

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาในครั้งนี้ เป็นการศึกษาความสามารถของระบบเอเอ็มบีอาร์ ในการกำจัดมลพิษอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล โดยใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอ็มบีอาร์ ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Times : HRT) 144 ชั่วโมง โดยใช้ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6 เพื่อหาประสิทธิภาพในการรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล รวมถึงสภาวะที่เหมาะสมของระบบเอเอ็มบีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล ลักษณะทางกายภาพของเม็คตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอ็มบีอาร์ ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพ และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลในระบบเอเอ็มบีอาร์

ตารางที่ 6 ระยะเวลาพักเก็บน้ำและค่าภาระบรรทุกที่ใช้ในการทดลอง

ระยะเวลาพักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Times : HRT)	ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) (gCOD/cm ³ -d)
144 ชั่วโมง	0.83
144 ชั่วโมง	1.67
144 ชั่วโมง	2.50
144 ชั่วโมง	3.75
144 ชั่วโมง	5.83

การเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์พิจารณาจากประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ติดต่อกัน 3 รอบของระยะเวลาพักเก็บน้ำ จึงทำการเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 0.83 เป็น 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gCOD/cm³-d ตามลำดับ โดยทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ตามแผนการทดลอง

1. ผลจากขั้นเตรียมการทดลอง

1.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบจากโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด (มหาชน) โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 3 ครั้ง ๆ ละประมาณ 100 ลิตร เก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียที่อุณหภูมิ 4 °C และทำการนำตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตั้งต้น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากโรงงาน

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	-	4.29
ซีไอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand; TCOD)	มิลลิกรัม/ลิตร	70,000.00
บีไอดี (Biochemical Oxygen Demand; บีไอดี)	มิลลิกรัม/ลิตร	29,500.00
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS)	มิลลิกรัม/ลิตร	62,534.00
ของแข็งละลายทั้งหมด(Total Dissolved Solids; TDS)	มิลลิกรัม/ลิตร	44,854.00
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS)	มิลลิกรัม/ลิตร	17,680.00
ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย(Volatile Suspended Solids; VSS)	มิลลิกรัม/ลิตร	14,640.00
สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity (as CaCO ₃); ALK)	มิลลิกรัม/ลิตร	1,080.00
กรดไขมันระเหยง่าย (VFA (as Acetic Acid))	มิลลิกรัม/ลิตร	5,691.43
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)	มิลลิกรัม/ลิตร	1,568.00
ฟอสเฟต (Phosphate)*	มิลลิกรัม/ลิตร	24.76
แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)*	มิลลิกรัม/ลิตร	70.56
เหล็ก (Iron)*	มิลลิกรัม/ลิตร	47.25

หมายเหตุ: * ข้อมูลจากโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด มหาชน (2551)

1.2 การทดสอบและติดตั้งระบบเอเอ็มบีอาร์

ทำการทดสอบระบบเอเอ็มบีอาร์ โดยเติมน้ำประปาลงในระบบเอเอ็มบีอาร์ และทำการตรวจสอบรอยรั่วซึมของน้ำเป็นระยะเวลา 3 วัน เมื่อตรวจสอบระบบเอเอ็มบีอาร์ ไม่พบรอยรั่วซึมของน้ำ จึงทำการติดตั้งระบบเอเอ็มบีอาร์ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์โดยทำการเดินระบบเป็นเวลาอีก 3 วัน พบว่า อุปกรณ์อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์และสามารถทำงานได้เป็นไปอย่างปกติ

1.3 ความเข้มข้นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเข้าระบบ

การทดลองนี้ตะกอนจุลินทรีย์เป็นตะกอนจุลินทรีย์แบบเม็ด ซึ่งนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี ของบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน) จังหวัดปทุมธานี โดยมีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจุลินทรีย์ระเหยง่าย (MLVSS) เท่ากับ 57,200 มิลลิกรัม/ลิตร และการทดลองนี้กำหนดให้มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจุลินทรีย์ระเหยง่ายที่เติมในระบบเอเอ็มบีอาร์มีค่าเท่ากับ 30,000 มิลลิกรัม/ลิตร ของปริมาตรในการทำปฏิกิริยาของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอ็มบีอาร์

2. ผลจากขั้นการทดลอง

2.1 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียที่นำเข้าระบบเอเอ็มบีอาร์

จากการทดลอง ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เริ่มต้นที่ 0.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่จึงมีการเพิ่มค่า OLR เป็น 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ตามลำดับ และลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียในแต่ละค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบบำบัด แสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบบำบัดเอเอ็มบีอาร์

พารามิเตอร์	คุณสมบัติของน้ำเสียที่เข้าระบบในแต่ละความเข้มข้น (ค่าเฉลี่ย)				
	0.83	1.67	2.50	3.75	5.83
พีเอช	7.00	6.97	6.79	6.83	6.83
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,453.61	3,798.08	6,250.00	11,197.78	17,259.72
ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	5,109.21	9,513.29	14,360.31	21,913.98	35,902.78
ซีโอดีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	4,265.93	8,341.08	11,813.13	16,949.10	26,358.75
สภาพความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,904.17	2,577.50	3,254.17	4,627.50	6,610.56
ของแข็งแขวนลอยละเอียด (มิลลิกรัม/ลิตร)	280.00	1,124.00	1,186.67	1,917.78	4,455.00
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	480.00	1,380.00	1,593.33	2,513.33	5,630.53
กรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัม/ลิตร)	1,111.90	1,514.64	2,192.30	3,791.01	5,629.96

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยได้จากผลการทดลองจนสิ้นสุดการทดลองที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

2.2 ประสิทธิภาพของระบบ เอเอ็มบีอาร์ในการกำจัดชีโอดีทั้งหมด และชีโอดีละลายน้ำ

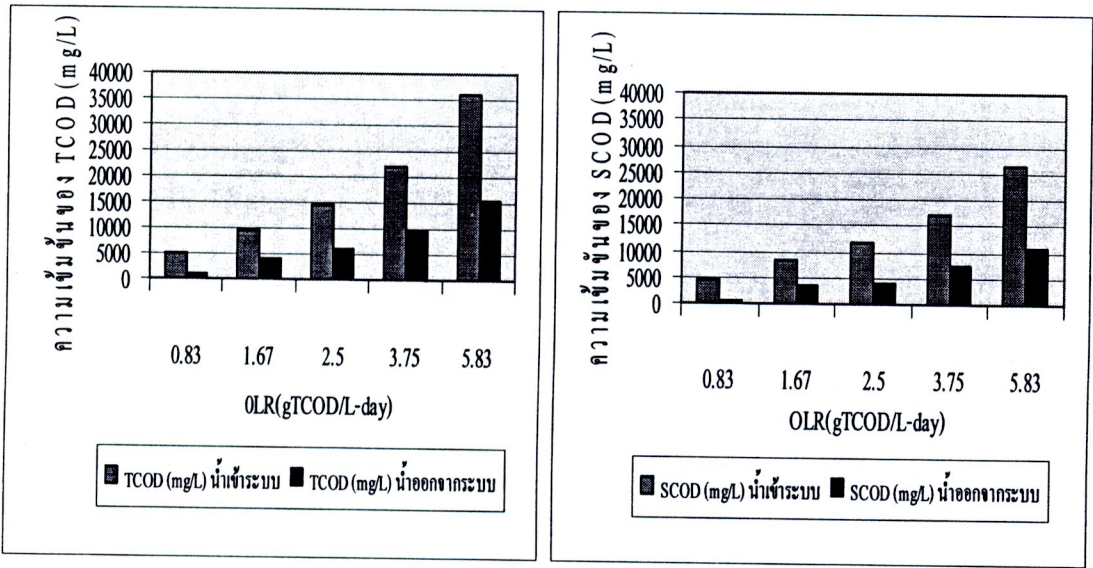
โดยปกติค่าชีโอดี จะสูงกว่าค่าบีโอดี ทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์คาร์บอน เช่น กลูโคส ลิกนิน เซลลูโลส จะถูก Oxidize เป็น CO₂ และ H₂ O ได้อย่างสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตาม ในน้ำเสียบางชนิด ซึ่งมีสารอินทรีย์คาร์บอนบางตัว เช่น Straight-Chain Aliphatic Compound, Aromatic Hydrocarbon, Pyridine และ Betaine ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะไม่ถูก Oxidize ทางเคมีก็จะส่งผลให้ค่าชีโอดีน้อยกว่าความเป็นจริง และในกรณีที่น้ำเสียนั้นมีอิออนของสารประกอบอนินทรีย์บางตัวที่ไม่ต้องการวัดเป็นค่าชีโอดี เช่น F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₂⁻, S²⁻ และ Fe²⁺ รวมอยู่ด้วยก็จะส่งผลให้ค่าชีโอดีมีค่ามากกว่าความเป็นจริง (มันรักษ์ ตันจุลเวศม์, 2546) การหาค่าชีโอดีจะรู้ผลได้ในเวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียเพราะสามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และสามารถใช้ในการประเมินค่าบีโอดีได้อย่างคร่าว ๆ (มันสิน ตันจุลเวศม์ และ มันรักษ์ ตันจุลเวศม์, 2547) และในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ทั้งค่า TCOD และ SCOD เหตุผลที่ทำการวิเคราะห์ค่า SCOD รวมด้วยเนื่องจากต้องการวัดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในขณะที่ไม่มีการปนเปื้อนหรือรบกวนจากตะกอนสารอินทรีย์

ระบบเอเอ็มบีอาร์ ดำเนินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน โดยค่าเฉลี่ยของ TCOD และ SCOD ของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ ในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ OLR แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยของ TCOD และ SCOD ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ ลิตร-วัน)	TCOD (มิลลิกรัม/ลิตร)		SCOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.83	5,109.21	943.81	4,265.93	608.90
1.67	9,513.29	4,035.22	8,341.08	3,416.15
2.50	14,360.31	6,116.02	11,813.13	4,143.79
3.75	21,913.98	9,349.10	16,949.10	7,311.11
5.83	35,902.78	15,506.36	26,358.75	10,949.91

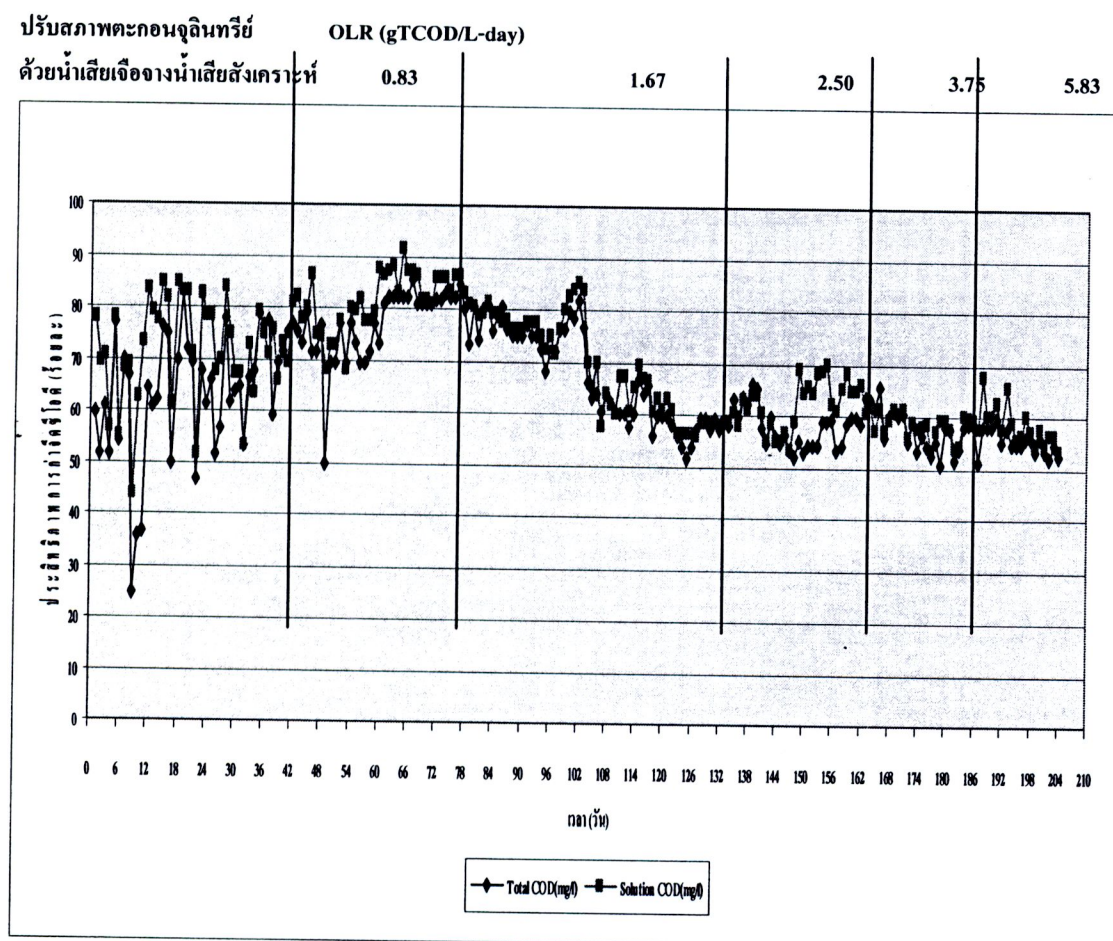
ภาพที่ 14 แสดงความเข้มข้นของ TCOD และ SCOD ที่เข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ OLR พบว่าการเตรียมน้ำเสียเข้าสู่ระบบในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของค่าซีโอดีที่กำหนดไว้ ระบบบำบัดจึงได้รับความเข้มข้นในระดับใกล้เคียงกันอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ระบบสามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ง่ายขึ้น และเข้าสู่สภาวะคงที่ได้จนถึงความเข้มข้นสุดท้าย แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นน้ำเสียสูงสุดในการเดินระบบยังไม่เกิดความเป็นพิษต่อระบบและตะกอนจุลินทรีย์



ภาพที่ 14 ความเข้มข้นของ TCOD และ SCOD ที่เข้าและออกจากระบบ ของการบำบัดน้ำเสีย ในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

ภาพที่ 15 แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดเอเอ็มบีอาร์ ในการกำจัด TCOD และ SCOD ตลอดระยะเวลาการเดินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD มีค่าสูงสุดร้อยละ 85.55, 91.46 ตามลำดับที่ OLR เริ่มต้น แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD ลดลงเมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในความเข้มข้นต่อมาจนถึงความความเข้มข้นสุดท้าย โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD ต่ำสุด เท่ากับ ร้อยละ 50.77, 52.59 ที่ OLR 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีได้น้อยกว่าร้อยละ 80 แต่ตะกอนจุลินทรีย์ยังคงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ปริมาณใกล้เคียง

กัน และเข้าสู่สภาวะคงที่ได้โดยไม่เกิดความเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ แต่เมื่อพิจารณาค่าบีโอดีตลอดการทำงานของระบบเอเอ็มบีอาร์พบว่ามียูเอเอ็มบีอาร์มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงยอมรับได้ว่าระบบยังไม่ล้มเหลว



ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD ของการบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินการระบบ
ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินการระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์
สูตร Vanderbilt Media Solution

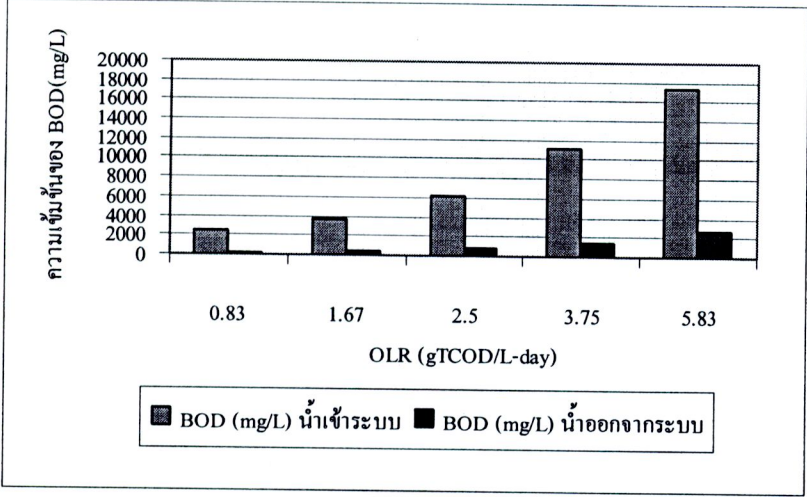
2.3 ประสิทธิภาพของระบบเอเอ็มบีอาร์ในการกำจัดบีโอดี

ค่าบีโอดีแสดงถึงปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน สภาวะมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณบีโอดี คือ 20°C และเวลา 5 วัน (BOD₅) ค่าบีโอดีจะบ่งบอกถึงลักษณะของน้ำเสียว่ามีสารอินทรีย์มากน้อยเพียงใด และยังทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดในรูปของการกำจัดบีโอดี (BOD removal) ในงานวิจัยครั้งนี้ ดำเนินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน พบว่าค่าเฉลี่ยของ บีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ OLR แสดงได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของบีโอดี ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัด น้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ ลิตร-วัน

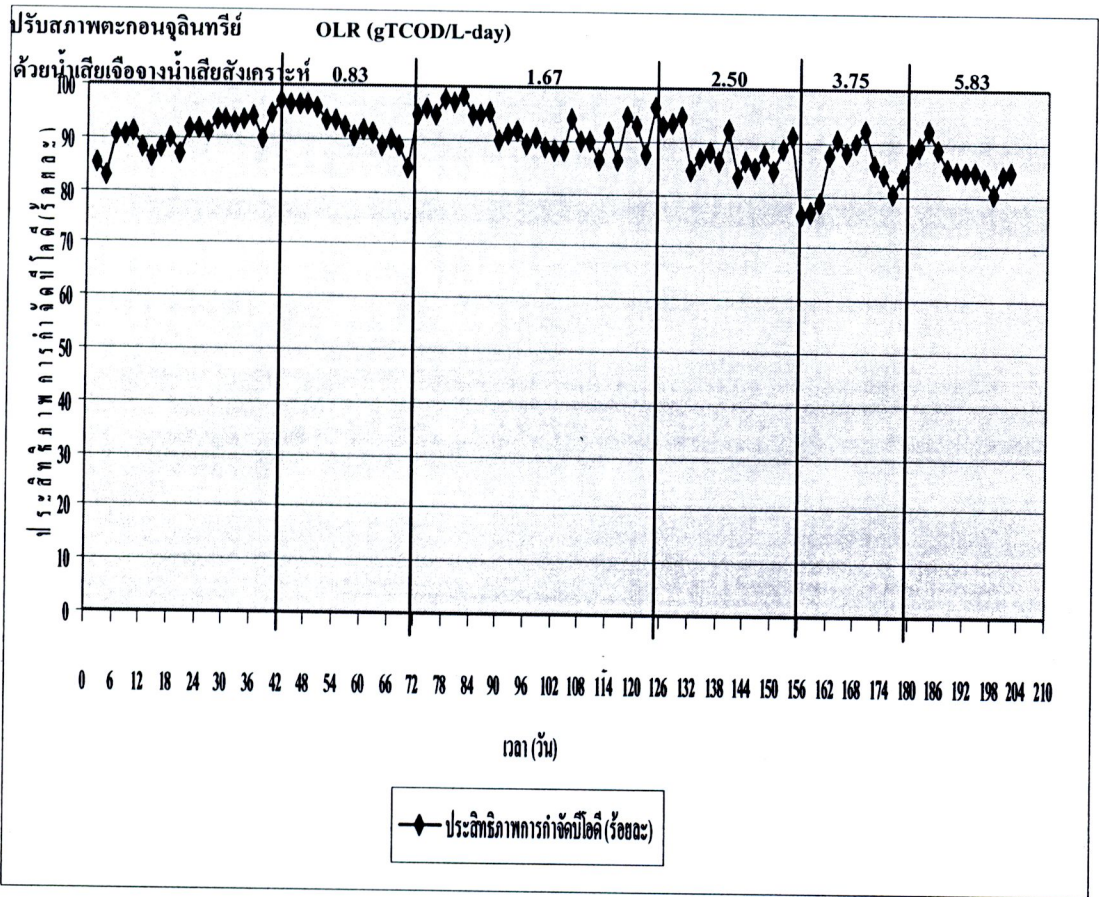
OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.83	2,453.61	241.42
1.67	3,798.06	354.67
2.50	6,250.00	783.61
3.75	11,197.78	1,480.00
5.83	17,259.72	2,677.22

ภาพที่ 16 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ บีโอดี ที่เข้าและออกจากระบบ ในช่วงสภาวะ คงที่ของแต่ละ OLR จะพบว่า ความเข้มข้นของ บีโอดี ที่เข้าสู่ระบบ มีความคงที่สอดคล้องกับความ เข้มข้นของ TCOD และ SCOD ที่เข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 16 ความเข้มข้นของบีโอดี ที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

ภาพที่ 17 แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบเอเอ็มบีอาร์ ในการกำจัดบีโอดี ตลอดระยะเวลาการเดินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีในน้ำเสียได้สูงกว่าร้อยละ 80 ตั้งแต่ความเข้มข้นเริ่มต้นจน ถึงความความเข้มข้นสุดท้าย โดยระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 96.94 ที่ OLR 0.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วันและระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 80.55 ที่ OLR 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

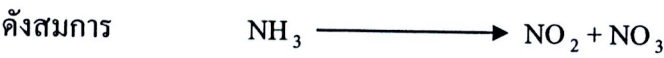


ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ของการบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ สูตร Vanderbilt Media Solution

2.4 ประสิทธิภาพของระบบเอเอ็มบีอาร์ ในการกำจัด TKN

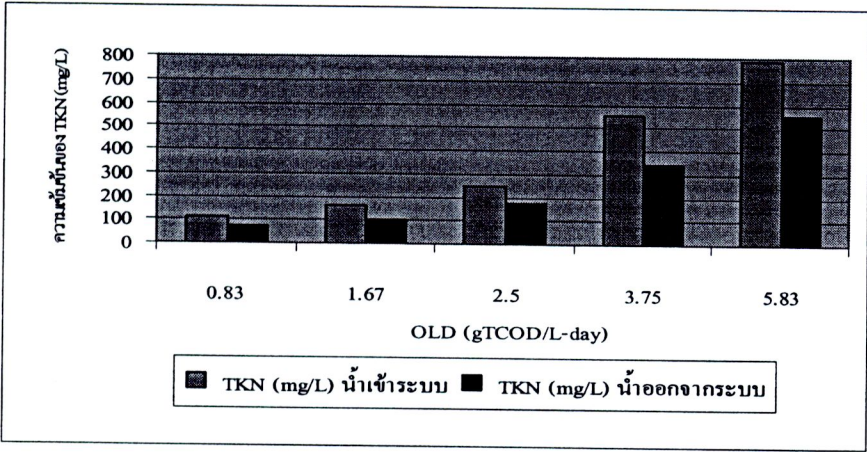
จากการดำเนินระบบเอเอ็มบีอาร์ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน HRT 144 ชั่วโมง แสดงผลการกำจัดไนโตรเจนได้ดังตารางที่ 11 และภาพที่ 18 จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าระบบเอเอ็มบีอาร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ต่ำมากหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่สามารถกำจัดได้เลย (น้ำเงิน จันทรมณี, 2549) เนื่องการกำจัด ไนโตรเจนจะต้องมีการเปลี่ยนรูป



จากสมการ จะเห็นว่า ต้องมีออกซิเจนอิสระมาเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่ในระบบเอเอ็มบีอาร์นี้ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงทำให้ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) แต่ในบางกระบวนการ เช่น กระบวนการ Anamox ที่มีการเติมไนไตรท์ลงไปในระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน จึงทำให้สามารถเกิดการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ (สมชาย คารารัตน์ และคณะ, 2549)

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยของ TKN ในน้ำเสียที่เข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	TKN (มิลลิกรัม/ลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัด TKN (ร้อยละ)
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	
0.83	109.69	74.04	32.05
1.67	158.28	105.14	33.57
2.50	246.96	173.58	29.71
3.75	554.40	338.80	38.89
5.83	782.60	552.76	29.37



ภาพที่ 18 ความเข้มข้น TKN ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะ คงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

2.5 ประสิทธิภาพของระบบเอเอ็มบีอาร์ ในการกำจัด SS และ VSS

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) โดยดำเนินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน HRT 144 ชั่วโมง และผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SS และ VSS ของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าร้อยละเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัด SS และ VSS ของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด SS (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพ ในการกำจัด VSS (ร้อยละ)
0.83	39.93	23.01
1.67	47.39	48.22
2.50	34.31	33.15
3.75	10.79	23.29
5.83	24.98	27.89

จากตารางที่ 12 แสดงค่าร้อยละเฉลี่ยการกำจัด SS และ VSS ของการบำบัดน้ำเสีย เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัด SS สูงสุด คือ ร้อยละ 47.39 ที่ OLR 1.67 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน และมีประสิทธิภาพในการกำจัด VSS สูงสุด คือ ร้อยละ 48.22 ที่ OLR เดียวกัน และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งสองชนิดในน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50

จากตารางที่ 13 ที่ OLR 0.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน พบว่าความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบมีค่ามากกว่าออกจากระบบ เนื่องจากในช่วงการทดลองนี้ น้ำเสียที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งมีสภาพเป็นกรดมีค่าพีเอชประมาณ 4 ยังไม่ผ่านการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เหมาะสมในช่วง 6.8-7.2 ทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่าเพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติเป็นสารอนินทรีย์จึงเป็นผลให้ปริมาณของของแข็งเพิ่มมากขึ้น จึงทำ

การเปลี่ยนวิธีวิเคราะห์ใน OLR อื่น ๆ โดยนำน้ำเสียเข้าระบบที่ผ่านการปรับค่าพีเอชแล้วมาทำการวิเคราะห์ และพบว่าผลการวิเคราะห์ของแข็งที่ OLR 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ SS VSS TS และ TVS มีค่าความเข้มข้นในน้ำเสียออกจากระบบน้อยกว่าความเข้มข้นในน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14 จึงอาจกล่าวได้ว่าระบบเอเอ็มบีอาร์มีความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลได้

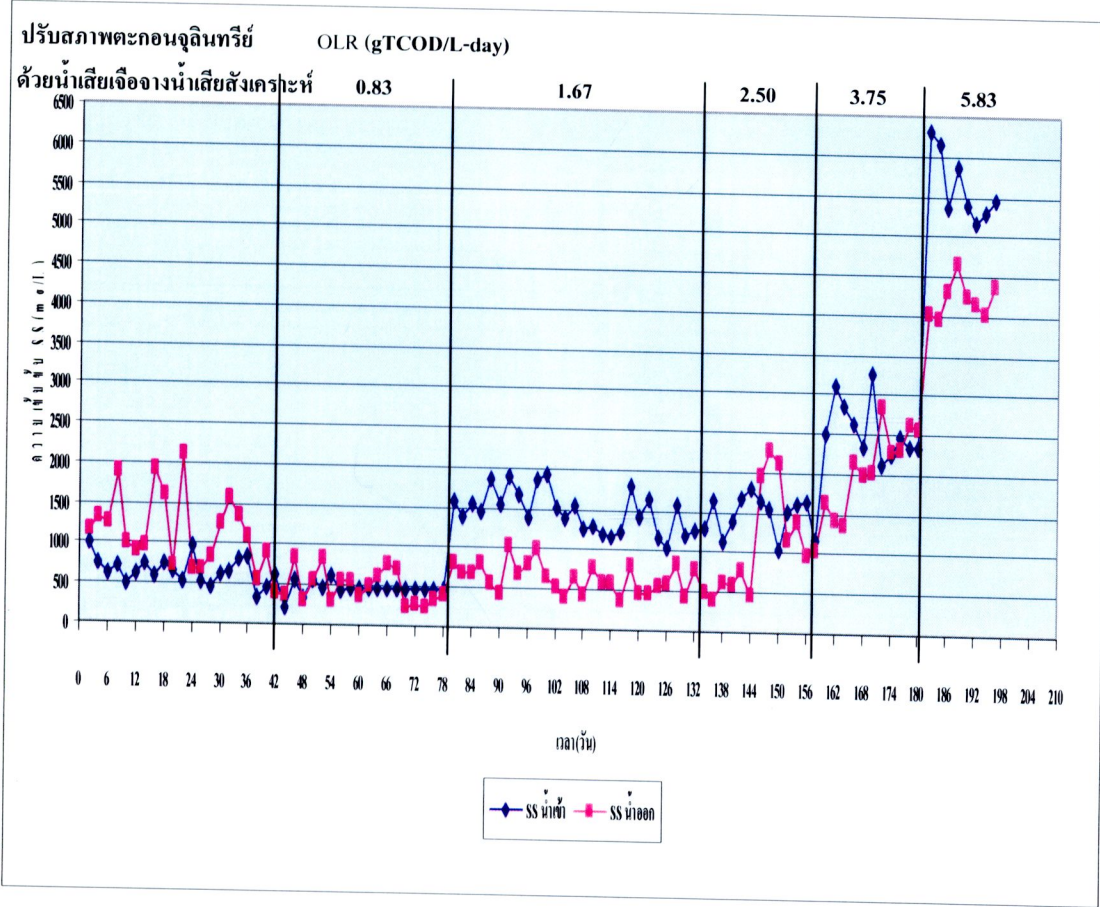
ตารางที่ 13 ความเข้มข้นเฉลี่ย TS และ TVS ในน้ำเสียที่เข้าและออกระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	TS (มิลลิกรัม/ลิตร)		TVS (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.83	4,092.22	5,615.56	2,838.33	2,250.56
1.67	11,146.11	8,825.56	6,371.11	4,233.33
2.50	13,775.00	10,930.00	7,864.44	5,171.67
3.75	21,283.33	16,277.78	12,570.00	7,708.89
5.83	36,308.75	25,463.75	21,807.50	11,900.00

ตารางที่ 14 ความเข้มข้นเฉลี่ย SS และ VSS ในน้ำเสียที่เข้าและออกระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

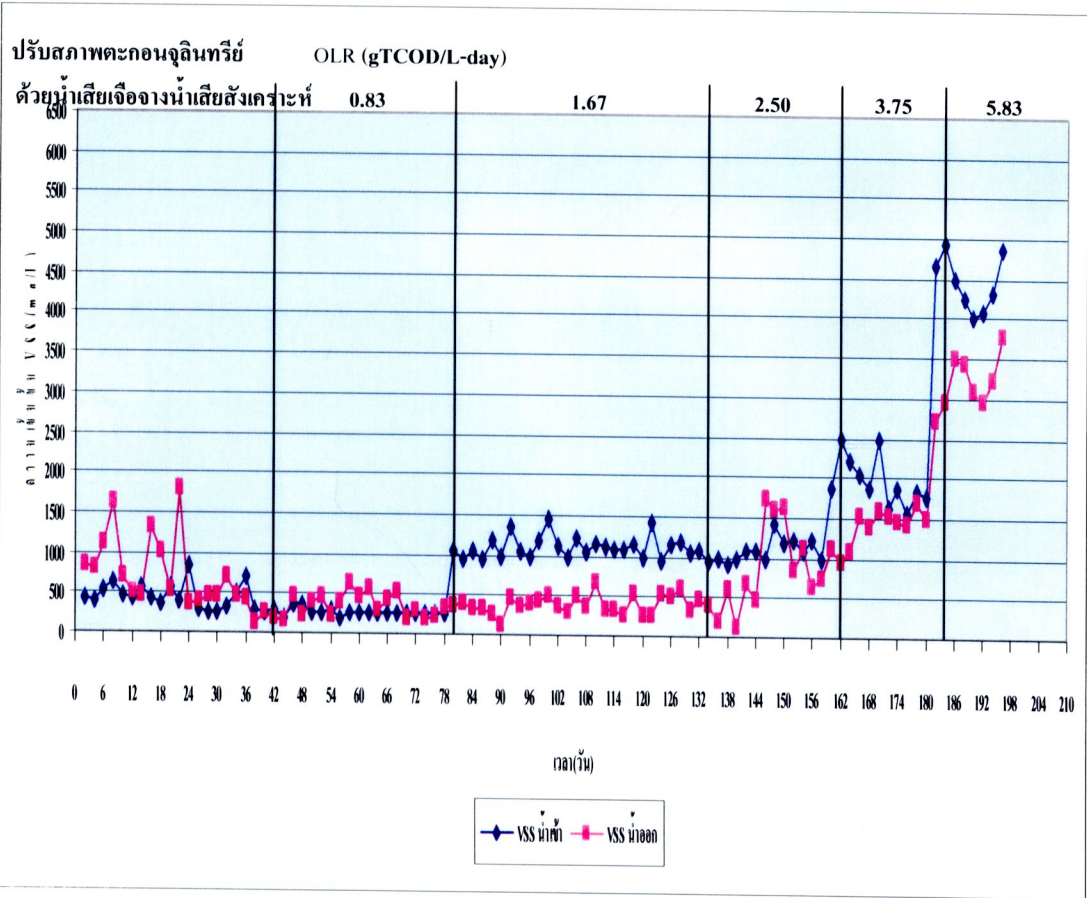
OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	SS (มิลลิกรัม/ลิตร)		VSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.83	480.00	288.33	280.00	215.56
1.67	1,380.00	726.00	1,124.00	582.00
2.50	1,593.33	1,046.67	1,186.67	793.33
3.75	2,513.33	2,242.22	1,917.78	1,471.11
5.83	5,630.83	4,224.17	4,455.00	3,212.50

จากภาพที่ 19, 20 และ 21 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี SS และ VSS ปนเปื้อนสูง และค่าเฉลี่ยของปริมาณของของแข็งทั้งสองชนิดในน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบจะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณของของแข็งในน้ำเสียที่ออกจากระบบในทุกภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้ ที่ OLR 0.83 ระบบสามารถกำจัดของแข็งได้น้อยมากหรือแทบไม่ได้เลย และยังมีปริมาณของแข็งในน้ำเสียออกจากระบบจำนวนเพิ่มมากขึ้นกว่าในปริมาณน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบ ระบบสามารถกำจัดของแข็งทั้งสองชนิดได้ดีขึ้นที่ OLR 1.67 และลดลงอีกช่วงกลางของ OLR ที่ 2.5 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน และจากการวิเคราะห์ค่า MLVSS ที่ลดลงหลังจากการทดลองอาจเกิดจากจุลินทรีย์เกิดการปรับสภาพโครงสร้างให้เหมาะสมกับองค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล โดยการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่จำเป็นและลดจุลินทรีย์ที่ไม่จำเป็นออก ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของการไหลล้นออกนอกระบบของเซลล์ในระบบเป็นสาเหตุให้ค่า SS และ VSS ในน้ำทิ้งมีความเข้มข้นสูงขึ้นได้ ระบบสามารถกำจัดของแข็งทั้งสองชนิดได้เพิ่มขึ้นเมื่อดำเนินระบบที่ OLR 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วันเล็กน้อย ในช่วงการเดินระบบแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ พบว่าช่วงแรกในการเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสียแต่ละค่าภาวะบรรทุกจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้ง แสดงให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำทิ้งลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสีย เป็นผลให้ระบบอาจเกิดการสะสมของตะกอนเป็นชั้นสูงถึงขอบบนแผ่นกั้นในแต่ละช่องของระบบ ทำให้พื้นที่ในการตกตะกอนของน้ำเสียเหลือน้อยลง ตะกอนจึงหลุดออกมากับน้ำทิ้งได้



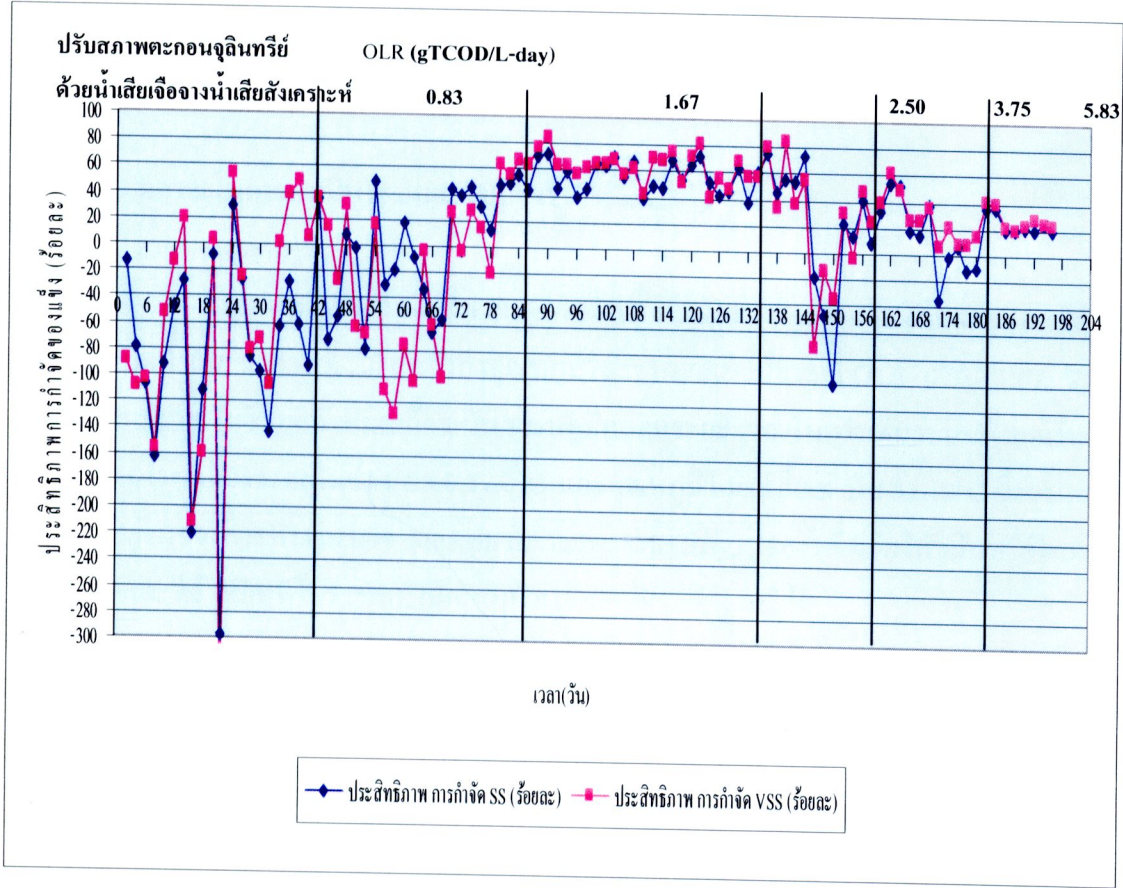
ภาพที่ 19 ความเข้มข้น SS ที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย ที่ HRT 144 h
ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์
สูตร Vanderbilt Media Solution



ภาพที่ 20 ความเข้มข้น VSS ที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์
สูตร Vanderbilt Media Solution



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัด SS และ VSS ของการบำบัดน้ำเสีย ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินการระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์
สูตร Vanderbilt Media Solution

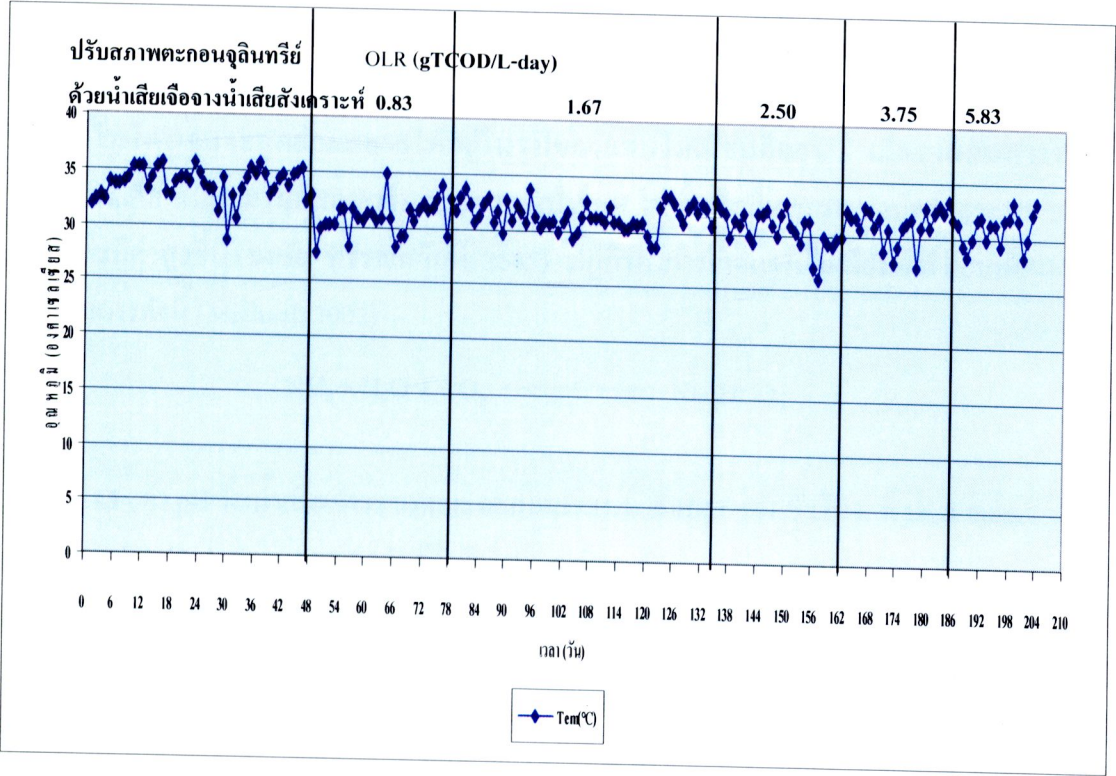
ผลการคำนวณ อัตราการเจริญเติบโตสุทธิของจุลินทรีย์ที่ OLR 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน มีค่าเท่ากับ 1,073.569 และ 1,610.996 มิลลิกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาคผนวก จ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อจุลินทรีย์ที่หายไปจากระบบซึ่งคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ VSS ในน้ำเสียที่ออกจากระบบ ดังแสดงในตารางที่ 14 คูณด้วยปริมาณน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบ 3.75 ลิตร-วัน พบว่ามีค่าเท่ากับ 5,516.66 และ 12,046.88 มิลลิกรัม ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณการเกิดใหม่ของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีค่าน้อยกว่าจุลินทรีย์ที่หายไปจากระบบทั้งสองความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าระบบเอเอ็มบีอาร์มีเสถียรภาพและความสามารถในการกักเก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ใน

ระบบลดลงทำให้เกิดการไหลล้นของเชื้อจุลินทรีย์ออกนอกระบบ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้ปริมาณของของแข็งที่ไหลออกมากับน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบได้

2.6 สถานะในการดำเนินระบบเอเอ็มบีอาร์

2.6.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ดังภาพที่ 22 แสดงถึงอุณหภูมิในระบบเอเอ็มบีอาร์ ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน อุณหภูมิตลอดระยะเวลาในการเดินระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลองจะอยู่ในช่วง 25.0-37.0°C และอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 31.19°C ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงการทำงานของ Mesophilic Rang (McCarty, 1964) ซึ่งเอื้อให้จุลินทรีย์ในกลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทนในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำงานได้ดี



ภาพที่ 22 แสดงระดับอุณหภูมิภายในระบบบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์
สูตร Vanderbilt Media Solution

2.6.2 พีเอช (pH)

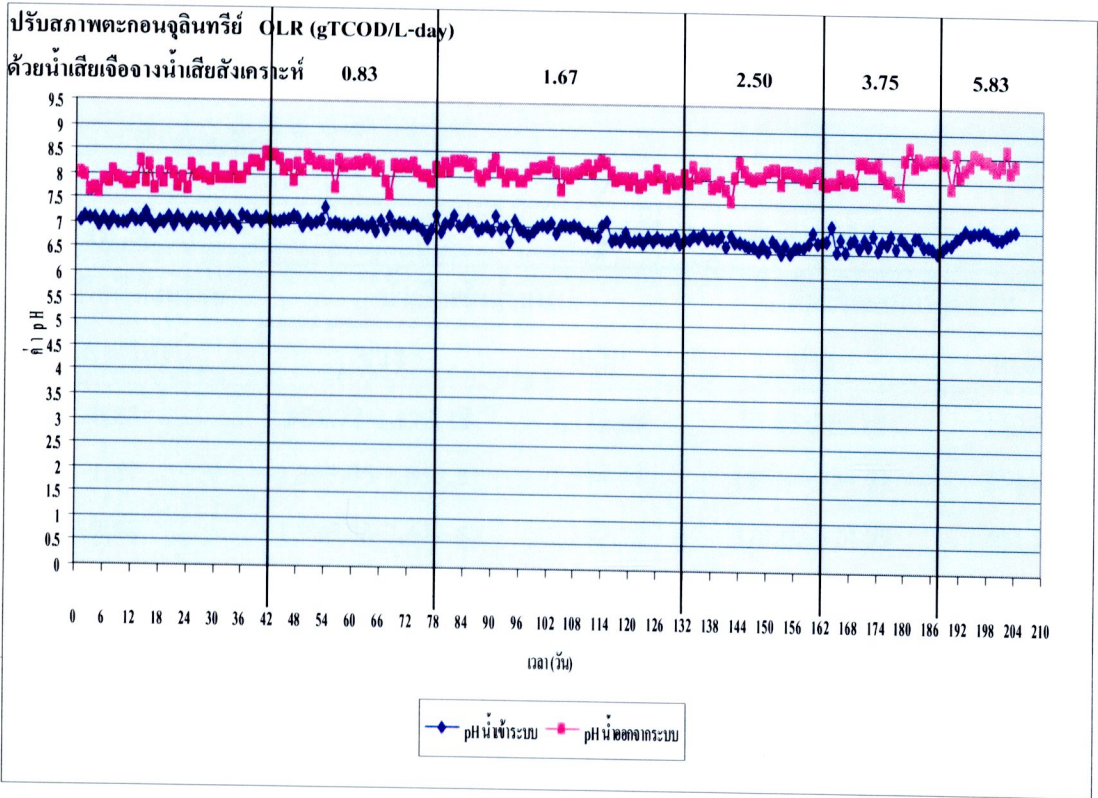
ค่า pH มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทั้งสองกลุ่มสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6.5-7.8 หากไม่มีการควบคุม pH ให้มีค่าที่เหมาะสม จุลินทรีย์อาจไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และอาจจะทำให้ระบบไม่ใช้ออกซิเจนล้มเหลวได้ (มันสิน ตันทุลเวศม์ และ มันรักษ์ ตันทุลเวศม์, 2547) เนื่องจากลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลนั้นมีค่า pH ประมาณ 4-5 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการดำเนินระบบ จึงต้องทำการปรับค่า pH ของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2 ก่อนนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด โดยการเติมผงโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃)

ตารางที่ 15 แสดงช่วงค่าเฉลี่ยของค่า pH ในน้ำเสียที่นำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อระบบเอเอ็มบีอาร์ดำเนินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน พบว่า pH ตลอดระยะเวลาการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่ม จากภาพที่ 23 พบว่า pH ในน้ำเสียออกจากระบบมีค่าสูงกว่า pH ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบ โดย VFAs จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติกเพื่อสร้างมีเทน (สันศักดิ์ ศรีอนันต์ไพบุลย์, 2549) ส่วนสารประกอบพวกอินทรีย์ในโตรเจนจะถูกย่อยสลายให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน เมื่อรวมกับสารพวกคาร์บอเนตเกิดเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต ส่งผลให้ pH ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าสูงขึ้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) ปฏิกริยาการเกิดแอมโมเนียมคาร์บอเนตแสดงได้ดังสมการดังนี้ (Michael, 2002)



ตารางที่ 15 ค่า pH ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบ ที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	pH			
	น้ำเสียเข้าสู่ระบบ		น้ำเสียออกจากระบบ	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
0.83	6.75-7.32	7.00	7.58-8.43	8.10
1.67	6.70-7.22	6.97	7.72-8.32	8.06
2.50	6.50-6.95	6.80	7.55-8.35	7.96
3.75	6.58-7.09	6.76	7.74-8.69	8.09
5.83	6.55-7.04	6.78	7.84-8.62	8.28



ภาพที่ 23 แสดงค่า pH ภายในระบบบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ สูตร Vanderbilt Media Solution

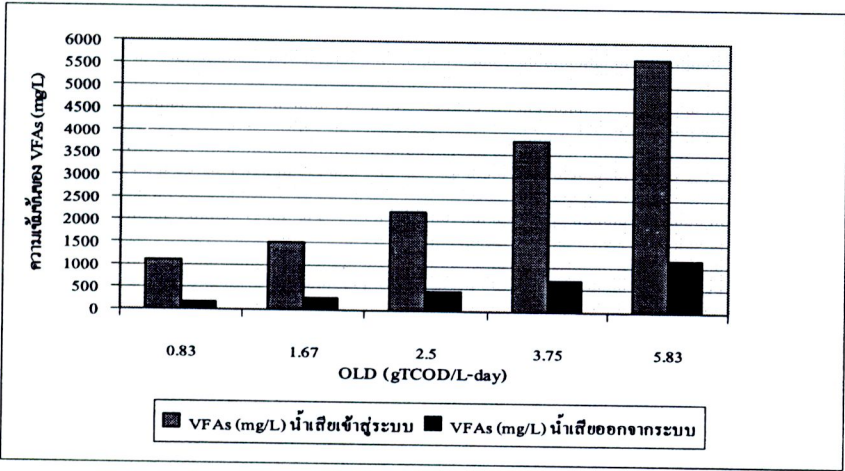
2.6.3 กรดไขมันระเหยง่าย (VFAs)

VFAs เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่ง VFAs ที่ผลิตจากจุลินทรีย์สร้างกรดเป็นสารตั้งต้นในการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์สร้างมีเทน แต่หากมีการผลิต VFAs มากเกินไป จนเกิดการสะสมอยู่ในระบบ ส่งผลให้ pH มีค่าลดลง และเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

ตารางที่ 16 และภาพที่ 24 แสดงช่วงและค่าเฉลี่ยของ VFAs ในน้ำเข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย เมื่อระบบเอเอ็มบีอาร์ ดำเนินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน จะเห็นปริมาณความเข้มข้นของ VFAs มีค่าสูงขึ้นตามค่าภาระบรรทุกที่เพิ่มขึ้น และระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด VFAs ได้มากกว่าร้อยละ 80 ทุกค่าภาระบรรทุก

ตารางที่ 16 ช่วงและค่าเฉลี่ยของ VFAs ของน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย3รอบ HRTที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

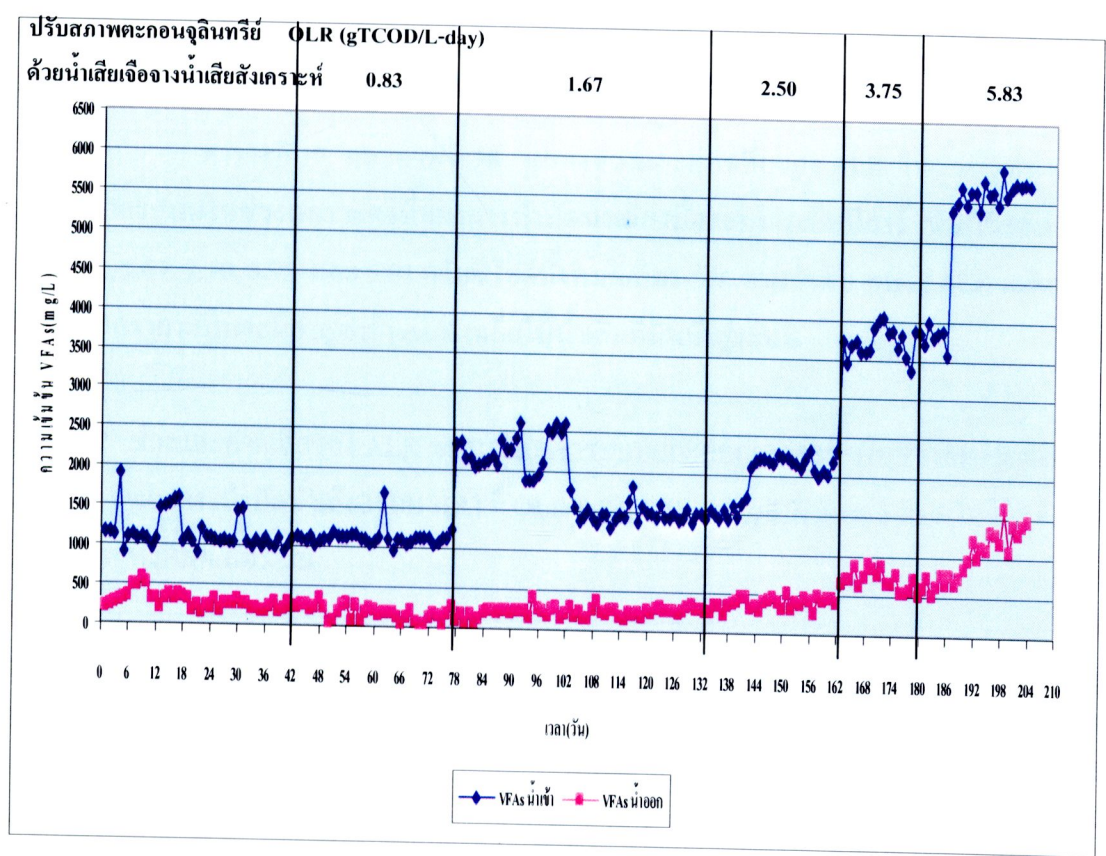
OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ ลิตร-วัน)	VFAs (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	น้ำเสียเข้าสู่ระบบ		น้ำเสียออกจากระบบ	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
0.83	981.77-1,172.18	1,111.90	53.43-270.18	153.02
1.67	1,383.06-1,853.31	1,514.64	156.84-351.72	264.64
2.50	1,986.83-2,418.83	2,192.30	278.62-524.79	434.37
3.75	3,383.78-4,045.38	3,791.01	534.46-906.68	696.24
5.83	5,379.62-5,903.96	5,629.96	674.72-1,640.18	1,156.93



ภาพที่ 24 ความเข้มข้น VFAs ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

จากภาพที่ 25 ที่ OLR 0.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ความเข้มข้นของ VFAs ในน้ำเสียออกจากระบบในช่วงแรกของการเดินระบบมีค่าสูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร ผู้วิจัยจึงแก้ไขโดยการเติม NaHCO_3 เพิ่มค่า pH ให้ได้ประมาณ 7.2 เพื่อเพิ่มความสามารถในการสะเทินกรด

ให้กับระบบ จนระบบสามารถกลับสู่สภาวะที่เหมาะสมมีค่า VFAs ในน้ำเสียออกจากระบบต่ำกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อป้องกันการล้มเหลวของระบบในสภาวะการสร้างความคุ้นเคยกับน้ำเสียของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด และเมื่อดำเนินระบบที่ OLR 3.75 - 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ค่า VFAs ในน้ำเสียออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ระบบยังสามารถดำเนินต่อไปได้ และตะกอนจุลินทรีย์ยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่เกิดความเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งพิจารณาได้จากประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดียังคงมี ประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 80



ภาพที่ 25 ความเข้มข้น VFAs(mg/L) เข้าระบบและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ สูตร Vanderbilt Media Solution

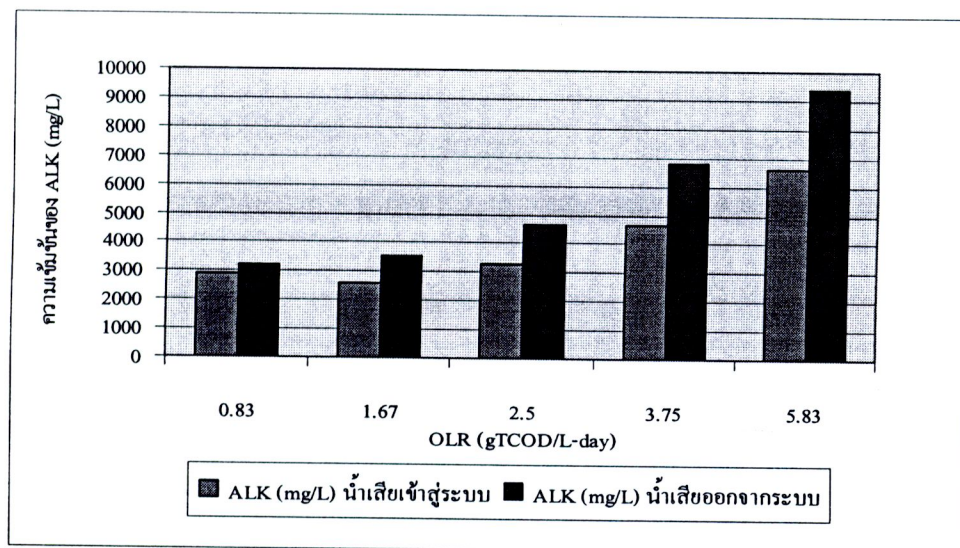
2.6.4 สภาพความเป็นด่าง (ALK)

ALK เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการสะเทินกรดของระบบบำบัด ในทางปฏิบัติถือว่า ALK เกิดขึ้น เนื่องจากอออนทั้ง 3 ชนิด คือ ไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และ ไฮดรอกไซด์ เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับอออนตัวอื่นๆ อออนทั้ง 3 ชนิดนี้ จะมีบทบาทที่เด่นชัดมากกว่า (มันสิน ตันจุลเวศน์ และ มั่นรักษ์ ตันจุลเวศน์, 2547) เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์หรือกรดคาร์บอนิกขึ้นในระบบ จากนั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ของระบบบำบัดมีค่าลดลงได้ ถ้าในระบบมี ALK ไม่เพียงพอ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) จะก่อให้เกิดอันตรายต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน ดังนั้นการเตรียมน้ำเข้าสู่ระบบ จะต้องทำการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.8 – 7.2 เพื่อให้ ALK อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัด

ตารางที่ 17 และภาพที่ 26 แสดงช่วงและค่าเฉลี่ยของ ALK ในน้ำเสียที่นำเข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย เมื่อระบบเอเอ็มบีอาร์ ดำเนินระบบที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ตามลำดับ พบว่า ALK เฉลี่ยในน้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีค่าสูงกว่า ALK เฉลี่ยในน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบ

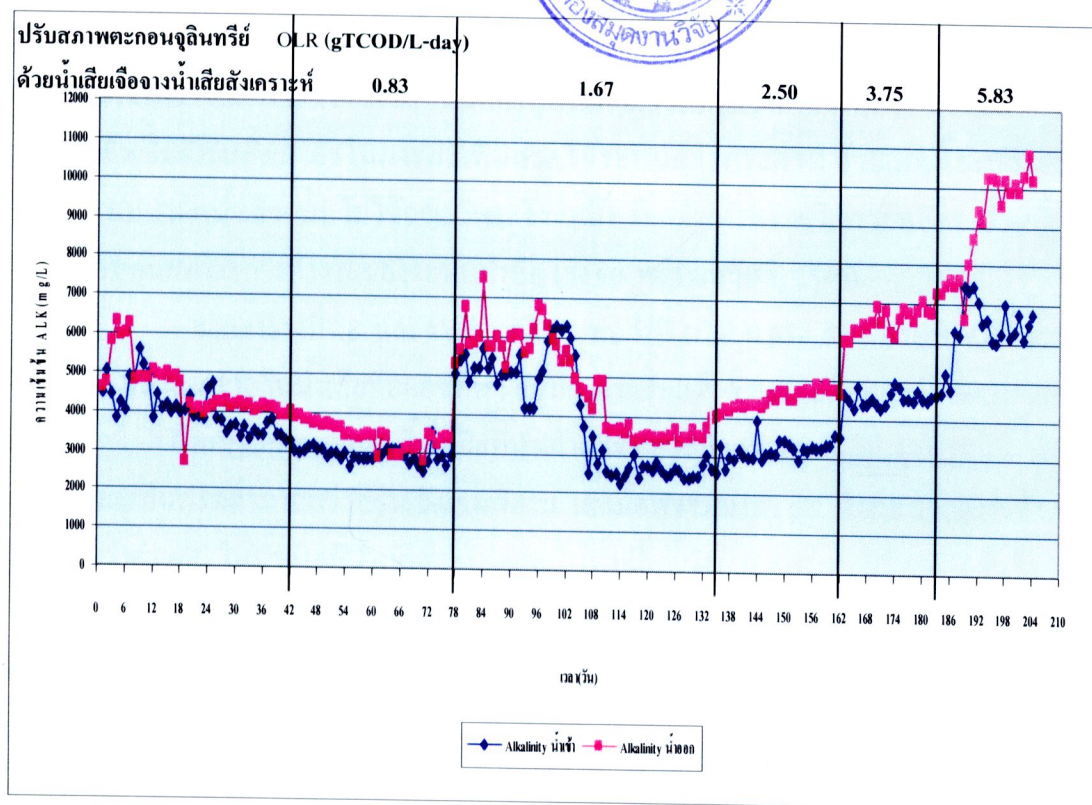
ตารางที่ 17 ช่วงและค่าเฉลี่ยของ ALK ของน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย3รอบ HRTที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ ลิตร-วัน)	ALK (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	น้ำเสียเข้าสู่ระบบ		น้ำเสียออกจากระบบ	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
0.83	2,760-3,485	2,904.17	2,540-3,520	3,187.22
1.67	2,350-2,830	2,577.50	3,360-3,780	3,519.44
2.50	2,920-3,600	3,254.17	4,295-4,885	4,645.83
3.75	4,300-5,175	4,627.50	6,135-7,590	6,823.61
5.83	6,020-7,475	6,610.56	6,600-10,850	9,357.22



ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของ ALK ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

ภาพที่ 27 จะเห็นได้ว่า ALK ทั้งในน้ำเสียที่นำเข้าและออกจากระบบในช่วงแรกจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตาม OLR ที่เปลี่ยนไป แต่เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ ALK ที่ OLR 0.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ในน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดจะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด ดังภาพที่ 26 จึงเติม NaHCO_3 เพื่อให้ได้ค่า pH มีค่าประมาณ 7.2 เพื่อเพิ่มความสามารถในการสะเทินกรดทำให้ ALK ในน้ำเสียที่นำเข้าระบบสูงขึ้นและส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าลดลง และสามารถกลับสู่สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบอีกครั้งที่ OLR 1.67 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน จึงทำการลดปริมาณการเติม NaHCO_3 ให้อยู่ในระดับปกติคือให้ค่า pH อยู่ในช่วง 6.8 – 7.2



ภาพที่ 27 ความเข้มข้นของALK ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

หมายเหตุ: ช่วงปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ดำเนินระบบด้วยน้ำเสียเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ สูตร Vanderbilt Media Solution

2.6.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH, VFAs และ ALK ในการดำเนินระบบ

ค่า pH นับว่าเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนปัญหาของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-7.2 เป็นสิ่งสำคัญ เพราะเป็นช่วง pH ที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน แต่อย่างไรก็ตาม pH ไม่ใช่สัญญาณล่วงหน้าที่บอกละการดำเนินงานล้มเหลวของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพราะความเสียหายของระบบมักจะเกิดขึ้นก่อนที่ค่า pH จะลดลง ฉะนั้นจึงต้องวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการดำเนินระบบควบคู่กับค่า pH คือ VFAs และ ALK (มันสิน ตันกุลเวศน์ และ มั่นรักษ์ ตันกุลเวศน์, 2547)

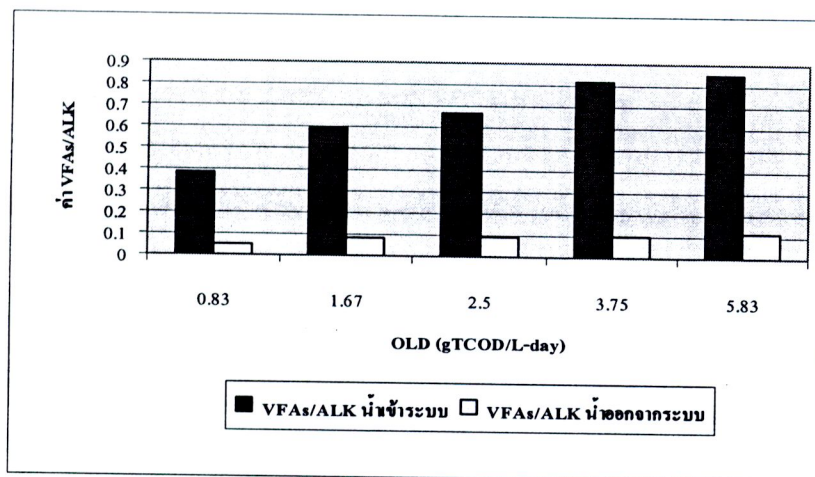
อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ VFAs กับ ALK (VFAs/ALK) มีความสำคัญในการบ่งชี้กำลังในการสะเทินกรดของระบบ ถ้าอัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบบำบัดมี

กำลังในการสะเทินกรดสูง และค่าที่เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณที่บอกถึงสถานะที่เสียสมดุลของระบบบำบัด และถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังในการสะเทินกรดของระบบต่ำ จำเป็นต้องเพิ่มกำลังในการสะเทินกรดให้ระบบอย่างเร่งด่วน ด้วยเหตุนี้ระหว่างการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงจำเป็นต้องทำการตรวจวิเคราะห์อัตราส่วนนี้เพื่อเป็นการควบคุมสถานะการทำงานของระบบบำบัด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2540)

จากตารางที่ 18 และจากภาพที่ 28 พบว่าที่ OLR 0.83 – 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ค่า VFAs/ALK ในน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่า 0.4 ซึ่งแสดงว่าระบบมีความสามารถสะเทินกรดได้ดี ถึงแม้ในการทดลองนี้น้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบจะมีค่า VFAs/ALK สูงกว่า 0.4 ทำให้ค่าในการสะเทินกรดต่ำมากกว่าอย่างชัดเจนก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาค่า pH ในระหว่างการดำเนินระบบ พบว่าค่า pH ในน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบและในน้ำเสียที่นำออกจากระบบมีค่าต่างกันไม่มากนัก และยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ ถึงแม้ว่าค่า ALK จะมีค่าสูงกว่า 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า VFAs สูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำเสียที่ออกจากระบบก็ตาม ระบบยังสามารถดำเนินต่อไปได้โดยไม่ล้มเหลว

ตารางที่ 18 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง (VFAs/ALK)

OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	VFAs/ALK	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
0.83	0.38	0.05
1.67	0.59	0.08
2.50	0.67	0.09
3.75	0.82	0.10
5.83	0.85	0.12



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของ VFAs/ALK ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

น้ำที่ออกจากระบบจะมีค่า pH สูงขึ้นเนื่องจากอิออน 3 ชนิด คือ ไบคาร์บอเนต, คาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ แต่ที่ OLR 0.83 – 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ค่า VFAs/ALK ในน้ำออกจากระบบมีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการสะเทินกรดสูง ระบบจึงยังสามารถดำเนินต่อไป และตะกอนจุลินทรีย์ยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยพิจารณาได้จากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากค่าบีโอดียังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 80

3. ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัด

การศึกษาลักษณะทางกายภาพ เป็นการประเมินศักยภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดว่ามีสภาพที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการทดลอง ทั้งความเข้มข้นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปของ MLVSS/MLSS ความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการผลิตมีเทน ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สังเกตด้วยตาและภาพถ่ายเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

จากผลการทดลอง ในช่วงก่อนการทดลองพบว่า MLVSS/MLSS มีค่า 0.79 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณตะกอนทั้งหมด 100 ส่วน มีจุลินทรีย์ 79 ส่วน และของแข็งอนินทรีย์ 21 ส่วน ซึ่งเป็นช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าควบคุมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมแนะนำ คือ การเดินระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปจะควบคุม ค่า MLVSS/MLSS ให้มีค่าเท่ากับ 0.8 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

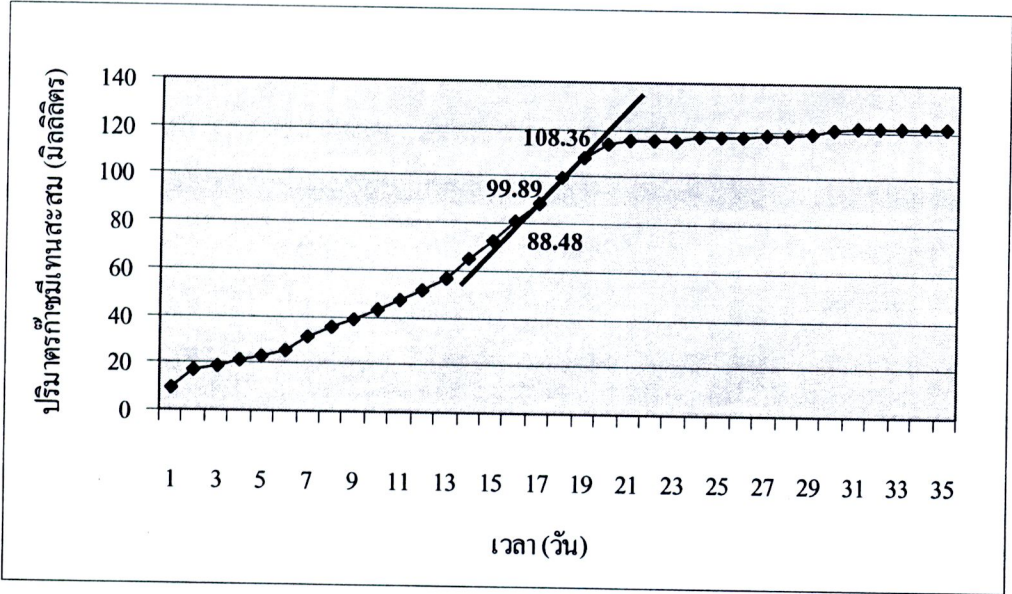
ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีค่า MLVSS/MLSS ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย และ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ได้นำเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์จากระบบมาหาค่า MLVSS/MLSS พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.71 แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีค่าลดลงและปริมาณของแข็งอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าระบบอาจมีความสามารถในการกักเก็บตะกอนไม่ให้ไหลล้นออกจากระบบได้ไม่ด้นัก และอาจคาดได้ว่าจุลินทรีย์เกิดการปรับสภาพโครงสร้างให้เหมาะสมกับสภาวะน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล โดยการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ไม่จำเป็นออกจึงทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบลดลง

3.1 ความสามารถจำเพาะของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในการผลิตมีเทน (SMA)

ค่า SMA เป็นการบ่งบอกถึงความสามารถของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในการปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาวะแวดล้อมและสารอาหาร ถ้า SMA มีค่าต่ำแสดงว่าเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียและสิ่งแวดล้อมได้ จะส่งผลให้เกิดปัญหาเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ (Liu and Tay, 2004)

3.1.1 ผลการศึกษา SMA เพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตมีเทน

การทดลองนี้ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเป็นตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี ของบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน) จังหวัดปทุมธานี โดยเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์มีความเข้มข้น MLVSS เท่ากับ 57,200 มิลลิกรัม/ลิตร กำหนดค่าความเข้มข้น MLVSS ในการทดลอง ให้มีค่าเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้สารละลายแคลเซียมอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอนของตะกอนจุลินทรีย์ ร่วมกับสารอาหารเสริมสูตร Vanderbilt Media Solution จากผลการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันจนก๊าซหมด และนำมาวิเคราะห์แสดงผลการทดลอง ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมต่อเวลาของการศึกษา SMA เพื่อการประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน

จากภาพที่ 29 พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากที่สุดในวันที่ 17, 18 และ 19 เป็นช่วงที่ค่าความชันของกราฟมีค่าสูงสุด ค่าความชันสูงสุดหาได้จาก ผลต่างของก๊าซมีเทนสะสม (Y) หารด้วยผลต่างของเวลา (X) แทนค่าในสูตรได้ดังนี้ Y เท่ากับ 108.36-88.48 = 19.88 หารด้วย X เท่ากับ 19-17 = 2 เพราะฉะนั้น ค่าความชันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 9.94 มิลลิลิตร/วัน

จากคำกล่าวของ R.E. Speece ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 0.395 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน ปรับหน่วยให้เป็นมิลลิลิตรได้เท่ากับ 395 มิลลิลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน แล้วนำไปหาค่า SMA โดยแทนค่าในสูตรได้ดังนี้

SMA

=

$$\{(gCH_4 - COD)/t\}/B$$

ความชันสูงสุด (Slope ; $\Delta Y / \Delta X$) =

9.94 มิลลิลิตร/วัน

B

=

5.00 กรัมวีเอสเอสของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

สัดส่วนมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัด =

395 มิลลิลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด-วัน

=

$$\frac{9.94}{395}$$

=

0.0050 กรัมมีเทน-ชีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน

5.00

ผลการวิเคราะห์ค่า SMA เพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.0050 กรัมมีเทน-ซีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน

3.1.2 ผลการศึกษา SMA เพื่อประเมินความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 15,000, 37,500 และ 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อประเมินความเข้มข้นของน้ำเสียที่แสดงความเป็นพิษต่อการผลิตก๊าซมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 19

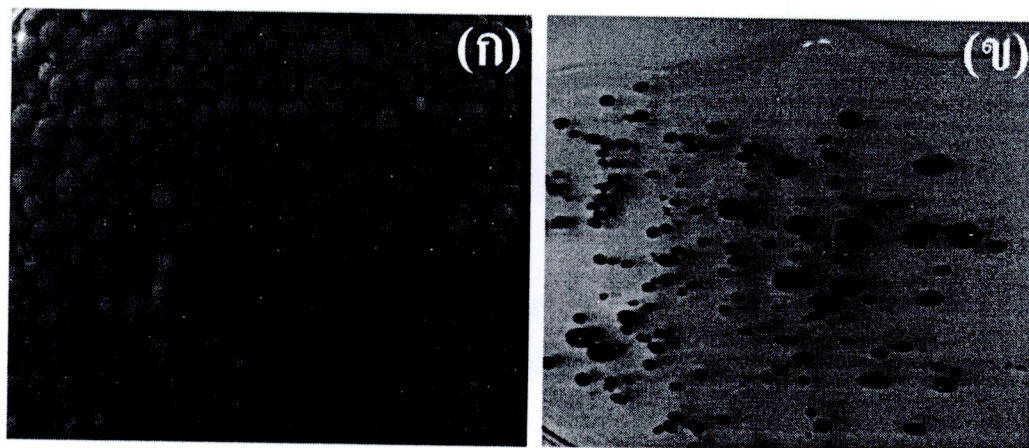
ตารางที่ 19 ค่า SMA เพื่อประเมินความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

ความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าความเข้มข้นสูงสุด มิลลิกรัม/วัน	ความเข้มข้นในทอม กรัมวีเอสเอส(กรัม)	SMA กรัมมีเทน- ซีโอดี/กรัม วีเอสเอส-วัน
15,000	5.495	3.00	0.0051
37,500	19.04	3.00	0.0176
60,000	3.92	3.00	0.0036

จากตารางที่ 19 และผลการคำนวณในภาคผนวก ก พบว่าเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมด 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่า SMA เท่ากับ 0.0051 กรัมมีเทน- ซีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน ค่า SMA ของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมด 37,500 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าเพิ่มขึ้น SMA เท่ากับ 0.0176 กรัมมีเทน-ซีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียที่ความเข้มข้นนี้ได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดเป็น 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า SMA กลับมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 0.0036 กรัมมีเทน- ซีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ค่าความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อให้เกิด ความเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ โดยพิจารณาได้จากปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนที่ลดลง

3.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

เป็นการศึกษาด้วยตาเปล่าและนำเสนอแสดงด้วยภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลแบบ Compact แสดงดังภาพที่ 30(ก) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากระบบ ยูเอเอสบี บริษัท เสริมสุข จำกัด มหาชน มีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลมค่อนข้างกลวง ขนาดแตกต่างกัน สีนํ้าตาลเทาและมีเส้นผ่า ศูนย์กลางโดยการประมาณค่าจากการวัดด้วยสายตาประมาณ 1.5 - 2.0 mm. ภาพที่ 30 (ข) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบ มีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีสีนํ้าตาล เข้มจนถึงดำ ผิวเรียบและมันเงา ขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยรวมมีขนาดเล็กลงมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 1.0 - 2.5 mm. ลักษณะเม็ดแน่นขึ้นและมีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งอาจเนื่องจากการกวนในระบบ แรงเหวี่ยงอาจจะทำให้เม็ดตะกอนเกิดการควบแน่นและผิวรอบนอกที่เกาะกันอย่างหลวม ๆ หลุดออกทำให้ขนาดเม็ดเล็กลง ส่วนการที่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีสีเข้มขึ้นอาจเนื่องจากน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลจากกากนํ้าตาลมีส่วนประกอบของซัลเฟต แล้วเปลี่ยนไปเป็นซัลไฟด์เกิดการตกตะกอนรวมกันกับโลหะที่เป็นธาตุอาหารของตะกอนจุลินทรีย์แล้วเกาะเคลือบบนผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงทำให้สีเปลี่ยนเป็นเข้มขึ้น



ภาพที่ 30 ภาพเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สังเกตด้วยตา (ภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลแบบ Compact)

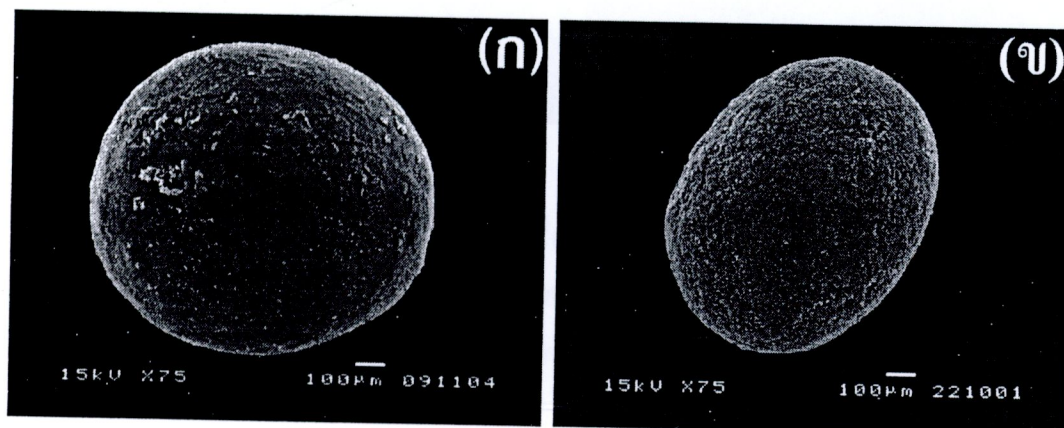
(ก) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

(ข) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง

3.3 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากเครื่อง Scanning Electron Microscopy(SEM)

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยการนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง และหลังจากการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง ไปทำการถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากเครื่อง SEM มีลักษณะดังนี้

ภาพที่ 31(ก) แสดงภาพถ่ายของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง โดยใช้กำลังขยาย 75 เท่า พบว่าผิวด้านนอกมีลักษณะค่อนข้างเรียบเป็นปุยเล็กน้อย และภาพที่ 31(ข) แสดงภาพถ่ายของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง โดยใช้กำลังขยาย 75 เท่าพบว่าผิวด้านนอกมีลักษณะค่อนข้างเรียบและเล็กมากกว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง



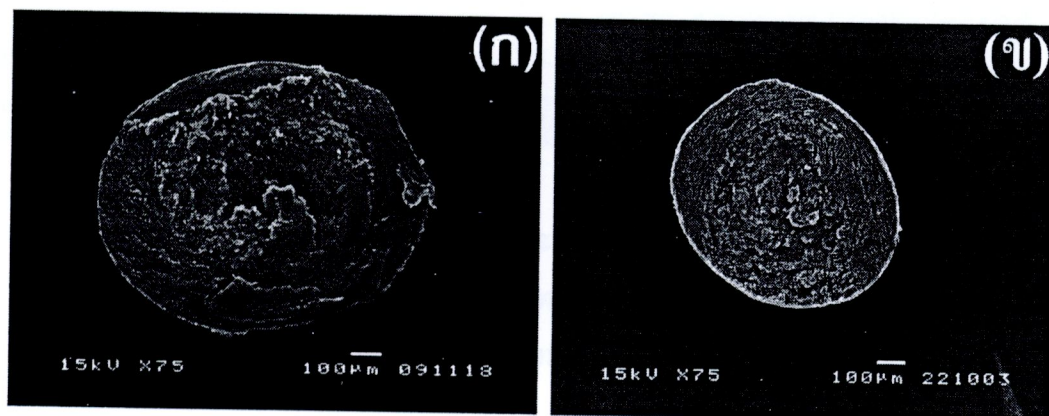
ภาพที่ 31 ภาพถ่ายเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ด้วยเครื่อง SEM

(ก) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

(ข) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง

ภาพที่ 32(ก) เป็นภาพผ่าครึ่งของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง ภาพที่ 32(ข) ภาพผ่าครึ่งของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมงที่ใช้กำลังขยาย 75 เท่าพบว่าภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีช่องกลวงอยู่เนื่องจากเป็นช่องที่ก๊าซผ่านออกจากโครงสร้างชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วย จุลินทรีย์สร้างมีเทนเป็นส่วนใหญ่ (McLeod et al., 1990) และจากภาพผ่าครึ่งของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากการประเมินด้วยสายตาพบว่าไม่มีความแตกต่างกันจากการศึกษาของ McLeod และคณะ กล่าวถึงลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่พบในระบบยูเอเอสบี ที่ใช้ชูโครสเป็นสารอาหารหลัก เมื่อทำการถ่ายภาพ SEM พบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบ่ง

ออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ผิวค้ำนอก ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีลักษณะรูปร่างกลมต่อกันเป็นสายยาว จุลินทรีย์รูปร่างเป็นท่อนขนาดเล็ก และจุลินทรีย์ประเภทเส้นสาย ส่วนในชั้นถัดไปนั้นก็จะพบ จุลินทรีย์รูปร่างเป็นแท่งเป็นส่วนใหญ่ และในแกนกลางจะพบจุลินทรีย์กลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทน (อรทัย ทิมพงษ์, 2548)

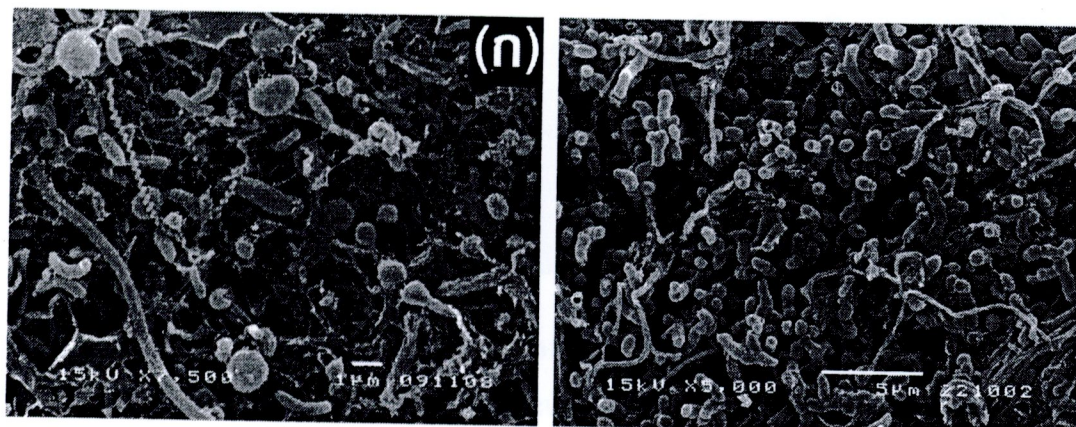


ภาพที่ 32 ภาพถ่ายผ่าครึ่งของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM

(ก) เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

(ข) เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง

ภาพที่ 33(ก) เป็นภาพผิวด้านนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง เมื่อใช้ กำลังขยาย 7,500 เท่า พบว่ามีจุลินทรีย์ที่หลากหลายชนิด อาทิ แบบท่อน เกลียว กลม สายยาว เส้นใย และรูปร่างที่ไม่แน่นอน โดยพบว่ามีจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยเป็นส่วนใหญ่ และแบบท่อน กลม เกลียว รองลงมา ตามลำดับ และมีความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาพผิวด้านนอกของ เมื่อดตะกอน จุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5,000 เท่าในภาพที่ 33 (ข) จะพบว่านอกจากเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์มีความหนาแน่นขึ้นแล้ว ปริมาณของจุลินทรีย์ลักษณะที่เป็นเส้นใย จะมีจำนวนน้อยลงแต่จุลินทรีย์ที่เป็นลักษณะแบบกลมและแบบท่อนจับกันเป็นกลุ่มมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งคาดว่าน่าจะจัดอยู่ในจุลินทรีย์กลุ่ม Clostridium จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีหน้าที่ในการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายสามารถมีเมตาบอลิซึมได้หลายแบบจึงใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ดี (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) จะเห็นว่าจุลินทรีย์แบบอื่นพบได้ยากหรือไม่พบเลย



ภาพที่ 33 ภาพถ่ายผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM

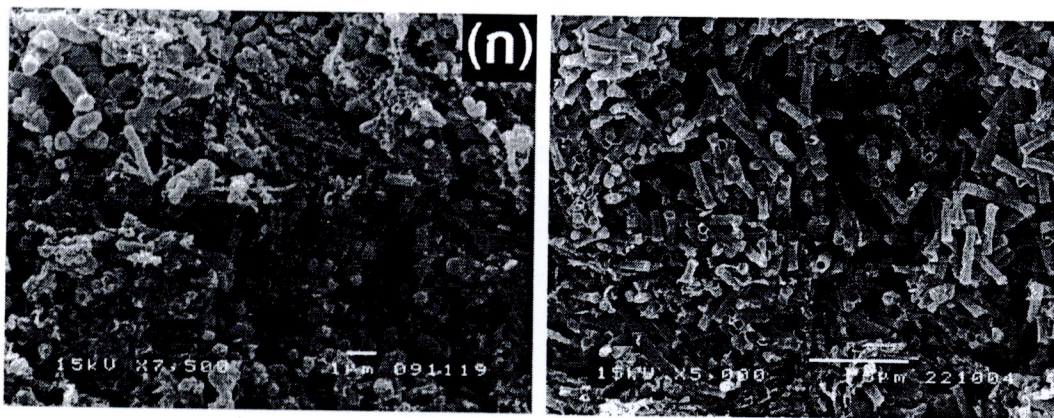
(ก) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

(ข) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง

จากภาพถ่ายที่แตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากสารอาหารที่ใช้เลี้ยงจุลินทรีย์ที่ต่างกัน โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลองเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด ในระบบยูเอเอสบี ที่มีส่วนประกอบของน้ำเสียเป็นจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ แต่น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นกากน้ำตาลทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดการปรับสภาพโครงสร้างให้เหมาะสมกับน้ำเสีย โดยการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่จำเป็นและลดจุลินทรีย์ที่ไม่จำเป็นออก

ภาพที่ 34 (ก) และ (ข) เป็นภาพถ่ายบริเวณขอบด้านนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลองที่กำลังขยาย 7,500 เท่า และ 5,000 เท่า พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลองมีจุลินทรีย์ชนิดท่อนสั้นและท่อนยาว และมีเศษเซลล์กระจายอยู่ทั่วไป แต่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง จะมีจุลินทรีย์ชนิดท่อนยาวเท่านั้น ซึ่งคาดว่าเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม Clostridium ลักษณะคล้ายกับที่พบในผิวด้านนอก แต่มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น



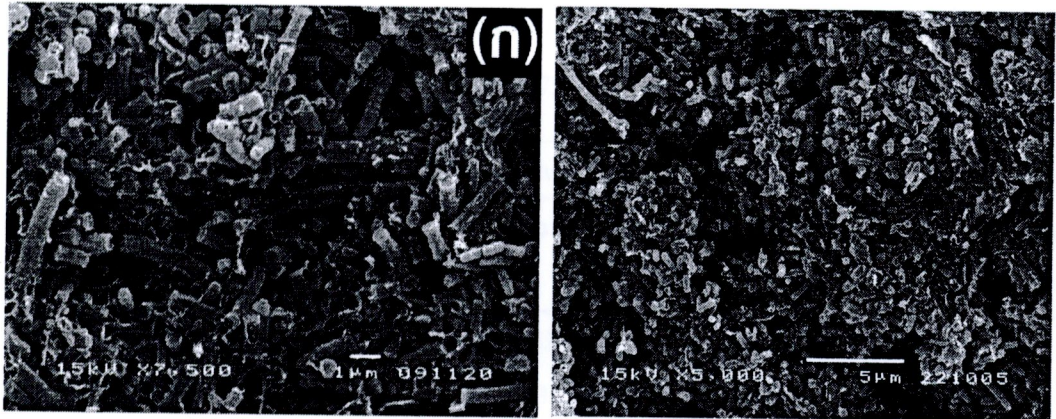


ภาพที่ 34 ภาพขอบด้านนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM

(ก) เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

(ข) เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง

ในส่วนบริเวณแกนกลางของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่จะเป็นจุลินทรีย์สร้างมีเทนเป็นส่วนใหญ่ จุลินทรีย์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นท่อนกลวงคล้ายหลอดจำนวนมาก ดังภาพที่ 35(ก) ซึ่งเป็นภาพถ่ายบริเวณแกนกลางของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลองที่กำลังขยาย 7,500 เท่า พบว่าจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นท่อนเรียงยาวและสั้นปะปนกัน มีลักษณะพรุนเล็กน้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพที่ 35(ข) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในแกนกลางของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่ามีความพรุนของจุลินทรีย์มากกว่า ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลสืบเนื่องจากจุลินทรีย์ในแกนกลางเป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นหลัก ซึ่งจะมีการปลดปล่อยก๊าซออกนอกเมื่อดตะกอน ดังนั้น รูปร่างของจุลินทรีย์ จึงต้องมีลักษณะพรุนมากเพื่อเอื้อต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่มที่มีความแตกต่างด้านสัณฐานวิทยา คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่มีรูปร่างทรงกลมเรียกว่า *Methanosacina* ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการรองรับภาระบรรทุกได้สูงจึงเห็นว่าจะพบได้จำนวนมากบริเวณผิวของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ และกลุ่มที่มีรูปร่างลักษณะเป็นท่อนยาวเรียกว่า *Methanotrix* จะพบในบริเวณขอบด้านนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่าภาระบรรทุกต่ำ (กาญจนา กรองธรรมชาติ และ สมชาย คารารัตน์, 2007) จากภาพ 34(ก) และ 34(ข) พบว่าจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นท่อนยาวเป็นส่วนใหญ่จึงคาดว่าเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม *Methanotrix* สอดคล้องกับงานวิจัยของ Guler and Zehder ที่กล่าวว่าการเดินระบบบำบัดน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ที่มีความเข้มข้นสารอาหารต่ำจะพบจุลินทรีย์กลุ่ม *Methanotrix* (อ้างถึงในกาญจนา กรองธรรมชาติ และ สมชาย คารารัตน์, 2007)



ภาพที่ 35 ภาพแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM

(ก) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง

(ข) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง

4. ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสีย

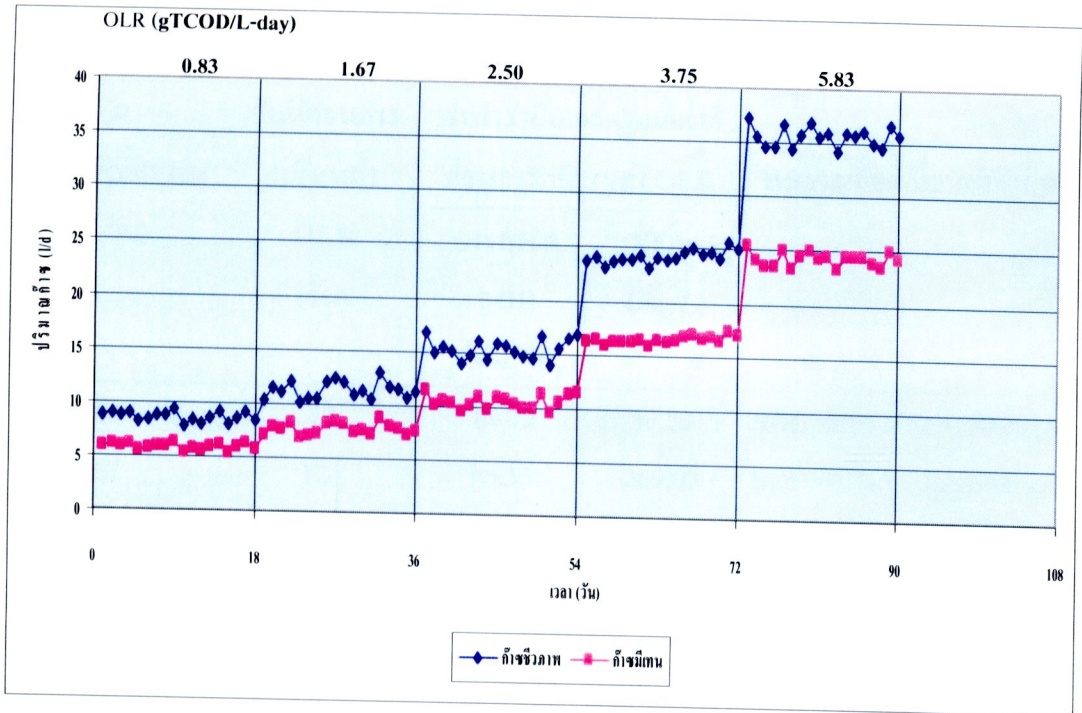
การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนก๊าซมีเทนที่มีในก๊าซชีวภาพที่ระบบเอเอ็มบีอาร์ผลิตได้ ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ Fuel Research ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเครื่องวิเคราะห์ Gas Chromatograph Model Trace ยี่ห้อ Thermo Finnigan พบว่าสามารถวัดสัดส่วนของก๊าซมีเทนในปริมาณก๊าซทั้งหมดได้ร้อยละ 68.13 ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบเอเอ็มบีอาร์ทั้งหมด

ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นผลผลิตมาจากขั้นตอนการสร้างมีเทนของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์สร้างมีเทนต้องได้รับสารตั้งต้นจากขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก ฉะนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเป็นส่วนหนึ่งที่แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัด รวมถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ระบบผลิตได้จากการเดินระบบในแต่ละค่าภาระบรรทุก โดยหลักการทำงานก๊าซแทนที่น้ำเพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน แล้วนำค่าที่วัดได้มาคำนวณสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่อสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัด จากนั้นนำก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากระบบเอเอ็มบีอาร์ไปเปรียบเทียบกับคำนวณจากสัดส่วนก๊าซมีเทนที่วิเคราะห์ได้ โดยเครื่องวิเคราะห์ Gas Chromatograph Model Trace ยี่ห้อ Thermo Finnigan ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

HRT (ชั่วโมง)	OLR (กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน)	ปริมาณก๊าซเฉลี่ย (ลิตร/วัน)		สัดส่วนมีเทนต่อ ชีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัด (ลิตร/กรัมชีโอดี-วัน)
		ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน	
144	0.83	8.63	5.92	0.371
144	1.67	11.32	7.73	0.379
144	2.50	15.43	9.80	0.364
144	3.75	24.24	16.94	0.352
144	5.83	35.65	24.45	0.340

จากตารางที่ 20 เมื่อระบบเอเอ็มบีอาร์ ดำเนินระบบที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ตามลำดับ วัดปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเกิดขึ้นในช่วง 8.63-35.65 ลิตร-วัน และมีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.92 - 24.45 ลิตร-วัน ดังภาพที่ 36 จะเห็นได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุก และปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบแต่ละความเข้มข้นจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.5 ลิตรต่อกรัมของชีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวัน (มันสิน และมันรักษ์ ดัชนีทูเลศม์, 2547) แต่ความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนกลับมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุกมากขึ้น อาจเป็นส่วนหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตที่ค่า OLR 2.50 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน เริ่มมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนทำให้ความสามารถในการสร้างมีเทนลดลง โดยตลอดการทดลองมีก๊าซมีเทนในระบบบำบัดเกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.361 ลิตรต่อกรัมของชีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ R.E. Speece กล่าวเอาไว้ว่าในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ 1 กรัมชีโอดีจะถูกนำไปสร้างมีเทนได้เท่ากับ 0.395 ลิตร



ภาพที่ 36 ปริมาณการเกิดก๊าซเฉลี่ยจากการบำบัดน้ำเสียในระบบเอเอ็มบีอาร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day

จากตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกใหม่สามารถทำได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้ที่ OLR 0.83, 1.67 และ 2.50 gTCOD/L-day คือระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า BOD ได้มากกว่าร้อยละ 80 และ ค่า VFAs มีความเข้มข้นน้อยกว่า 500 mg/L ส่วนที่ OLR 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day มีค่า VFAs สูงกว่าที่กำหนด แต่จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถพิจารณาได้จากค่าความสะเทินกรดของอัตราส่วน VFAs/ALK พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.4 ซึ่งแสดงถึงการมีสภาวะในการสะเทินกรดภายในระบบสูงจึงทำให้ระบบบำบัดสามารถดำเนินต่อไปได้โดยไม่ล้มเหลว ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสียแต่ละการะบรทุกเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่

OLR (กรัมซีโอดีทั้งหมด/ ลิตร-วัน)	วันที่ก่อนการ	ค่าพารามิเตอร์ตามเกณฑ์		เหตุผลเมื่อเปลี่ยนค่า OLR
	เปลี่ยนค่า	ก่อนการเปลี่ยนค่า OLR		
	OLR	การกำจัด	VFAs	
	(วัน)	BOD	(mg/L)	
		(ร้อยละ)		
0.83	70	84.72	59.20	BOD>80%,VFAs<500mg/L
1.67	124	96.55	269.03	BOD>80%,VFAs<500mg/L
2.50	154	90.89	377.16	BOD>80%,VFAs<500mg/L
3.75	178	83.48	590.69	BOD>80%
5.83	202	84.27	1,321.27	BOD>80%

หมายเหตุ: ที่ OLR 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day มีค่า VFAs >500 mg/L จากการการทบทวน
วรรณกรรมถ้าอัตราส่วน VFAs/ALK มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงถึงค่าการสะเทินกรด
ภายในระบบสูงระบบจะยังคงสามารถดำเนินต่อไปได้