ใช้ปกติ เท่ากับ 0.5 - 1.5 ม./ชม. ความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่เหมาะสมต้องทำให้เกิดการผสมอย่างเพียงพอและไม่มากจนเกินไปจนทำความเสียหายให้เม็ดตะกอน จุลินทรีย์หรือพืคพาให้เม็ดตะกอน จุลินทรีย์ล่อยออกจากระบบ มีการรายงานถึงผลของความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ ที่ 8 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบีสูงกว่า 5 ม./ชม. ขณะที่ความเร็วของการไหลขึ้นในถังยูเอเอสบี 0.5 ม./ชม. ระบบมีประสิทธิภาพเพียง 50-60 เปอร์เซ็นต์

การเติมสภาพต่างในระบบยูเอเอสบี มักเป็นเรื่องจำเป็นทั้งนี้เพื่อรักษาระดับค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แบคทีเรียสร้างมีเทนใช้กรดไขมันระเหยภายในถังยูเอเอสบีทำให้พีเอชน้ำออกสูงขึ้น การหมุนเวียนน้ำกลับจึงเป็นการหมุนเวียนสภาพต่างในน้ำออกจากระบบมาใช้ ทำให้พีเอชน้ำในระบบสูงขึ้น ช่วยลดสภาพต่างที่ต้องเติมให้แก่ระบบ (Samsoun และคณะ, 1984) และ (Romli และคณะ, 1994) หรือไม่ต้องอาศัยสภาพต่างจากภายนอกเลย (Shin, 1992) และ (Malaspina และคณะ, 1996) พบว่าการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarbonation) ออกจากน้ำที่จะหมุนเวียนกลับเข้าระบบสามารถลดปริมาณสภาพต่างที่ต้องเติมให้กับระบบอันเนื่องมาจากกรดคาร์บอนิกได้

2.8 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed)

2.8.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี

เนื่องจากพบว่าระบบยูเอเอสบีใช้ความเร็วไหลขึ้นของระบบที่ต่ำแล้วทำให้การกวนผสมภายในชั้นสลัดจ์เกิดได้ไม่เพียงพอ การสัมผัสระหว่างสารอาหารและจุลินทรีย์เกิดได้ไม่ทั่วถึง เป็นสาเหตุให้ระบบยูเอเอสบีด้อยประสิทธิภาพ

ต่อมาได้มีการคิดค้นและทำการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบระบบยูเอเอสบี ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed) โดยทำให้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียบกับจุลินทรีย์ให้ดีขึ้น ด้วยการทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์และเกิดการกวนผสมที่ทั่วถึง ให้ระบบมีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์สูงกว่าระบบยูเอเอสบี ทั้งนี้การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทั้งยังสามารถเพิ่มความเร็วในถังปฏิกรณ์ขึ้นได้ถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบี มีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างค่อนข้างมาก ระบบเวียนน้ำกลับส่งผลให้ความเร็วไหลขึ้นของถังปฏิกรณ์มีค่าสูงถึง 5 - 6 ม./ชม. ในขณะที่ระบบยูเอเอสบี ทั่วไปมีความเร็วไหลขึ้นอยู่ให้ช่วง 0.5-1.5 ม./ชม. หรือต่ำกว่า (Kato และคณะ, 1994)

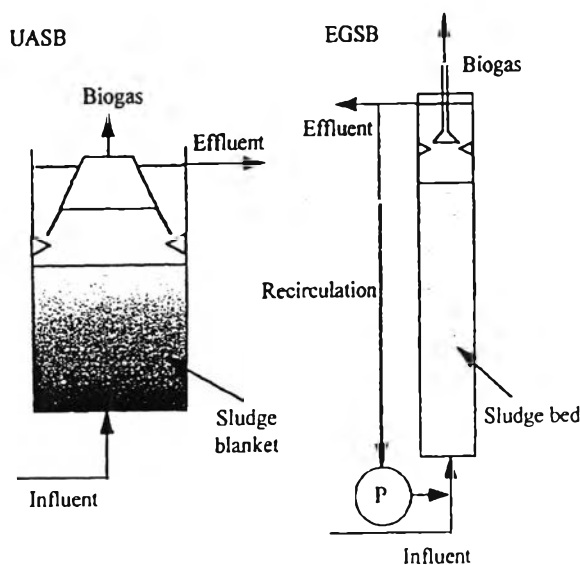
2.8.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี

ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบยูเอสบี แต่จะมีข้อแตกต่างกัน ดังนี้

ระบบอีจีเอสบีมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งกลับเข้ามาสู่ระบบใหม่

ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าสูงกว่าของระบบยูเอสบี โดยระบบอีจีเอสบีมีค่าความเร็วไหลขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 10 ม./ชม. (Seghezze และคณะ, 1998) ในขณะที่ระบบยูเอสบีโดยทั่วไปแล้วความเร็วไหลขึ้นจะอยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 ม./ชม. หรือต่ำกว่า (Kato และคณะ, 1994)

ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีจะมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์ยูเอสบี แสดงดังรูป 2.9 ซึ่งส่วนประกอบของระบบอีจีเอสบีจะเหมือนกับระบบยูเอสบี กล่าวคือมีส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสียที่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ และมีถังตกตะกอนอยู่ที่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์ที่ส่วนบนนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะในการทำหน้าที่แยกน้ำ ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ และมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำทิ้งกลับเพิ่มเข้ามา



รูปที่ 2.9 แผนผังส่วนประกอบของระบบ ยูเอสบี และ อีจีเอสบี โดยที่ พี คือเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (Seghezze และคณะ, 1998)

คุณลักษณะที่สำคัญของระบบอีจีเอสบี (Seghezze และคณะ, 1998)

1) ความเร็วการไหลขึ้นสูงอยู่ในช่วง 4 – 10 ม./ชม. และภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบยูเอสบี โดยระบบอีจีเอสบีสามารถรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงถึง 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

- 2) ชั้นสลัดจ์มีการขยายตัว
- 3) เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียเจือจางหรือความเข้มข้นต่ำมากกว่าระบบยูเอเอสบี
- 4) สลัดจ์มีลักษณะเป็นเม็ด (Granules) เสมอ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สูงและมีความสามารถในการจมตัวของสลัดจ์ดี
- 5) รูปแบบการกวนผสมต่างไปจากระบบยูเอเอสบี คือ เมื่อความเร็วในการไหลขึ้นของถังปฏิกิริยาสูงและปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดการสัมผัสที่กระหว่างน้ำเสียและชั้นสลัดจ์
- 6) ความดันของสลัดจ์ที่ชั้นล่างมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่ตั้งถังปฏิกิริยาสูงมาก แต่ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ยังไม่มีการศึกษา

7) สลัดจ์ที่เป็นฟล็อก (Flocculent Sludge) จะถูกล้างออก (Wash out) จากระบบ

8) ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอยและคอลลอยด์ค่อนข้างต่ำ

ระบบอีจีเอสบีเป็นการปรับปรุงข้อเสียของระบบยูเอเอสบี ที่มีการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) ต่ำ เนื่องจากมีการสัมผัสกันของน้ำเสียกับจุลินทรีย์ไม่ทั่วถึง ซึ่งแก้ไขโดยทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นสลัดจ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นให้สูงกว่า อาจทำได้โดยการออกแบบให้ถังอีจีเอสบีมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างที่มากเพียงพอต่อการขยายตัวของชั้นสลัดจ์หรือมีอัตราการเวียนน้ำที่กลับที่เพียงพอ (Kato, 1994)

แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของระบบอีจีเอสบีที่มีความเร็วการไหลขึ้นสูง ทำให้ต้องคำนึงถึงการออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นพิเศษ เนื่องจากอาจเกิดการล้างออก (Wash out) ของตะกอนจุลินทรีย์ (Kato และคณะ, 1994)

เนื่องจากว่าระบบอีจีเอสบีมีการถ่ายเทมวลสารที่ดีกว่าระบบยูเอเอสบี (Kato และคณะ, 1994) ทำให้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ดีแล้วยังสามารถใช้บำบัดสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษที่มีความเข้มข้นสูง ๆ เช่น ฟอรั่มลดีไฮด์ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดน้ำเสียประเภท Long chain fatty acid ที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 30 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี 85-95 เปอร์เซ็นต์ (Rinzema และคณะ, 1993)

Kato และคณะ (1994) กล่าวว่า ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ที่มีความเหมาะสมในการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำในขณะที่โดยทั่วไปแล้ว ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีประสิทธิภาพต่ำในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ดังจะพบได้จากรายงานวิจัยระบบยูเอเอสบีทั่วไปที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งไม่สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่าซีโอดีในน้ำเสียที่มีค่าต่ำจะส่งผลให้ระดับของสารอาหารที่ลดลงเรื่อย ๆ ตามขึ้นความลึกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์นั้นมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการย่อย

สลายสารอาหารที่ต่ำ จากสมการ โมโนด์ ได้แสดงว่าอัตราการทำปฏิกิริยาของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอาหาร อัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับค่า K_s ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงคุณลักษณะจำเพาะของแบคทีเรียต่อสารอาหารนั้น ๆ โดย Kato ได้แบ่งค่า K_s ออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1) Intrinsic K_s เป็นค่า K_s ที่แท้จริง ซึ่งแสดงถึงการถ่ายเทมวลสารเข้าไปยังเซลล์ของแบคทีเรีย ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตในน้ำเสียแบบกระจาย (Dispersed Bacterial Cells) ในสภาพที่เซลล์แบคทีเรียมีการแขวนลอยอย่างสมบูรณ์

2) Apparent K_s เป็นค่า K_s ปรากฏ โดยเกี่ยวข้องกับอัตราการถ่ายเทมวลสารผ่าน Biofilm ที่ห่อหุ้มอยู่รอบนอกของกลุ่มเซลล์แบคทีเรียหรือเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Apparent K_s จะมีค่าสูงกว่า Intrinsic K_s เนื่องจากว่ามีข้อจำกัดหรืออุปสรรคในการถ่ายเทมวลสารผ่าน Biofilm ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าใน Dispersed Bacterial Cells ดังนั้นจะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่ำลงเรื่อย ๆ ตามความลึกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และไม่มีอาหารที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นลึก ๆ จะขาดอาหารเกิดการย่อยสลายตัวเองกลายเป็นโพรงว่างบริเวณแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดการ Wash out ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากการที่มีก๊าซสะสมตัวอยู่ภายในและนอกจากนี้โครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่จับตัวกันหลวม ๆ ยังสามารถเกิดการแตกสลายเนื่องจากความปั่นป่วนทางกลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์ได้

การที่จะทำให้มีสารอาหารที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ จำเป็นที่จะต้องเกิดอัตราการถ่ายเทมวลสารผ่านชั้น Biofilm ได้เร็วกว่าอัตราการย่อยสลายสารอาหารโดยจุลินทรีย์ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ จึงจะต้องมีการกวนผสมที่เพียงพอ เพื่อให้ น้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้อย่างสม่ำเสมอ และทำให้ค่า Apparent K_s มีค่าต่ำลง ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยระบบอีเอสบี สามารถทำให้เกิดการกวนผสมที่เพียงพอได้โดย การติดตั้งระบบเวียนน้ำทิ้งกลับ เพื่อเพิ่มความเร็วในการไหลขึ้น

Dolfing (1985) กล่าวว่า ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จุลินทรีย์จะถูกเก็บไว้ในระบบเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เกิดเป็นชั้น Biolayer ที่หนาแน่น ซึ่งชั้น Biolayer เหล่านี้ จะทำให้สารอาหารไม่สามารถผ่านเข้าไปในชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ด้านในได้เนื่องจากเกิดการต้านทานการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer Resistance) ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาภายในระบบ โดยค่า Gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน Biolayer สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการของ Fick (Fick's First Law)

$$F = - \varnothing D \frac{dC}{dx}$$

F คือ Flux ของมวลสาร หรือ Substrate

\varnothing คือ ความพรุนของ Biolayer

D คือ Diffusion coefficient

dC/dx คือ Gradient ของ Substrate ใน Biolayer

จากสมการนี้ จะเห็นได้ว่า Flux ของสารอาหารที่ผ่าน Biolayer ขึ้นอยู่กับ ค่า Gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน Biolayer และขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาจำเพาะกับขนาดรูปร่างของ Biolayer ดังนั้นจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นในจะได้รับความเข้มข้นสารอาหารที่ต่ำกว่า จุลินทรีย์ที่อยู่ผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาค่า และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารอาหาร ซึ่งอธิบายโดยสมการ โมโนด์ว่า ความเร็วของการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์กับความเข้มข้นของสารอาหาร จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงที่ความเข้มข้นของสารอาหารมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่า ค่า K_s ดังนั้น Mass Transfer Resistance จึงเป็นปัจจัยสำคัญในสภาวะที่ความเข้มข้นของสารอาหารมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่า ค่า K_s หรือเมื่อค่า Gradient ของความเข้มข้นของสารอาหารใน Biolayer อยู่ในช่วงค่าความเข้มข้นนี้ และได้สรุปว่า Mass Transfer Resistance ขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

- 1) ความเข้มข้นของสารอาหาร
- 2) ค่า K_s ของแบคทีเรียสำหรับประเภทของสารอาหารนั้น
- 3) ความหนาแน่นของ Biolayer พบว่า Mass Transfer Resistance จะไม่มีผลต่อ Biofilm ที่มีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร
- 4) ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดใน Biolayer

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการกำจัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์หลากหลายของระบบยูเอเอสบีนั้น ความเร็วไหลขึ้นและอัตราการหมุนเวียนน้ำเข้าสู่ระบบแสดงให้เห็นถึงความสำคัญต่อระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพได้ในอัตราสูง

2.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับน้ำเสียเป้งมันสำปะหลัง

Charin (1968) ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเป้งมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างบ่อแอนแอโรบิกและถังย่อยแอนแอโรบิกในรูปเปอร์เซ็นต์ของการกำจัดวีเอส (V.S.) และการกำจัดบีโอดี ที่ภาระทางชลศาสตร์ต่อปริมาตรเท่ากัน โดยใช้น้ำเสียที่มีค่าบีโอดีในช่วง 5,500 – 7,450 มก./ล. เอสเอส 1,950 – 3,850 มก./ล. และ พีเอส 3.8 – 5.2 พบว่าบ่อแอนแอโรบิกมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถังย่อยแอนแอโรบิกและชุดการทดลองของบ่อแอนแอโรบิกที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในเวลาถัดมา 6 วัน โดยมีการกำจัดวีเอส 71.5 เปอร์เซ็นต์ หรือ 362 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อวัน น้ำออกมีบีโอดี 3,150 มก./ล. และของแข็งทั้งหมด 6,590 มก./ล. โดย 45.5 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูปกรดไขมันระเหยง่าย

Uddin (1970) ได้ศึกษาถึงการควบคุมระบบบ่อไร่อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกบีโอดีจะมีผลต่อการควบคุมระบบมากกว่าค่าพีเอช และเวลาเก็บกัก ในบ่อไร่อากาศบ่อแรกค่าน้ำหนักบรรทุกบีโอดีที่เหมาะสมคือ 6,000 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อวัน โดยใช้เวลาเก็บกัก 5 วัน ซึ่งจะสามารถลดบีโอดีได้ 3,680 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อวัน สำหรับบ่อต่อ ๆ ไป ค่าบีโอดีจะลดลงได้น้อยกว่าบ่อแรกเมื่อเวลาเก็บกักเท่ากัน ระบบบ่อไร่อากาศที่ทำการศึกษากลับมาเป็นระบบบ่อที่ต่อเนื่องกัน 3 บ่อ ซึ่งสามารถลดบีโอดีเฉลี่ย 84 เปอร์เซ็นต์ที่น้ำหนักบรรทุกบีโอดีเฉลี่ย 2,270 ปอนด์ต่อเอเคอร์ต่อวัน เมื่อคิดจากพื้นที่รวม

Prasanna (1996) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ระบบยูเอเอสบี โดยในสภาวะคงตัวน้ำเสียมีค่าซีโอดีในช่วง 12,000 – 24,000 มก./ล. พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำ 4 : 1 (น้ำที่เวียน : น้ำเสียเข้า)

เนตรนภา ศรีตวราชพงศ์ (2539) ศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสีย โรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบยูเอเอสบีมีถังสร้างกรด ผลของการหมุนเวียนน้ำกลับที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ การทดลองประกอบด้วยถังยูเอเอสบี 3 ชุด ชุดที่ 1 ไม่มีถังสร้างกรดแต่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ ชุดที่ 2 มีถังสร้างกรดและมีการหมุนเวียนน้ำกลับ ชุดที่ 3 มีถังสร้างกรดแต่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ โดยถังสร้างกรดมีระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และอัตราส่วนการเวียนกลับเท่ากับ 5:1 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 2,500 และ 5,000 มก./ล. พบว่า เมื่อไม่มีถังสร้างกรด ชุดที่ 1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบเกือบทั้งหมด ชุดที่ 2 และ 3 ซึ่งมีถังสร้างกรด ยังคงรักษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้ได้ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันของชุดที่ 1 2 และ 3 พบว่า ประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดีเท่ากับ 81 89 และ 84 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันระเหยเท่ากับ 127 45 และ 45 มก./ล. (กรดอะซิติก) และที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ชุดที่ 1 2 และ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 73 85 และ 81 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดไขมันระเหยเท่ากับ 71 85 และ 91 มก./ล. (กรดอะซิติก) ตามลำดับ สรุปได้ว่า ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดสามารถช่วยป้องกันการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการสะสมของกรดไขมันระเหย ทำให้ระบบยูเอเอสบีมีถังสร้างกรดมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด ขณะที่ผลของการหมุนเวียนน้ำกลับที่มีต่อระบบยูเอเอสบีไม่ชัดเจน

ธนินทร์ ปัญญาภิญโญผล (2543) ศึกษาผลของอัตราส่วนเวลากักไร่อากาศ/ไร่อากาศ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลังที่มีซีโอดี 8,256-9,090 มก./ล. (บีโอดี 6,000-6,800 มก./ล.) โดยใช้ระบบเอสบีอาร์ ขนาด 10 ล. เวลาวัฏจักร 12 ชั่วโมง งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกแปรสัดส่วนเวลากักไร่อากาศ/ไร่อากาศ คือ 8/3 5.5/5.5 และ 3/8 ชั่วโมง อายุสัปดาห์ 7 วัน เมื่อระบบเข้าสู่สถานะ

คงตัว พบว่า 3 ชุดการทดลองดังกล่าวมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 98.7 99.2 และ 99.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่า F/Mv เท่ากับ 0.21-0.26 สำหรับขั้นตอนที่ 2 ได้เลือกสัดส่วนเวลาพัก 5.5/5.5 มาแปรค่าอายุสลัดจ์เพิ่มเติมอีก 2 ค่า คือ 3 และ 5 วัน ชุดการทดลองที่อายุสลัดจ์ 3 และ 5 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากันที่ 98.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้มีค่า F/Mv เท่ากับ 0.47 และ 0.34 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนไร้อากาศ/ใช้อากาศที่เหมาะสมคือ 5.5/5.5 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์ 7 วัน ซึ่งพิจารณาจากความไวในการเกิดสลัดจ์อัดและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบยูเอเอสบี

Lettinga และคณะ (1980) สรุปว่าระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่ำได้ ในการทดลองใช้น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันฝรั่งและโรงงาน Sugar Beet พบว่าระบบสามารถรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ได้สูงถึง 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตะกอนจุลินทรีย์มีการพัฒนาตัวในน้ำเสียได้ดี มีลักษณะการตกตะกอนดี ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซสูงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การอัดตัวของตะกอน ความสูงของตะกอนชั้นล่าง ความเข้มข้นของตะกอน นอกจากนี้ในการทดลองนี้ยังพบว่าระบบยูเอเอสบีเหมาะสมสำหรับกระบวนการ Denitrification ในถังหมักที่สร้างกรด

Wiegant และ De Man (1985) ได้รายงานว่าการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์แต่ละครั้งเป็นสาเหตุทำให้ความเร็วของน้ำเร็วขึ้น เนื่องจากมีอัตราการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นสูงเป็นผลทำให้เกิดความปั่นป่วนในถังปฏิกรณ์ทำให้อนุภาคเล็ก ๆ หลุดออกไปจากถัง

ชำนาญ ภายประสิทธิ์ (2538) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูง โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์น้ำสับประรดเข้มข้นมาเจือจางให้มีค่าซีโอดีประมาณ 9,000 และ 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองใช้จำนวน 2 ถึง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ 9.0 และ 12.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ใช้อัตราส่วน ซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส ในอัตราส่วน 100 : 3 : 1 พบว่า ระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่การระบรทุกสารอินทรีย์ 9.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ลดค่าซีโอดีได้ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 431-561 ลิตรต่อวัน โดยมีก๊าซมีเทนในสัดส่วน 70 เปอร์เซ็นต์ ที่การระบรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ลดค่าซีโอดีได้สูงถึง 83-90 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 565-641 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนในสัดส่วน 69-73 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีจะสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเติมธาตุไนเกิลและโคบอลท์ ที่การระบรทุกสารอินทรีย์ 9.0 และ 12.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

Kalyuzhnyi และคณะ (1997) ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกริยายูเอเอสบี ปริมาตร 3 ลิตร บำบัดน้ำเสียจากการผลิตเนย ภายใต้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 20-30 องศาเซลเซียส ที่การระบรทุกสารอินทรีย์ 28.5 และ 9.5 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ พบว่า

ประสิทธิภาพบำบัดชีโอดีทั้งหมดได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้กับการทดลองในระดับ Pilot Scale น้ำเสียจากการผลิตเนยที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน ให้รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6.5 กรัมชีโอดี/ลิตร-วัน เมื่อระบบคงที่พบว่ามีประสิทธิภาพบำบัดชีโอดีทั้งหมด 95 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากน้ำเสียนี้อะซิไดซ์ 4 ระบบจึงต้องการปริมาณค่า

ฉัตรชัย ตักศิวิรรสุวรรณ (2547) ได้ศึกษาสมรรถนะการบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โดยใช้ถังปฏิกริยาเยอเอสปีภายใต้การป้อนวันละ 6 ชั่วโมง ทดลองบำบัดน้ำเสียที่เวลาเก็บกัก 24 12 8 และ 6 ชั่วโมง ค่าชีโอดีเข้า 906-1193 1,043-1,544 1,085-1,587 1,312-1,514 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าระบบเยอเอสปีกำจัดชีโอดีได้ในช่วง 61.6 – 89.8 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่เวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง คือ 89.8 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อเวลาเก็บกักน้อยลงของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า 272-575 246-740 350-584 365-448 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าสามารถกำจัดได้มากที่สุดที่ 24 ชั่วโมง คือ 89.8 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อเวลาเก็บกักน้อยลง ก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 176 – 257 ลิตรต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพไม่ได้เพิ่มขึ้นตามเวลาเก็บกักสั้นลง ตะกอนมีค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน ในช่วง 5,366 – 11,264 มิลลิกรัมมีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน จากการทดลองได้พบว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง ของระบบเยอเอสปี เหมาะสมใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นสำหรับน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์

Ayoob และคณะ (2003) ศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ด้วยถังปฏิกริยาเยอเอสปี ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง 13 และ 39 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเวลาเก็บกัก 2 – 7 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีอยู่ระหว่าง 75 – 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีชีโอดี เข้า 3,000 – 4,500 มก./ล. และประสิทธิภาพจะลดลงถึง 67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เวลาเก็บกักลดลง อัตราผลิตก๊าซมีเทนได้ 300 ลิตรต่อกิโลกรัมของการกำจัดชีโอดี และที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์น้อยกว่า 30 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขณะที่อัตราผลิตก๊าซมีเทนต่ำกว่า 200 ลิตรต่อกิโลกรัม ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง

Show และคณะ (2004) ทำการทดลองการเพิ่มขึ้นของตะกอนเมื่อเริ่มต้นระบบและเดินระบบไปแล้วในถังปฏิกริยาเยอเอสปี โดยตะกอนที่ใช้มาจากถังหมักแบบไร้อากาศของโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมและครัวเรือนในอุทลง ประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ เอสเอส 72,000 มก./ล. วีเอสเอส 30,000 มก./ล. ปฏิกริยาการเกิดก๊าซมีเทน(Specific Methanogenic Activity, SMA) 500 มิลลิกรัมชีโอดีมีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน (Sludge Volume Index, SVI) 41.2 มิลลิลิตรต่อกรัมเอสเอส. ขนาดตะกอน 101 ไมครอน มาใส่ในถังปฏิกริยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 680 มิลลิเมตร ปริมาตร 4.4 ลิตร จำนวน 6 ถัง เป็นปริมาณครั้งถึงแล้วมีการเติมโพลิเมอร์ชนิดประจุลบ (Cationic Polymer) ซึ่งเป็นสารช่วยตะกอน(Coagulant aid) ในปริมาณ 20 40 80 160 และ 320 มิลลิกรัมต่อลิตรโพลิเมอร์ ในถังที่ 2-6 ตามลำดับ ยกเว้นถังที่ 1

ใช้เป็นถังเปรียบเทียบควบคุมการเติมโพลีเมอร์ ใช้เวลาเดินระบบเป็นเวลา 104 วัน โดยมีการปรับเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2-40 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส และน้ำเสียเข้าควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส. ในการเดินระบบจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า ชีโอดี 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาคุณภาพของการลดค่าชีโอดี เอสเอ็มเอ การเปลี่ยนแปลงเอสเอส และ วิเอสเอส Sludge Volume Index ความเร็วการตกตะกอน (Settling Velocity , SV) ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสามารถกำจัดชีโอดีได้ 72-93 เปอร์เซ็นต์ เอสเอ็มเอ 1,400-2,500 มิลลิกรัมชีโอดี มีเทนต่อกรัมวิเอสเอสต่อวัน เอสเอส 11,200-62,000 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเอสเอส 7,500-54,400 มิลลิกรัมต่อลิตร Sludge Volume Index 19-36.3 มิลลิตรต่อกรัมเอสเอส ความเร็วการตกตะกอน 26.7-64.2 เมตรต่อชั่วโมง

Halalsheh และคณะ (2005) ได้ทดลองถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาด 96 ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบระหว่าง Two-stage และ Single-stage ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ กัน โดยให้มีชีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 1,531 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสในฤดูหนาว และ 25 องศาเซลเซียสในฤดูร้อน การทดลอง Two Stage ในปีแรก ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง 3.6 – 5.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน สำหรับ First stage และ 2.9 – 4.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน สำหรับ Second stage. พบว่าผลของ First stage ให้ประสิทธิภาพบำบัดชีโอดีทั้งหมด 51 เปอร์เซ็นต์ และ เอสเอส ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อุณหภูมิไม่มีผล ซึ่ง Second stage ระบบจะไม่คงที่ ในปีที่สองให้ First Stage ดำเนินการเป็น Single-stage ให้มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ลดลงครึ่งหนึ่ง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีทั้งหมด 62 เปอร์เซ็นต์ในฤดูร้อน และลดลง 15 เปอร์เซ็นต์ในฤดูหนาว โดยเอสเอสในน้ำออกคงที่ โดยที่อัตราวิเอสเอสต่อเอสเอส เท่ากับ 0.5 ตลอดทั้งปี สถิติที่ Single-stage ในถึงปฏิกรณ์มีความคงตัวดี

2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบอีจีเอสบี

Lettinga และคณะ (1993) แนะนำให้ใช้น้ำเข้ามีค่าชีโอดีในขณะเริ่มเดินระบบอยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่เข้มข้นสูงควรหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจางน้ำเข้าระบบให้มีชีโอดีต่ำกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดปริมาณค่าที่ต้องเติมและเพิ่มการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย ใช้การหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อฟื้นฟูระบบยูเอเอสบีที่ล้มเหลว เนื่องจากมีกรดสะสมในระบบจำนวนมากในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

Rinzema และคณะ (1993) กล่าวว่าระบบอีจีเอสบี สามารถที่จะใช้บำบัดสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษที่ความเข้มข้นสูง ๆ เช่น ฟอรั่มลดีไฮด์ สามารถบำบัดน้ำเสียประเภท Long chain fatty acid ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 30 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าชีโอดี 85 – 95 เปอร์เซ็นต์

Rebac และคณะ (1995) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังอีจีเอสบี ขนาด 4.3 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยใช้หัวเชื้อจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ และให้น้ำเสียเป็นกรดไขมันระเหยง่ายที่เจือจางจนมีความเข้มข้นประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และเวลากักเก็บน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ระยะเวลาในการทดลอง 240 วัน หลังจากวันที่ 120 มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดี 80 – 90 เปอร์เซ็นต์

Ching-Shyung และคณะ (1997) ทดลองใช้น้ำเสียที่มีค่าซีโอดี 400 มก./ล. ในระบบอีจีเอสบีปริมาตร 4.4 ล. เติมน้ำในระบบภายใต้สภาวะ Thermophilic (55 องศาเซลเซียส) และ Mesophilic (30 องศาเซลเซียส) HRT 24 ชั่วโมง แปรค่าความเร็วไหลขึ้น 1 4 และ 7 ม./ชม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 82-89 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าเมื่อความเร็วไหลขึ้นมากจะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนจะลดลงดังนี้ ช่วง Thermophilic ผลิตก๊าซมีเทนได้ 70 49 และ 39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ช่วง Mesophilic ผลิตก๊าซมีเทนได้ 70 59 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นมากกว่า 4 ม./ชม. และ HRT น้อยกว่า 10 ชม. จะทำให้เกิดการกวนเป็นการเพิ่มการสัมผัสของสารอาหารและจุลินทรีย์โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์ (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานสุราแสงโสม ให้น้ำเข้ามีซีโอดีเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แปรค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 10 และ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 เมตรต่อชั่วโมง พบว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 3 เมตรต่อชั่วโมง ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 10 และ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีเฉลี่ย 50 51 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน 65.2 60.1 และ 57.8 ตามลำดับ ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 เมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีเฉลี่ย 51 53 และ 55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน 65.6 60.3 และ 58.2 ตามลำดับ

Jeison และ Chamy (1999) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังปฏิกริยาอีจีเอสบีและถังปฏิกริยายูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียที่ให้สารอาหารต่างกัน คือ เอธานอล เบียร์ และอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟ ซึ่งน้ำเสียเอธานอลจะมีความเข้มข้นประมาณ 0.5 และ 10 ก.ซีโอดี/ล. น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเบียร์เจือจางให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 3 ก.ซีโอดี/ล. และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟมีความเข้มข้นประมาณ 7 ก.ซีโอดี/ล. ในการวิเคราะห์เม็ดตะกอนทั้งถังปฏิกริยาอีจีเอสบีและถังปฏิกริยายูเอเอสบีจะวิเคราะห์ถึง ทีเอสเอส วีเอสเอส การกระจายขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการวิเคราะห์เอสเอ็มเอ ผลการศึกษาได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของเอธานอลที่ 500 ก.ซีโอดี/ล. สามารถบำบัดให้มีค่าลดลงได้ ทั้งถังปฏิกริยาอีจีเอสบีและถังปฏิกริยายูเอเอสบี (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับภาระบรรทุก 0.8 ก.ซีโอดี/วัน/ก.วีเอสเอส) และการเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียจะให้ผลดีต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อใช้ความเร็ว

ไหลขึ้นที่ต่ำกว่า 5 ม./ชม. สำหรับการบำบัดน้ำเสียเอธานอล และไม่มีผลแตกต่างกันมากในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกาแฟ ในด้านการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากการเจือจางน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เบียร์พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกริยาอีจีเอสบีให้ผลดีกว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกริยายูเอสบี

Richard และคณะ (2000) ศึกษาการคอินทรีย์ในถังปฏิกริยาอีจีเอสบีโดยมี Maleic Oxalic Fumaric Acetic และ Formic Acids ที่เวลาเก็บกัก 6 ชั่วโมง และภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่ามีประสิทธิภาพกำจัดซีไอดี 98 เปอร์เซ็นต์ และทำการแยก Maleic Oxalic และ Fumaric Acids ทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง 1.8 และ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพกำจัดซีไอดี 90-98 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาเก็บกัก 8 และ 12 ชั่วโมง ที่การผสม Acetic Propionic Butyric Maleic Glyoxylic และ Benzonic Acids ที่เวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพกำจัดซีไอดี 90 เปอร์เซ็นต์

Zhang และคณะ (2001) ได้ศึกษาการใช้ถังปฏิกริยาอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลทางภาคเหนือของประเทศไทย ให้ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 29 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และของแข็งแขวนลอย 6,000 มก./ล. ใช้เวลาในขั้นตอนการเตรียมสภาพตะกอนให้พร้อมกับการทดลองเป็นระยะเวลา 2 เดือน จากการศึกษาพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 90 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถสรุปได้ว่า ถังปฏิกริยาอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพสามารถบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลได้เป็นอย่างดี

Li-Bing และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษากระบวนการอีจีเอสบีร่วมด้วยใช้เมมเบรนในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ในระยะเวลา 7 เดือน ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 11-25 องศาเซลเซียส ใช้ HRT 3.5-5.7 ชม. พบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 15 องศาเซลเซียส ระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้ 85-96 เปอร์เซ็นต์ กำจัดทีโอซีได้ 83-94 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียสระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้ 76-81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่ม HRT จาก 3.5 ถึง 5.7 ชม. ประสิทธิภาพกำจัดซีไอดีโดยเมมเบรนเพิ่มขึ้น จาก 8.8 เปอร์เซ็นต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็น 14.2 เปอร์เซ็นต์ที่ 11 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระบบให้ความเร็วไหลขึ้นมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพสูงด้วย