บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการเริ่มต้นระบบ (Start up) ทำโดยการใส่ตะกอนหัวเชื้อให้มีการปรับสภาพเป็นเวลา 1 สัปดาห์และป้อนน้ำเสียที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง (6 – 8) เข้าสู่ระบบที่เวลาเก็บกัก 48 ชั่วโมงรวมเป็นเวลา 20 วัน ในทั้งสองถังปฏิกิริยา จากนั้นจึงเริ่มการทดลองที่ 1 ป้อนน้ำเสียโดยใช้เวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง โดยน้ำเสียยังคงมีค่า พีเอชเป็นกลาง เพื่อเป็นการปรับสภาพให้แก่ระบบ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ทั้งสองถังปฏิกิริยา ช่วงนี้ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 138 วัน การเริ่มต้นระบบนี้จะทำให้มีแบคทีเรียทั้งชนิดสร้างกรดและสร้างมีเทนอยู่ในระบบมากพอ แล้วจึงเริ่มการทดลองในช่วงที่สอง คือ ช่วงการปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการสร้างกรด โดยมีพีเอชในถังปฏิกิริยาประมาณ 6 ที่เวลาเก็บกักน้ำเสีย 24, 12, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาอีก 205 วัน รวมระยะเวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 343 วัน

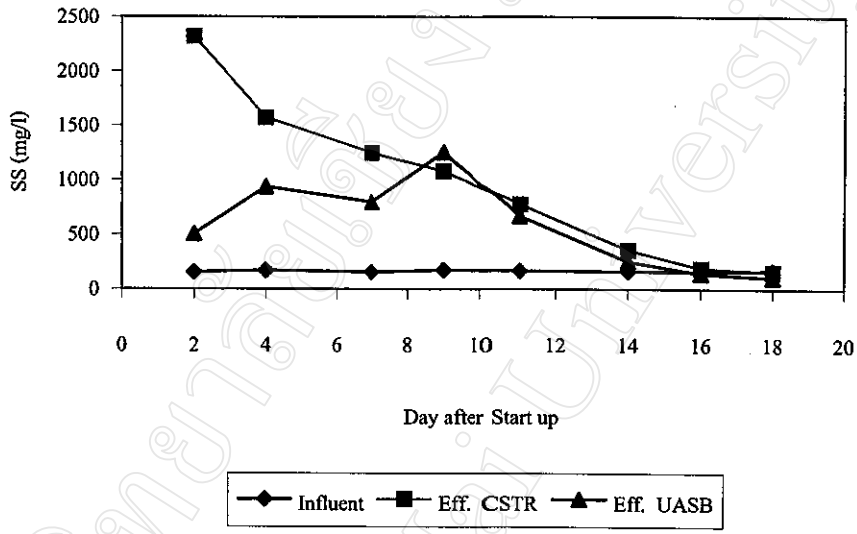
4.1 การเริ่มต้นระบบ และการทดลองที่ 1 (ภายใต้พีเอชน้ำเข้าเป็นกลาง)

4.1.1 สภาพของระบบในช่วงเริ่มต้นการทดลอง

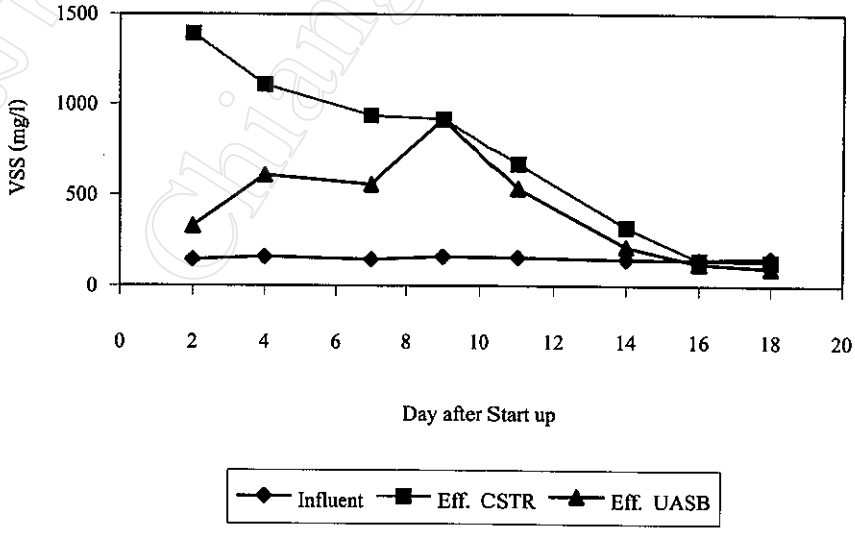
สำหรับระบบยูเอเอสบี กระบวนการคัดเลือกตะกอนทำการคัดเลือกตะกอนหัวเชื้อที่ใส่ลงไปในตอนเริ่มต้นระบบ ตะกอนส่วนที่มีน้ำหนักเบาและตกตะกอนยากจะถูกชะล้างออกไปจากระบบ ส่วนตะกอนที่มีน้ำหนักและมีลักษณะสมบัติในการตกตะกอนที่ดีจะถูกเก็บกักไว้ในระบบ ถึงแม้ว่าในช่วงเริ่มต้นระบบจะมีการเติมตะกอนหัวเชื้อลงไปในถังปฏิกิริยามากก็ตาม แต่ระบบก็จะมีการคัดเลือกตะกอนหัวเชื้อที่มีคุณสมบัติดีไว้ บางส่วนก็จะถูกชะล้าง (Wash out) ออกจากระบบ

การแปรผันของค่า SS และ VSS ในระยะเริ่มต้นระบบได้แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาทั้งสองที่เวลาเก็บกัก 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตะกอนหัวเชื้อในระบบได้ทำการปรับสภาพอย่างช้า ๆ ในขณะเดียวกันก็จะได้ทำการคัดเลือกตะกอน พบว่าช่วงเวลา 20 วันแรก นับจากเริ่มต้นระบบค่า SS และ VSS ของน้ำออกมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบ จนกว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 วัน ค่า SS และ VSS จึงมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ โดยในถังซีเอสทีอาร์ค่าจะลดลงอย่างต่อเนื่องขณะที่ในถังยูเอเอสบีนั้น เนื่องจากค่าความเร็วไหลขึ้นมีค่าต่ำ และการกวนผสมในถังมีน้อย ดังนั้นในช่วงแรกตะกอนจะลงมาอัดแน่นที่ช่วงล่างของถังปฏิกิริยาและมีการกวนผสมต่ำ ทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดสะสมในชั้นตะกอนและทำให้ดัน

ตะกอนขาดลอยขึ้นเป็นก้อนหลุดลอยขึ้นสู่ส่วนเหนือสุดของถังปฏิกิริยาและถูกชะล้างออกจากระบบในปริมาณทีละมาก ๆ ในเวลารวดเร็ว หลังจากการทดลองผ่านไประยะหนึ่ง เมื่อระบบปรับสภาพดีขึ้น การชะล้างก็ลดลงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การแปรผันของค่า SS ในระยะเริ่มต้นระบบ



รูปที่ 4.2 การแปรผันของค่า VSS ในระยะเริ่มต้นระบบ

4.1.2 ประสิทธิภาพของการทดลองที่ 1 (ภายใต้พีเอชน้ำเข้าเป็นกลาง)

ผลการทดลองที่ 1 สรุปดังตารางที่ 4.1

ก) การลดค่าซีโอดี

การศึกษาประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีมีการวิเคราะห์ทั้งค่าซีโอดีรวม (Total Chemical Oxygen Demand, TCOD) ของน้ำออก ซึ่งรวมถึงค่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) มาคำนวณหาประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีรวมของระบบโดยเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีรวมของน้ำเสียเข้า ค่าซีโอดีอีกอย่างหนึ่งคือซีโอดีที่หาจากการนำน้ำเสียกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วแล้วนำน้ำเสียที่ผ่านกระดาษกรองมาหาค่าซีโอดีกรอง (Filterable Chemical Oxygen Demand, FCOD) ของน้ำออก มาคำนวณหาประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีกรองของระบบโดยเปรียบเทียบกับน้ำเสียเข้า เช่นเดียวกับค่าซีโอดีรวม

อันเนื่องมาจากระบบถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถเก็บกักตะกอนที่จะหลุดออกมากับน้ำออกได้ดีกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์และตะกอนในถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีมากกว่า จึงทำให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ประกอบกับการที่น้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่า SS สูงเนื่องจากไม่มีโซนตกตะกอน จึงทำให้ค่าซีโอดีของน้ำออกสูง เพราะลักษณะสมบัติของน้ำออกมีค่าเหมือนกับน้ำในถังปฏิกิริยา ส่วนประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีกรองของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ทำได้ร้อยละ 33.9 และทำได้ร้อยละ 66.6 ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบีโดยที่ซีโอดีกรองของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 643 มก./ล. ที่สภาวะคงที่ การลดค่าซีโอดีรวมและซีโอดีกรองของทั้งสองถังปฏิกิริยา ถือได้ว่าอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนัก สาเหตุอาจเนื่องมาจากการยับยั้งการย่อยสลายโดยไลปิดในน้ำเสีย

หลังจากที่ทั้งสองระบบผ่านกระบวนการปรับสภาพตะกอนแล้ว โดยสังเกตได้จากค่า SS และ VSS ของน้ำออกเริ่มมีค่าต่ำกว่าของน้ำเข้า จึงเริ่มทำการป้อนน้ำเสียให้แก่ถังปฏิกิริยาทั้งสองที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง

ค่า TCOD และ FCOD หลังจากผ่านกระบวนการปรับสภาพตะกอน (ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง) ได้แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ พบว่าในช่วงแรกของการเริ่มต้นระบบนั้น น้ำเสียเข้าระบบมีค่า TCOD และ FCOD ต่ำ จึงทำให้น้ำที่ออกจากทั้งสองระบบมีค่าต่างๆ ต่ำไปด้วย แต่หลังจากวันที่ 25 ของการเริ่มต้นระบบไป น้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นสูงขึ้น ค่าน้ำทิ้งก็สูงขึ้นตามและมีการแปรผันค่อนข้างมาก สาเหตุเพราะในช่วงแรกของการทดลองแรกนี้ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานมีค่าความเข้มข้นไม่สม่ำเสมอเนื่องมาจากเวลาที่ไปเก็บเป็นจังหวะที่โรงงานกำลังเริ่มกระบวนการผลิตในช่วงเช้า กระบวนการผลิตจึงดำเนินไปอย่างไม่ครบวงจร ลักษณะน้ำเสียที่ได้จึงไม่คงที่ ส่งผลทำให้น้ำที่ออกจากทั้งสองระบบจึงมีค่า

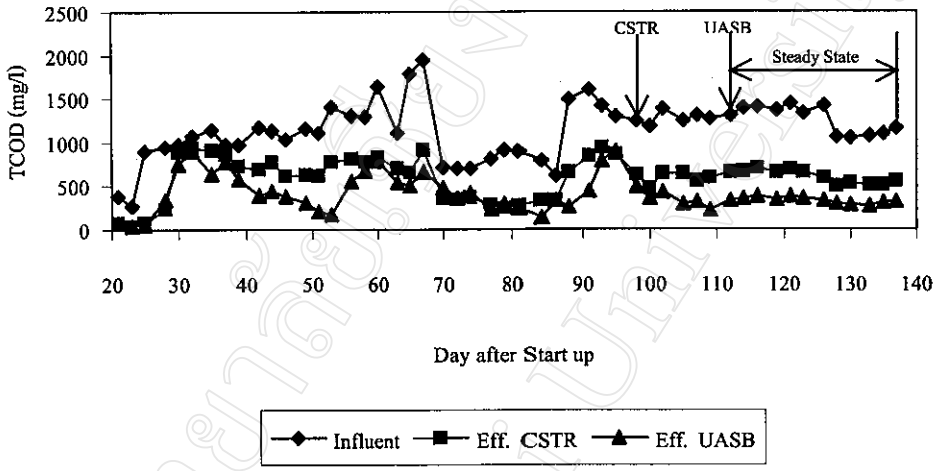
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ 1 (เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง)

พารามิเตอร์	น้ำเข้า			น้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์				น้ำออกจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบี			
	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	% เปลี่ยนแปลง	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	% เปลี่ยนแปลง
TCOD, มก./ล.	1049-1442	1257	158	493-698	599	77	-52.3	275-381	330	36	-73.7
FCOD, มก./ล.	421-813	643	125	305-510	425	72	-33.9	172-266	215	33	-66.6
SS, มก./ล.	249-385	315	45	143-189	170	14	-46.0	109-166	143	16	-54.6
VSS, มก./ล.	204-365	297	49	137-177	159	12	-46.5	105-143	132	13	-55.6
pH	6.53-7.98	7.38	0.42	7.28-7.94	7.6	0.22	-	7.40-7.90	7.71	0.14	-
อุณหภูมิ, °ซ	21.8-29.5	25.7	2.1	21.9-28.1	25.2	2.1	-	21.2-28.3	25.1	2.2	-
T. Alk, มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต	109-175	130	21	121-180	143	17	+10.0	111-165	138	17	+6.2
VFA, มก./ล. กรดอะซิติก	169-341	257	66	118-179	151	20	-41.2	60-114	84	17	-67.3
Biogas, มล./วัน	-	-	-	30-92	67	14	-	35-137	95	27	-

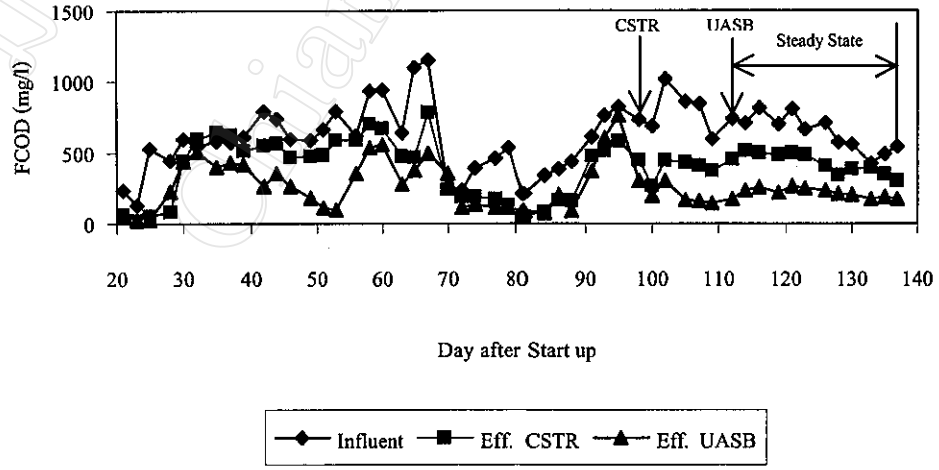
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยเฉพาะช่วงสภาวะคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ขึ้นๆ ลง ๆ ตามลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้า ระบบทั้งสองจึงยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่อย่างแท้จริง โดยที่ส่วนใหญ่แล้วน้ำที่ออกจากระบบซีเอสทีอาร์จะมีค่าความเข้มข้นของ TCOD และ FCOD สูงกว่าน้ำที่ออกจากระบบยูเอเอสบี



รูปที่ 4.3 ค่า TCOD หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกตะกอน
(ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง)



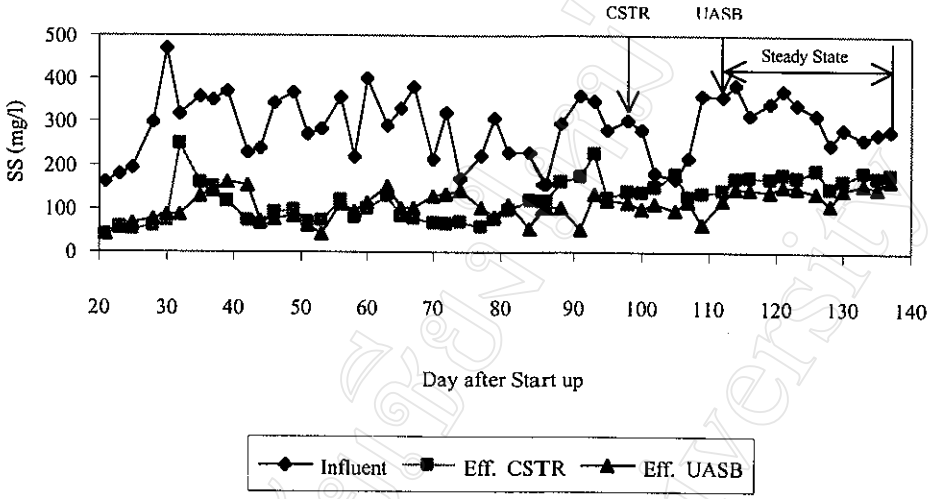
รูปที่ 4.4 ค่า FCOD หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกตะกอน
(ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง)

เมื่อการทดลองผ่านมาถึงวันที่ 98 ของการทดลอง ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์เข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีซึ่งเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 112 ของการทดลอง แต่เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบกันระหว่างถังปฏิกิริยาทั้งสอง ค่าเฉลี่ยต่าง ๆ จึงคิดที่เฉพาะช่วงสภาวะคงที่ของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี จากการที่สามารถเก็บกักน้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสม่ำเสมอจึงส่งผลทำให้ทั้งสองระบบมีน้ำออกที่ค่อนข้างมีลักษณะคงที่ตามไปด้วย โดยสภาวะคงที่ดูจากการที่อัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อค่าเฉลี่ยของข้อมูลรวมในช่วงนั้น ๆ ไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งใช้ค่า COD และกรดระเหยง่ายเป็นตัวพิจารณาถึงสภาวะคงที่ถึงแม้ว่าในวันที่ 128 ของการทดลอง ค่า TCOD และ FCOD ในน้ำเข้าจะมีค่าต่ำลงจากช่วงที่ผ่านมา แต่ค่า TCOD และ FCOD ในน้ำออกของทั้งสองระบบก็ยังคงมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งน้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่า TCOD และ FCOD สูงกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ผลการทดลองพบว่าที่สภาวะคงที่น้ำเข้ามีค่า TCOD เฉลี่ย และ FCOD เฉลี่ย 1257 และ 643 มก./ล. ตามลำดับ มีอัตราส่วน FCOD:TCOD 0.51 ระบบซีเอสทีอาร์มีค่า TCOD เฉลี่ยในน้ำทิ้ง 599 มก./ล. มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 52.3 ขณะที่ระบบ ยูเอเอสบีมีค่า TCOD เฉลี่ยในน้ำทิ้ง 330 มก./ล. มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 73.7

ข) การลดค่าของแข็งแขวนลอย

การที่จะสังเกตว่าระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีหรือไม่นั้น สามารถดูได้จากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกมากับน้ำออก เพราะถ้ามีของแข็งแขวนลอยออกมากับน้ำออกในปริมาณมาก แสดงว่า การตกตะกอนในถังปฏิกิริยาขาดประสิทธิภาพในการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำ แต่ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ถือได้ว่าไม่มีการตกตะกอน ส่วนในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี อาจมีสาเหตุมาจาก การเกิดก๊าซในถังตกตะกอน ซึ่งทำให้ตะกอนฟุ้งกระจายขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยาและปนออกมากับน้ำที่ออกจากระบบได้ เนื่องจากก๊าซที่วิ่งผ่าน GSS ทำให้ปะทะกับตะกอนที่กำลังตกลงมาจึงเกิดการฟุ้งกระจายขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งค่า SS หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกตะกอนในถังปฏิกิริยาทั้งสอง (ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง) ได้แสดงในรูปที่ 4.5

ประสิทธิภาพในการลดค่า SS และ VSS นั้น ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์สามารถลด SS ได้ร้อยละ 46.0 และ VSS ลดได้ร้อยละ 46.5 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถลด SS ได้ร้อยละ 54.6 และ VSS ได้ร้อยละ 55.6 ในสภาวะคงที่ของการทดลองแรก โดยที่น้ำเสียเข้ามีค่า SS เท่ากับ 315 มก./ล. และ VSS เท่ากับ 297 มก./ล. ซึ่งถือได้ว่าทั้งสองถังปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยที่ต่ำ



รูปที่ 4.5 ค่า SS หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกตะกอน
(ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง)

ค) พีเอช สภาพความเป็นด่างรวม และกรดระเหยง่าย

ค่าพีเอชของน้ำที่เข้าสู่ระบบมีค่าเป็นกลาง (6 - 8) ถึงแม้ว่าน้ำเสียเข้าจะมีพีเอชที่ค่อนข้างแปรผันอยู่ตลอด แต่สำหรับระบบถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบก็ยังคงรักษาระดับพีเอชให้ค่อนข้างคงที่ได้ในช่วงหลังของการทดลองแรก ค่าพีเอชน้ำออกไม่แกว่งมากเท่าใดนัก จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วระดับค่าพีเอชจึงคงที่มากกว่าเดิม ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกเท่ากับ 7.66 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าเฉลี่ยของน้ำออกเท่ากับ 7.71 ในขณะที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 7.38 ซึ่งจากค่าพีเอชเฉลี่ยของถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบพบว่ามีค่าสูงกว่าที่ McCarty, P.L. (1964a) แนะนำไว้ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมกับระบบไร้ออกซิเจนคือ 6.5-7.5 เพียงเล็กน้อย

สภาพความเป็นด่างรวมในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 43-292 มก./ล. เทียบกับแคลเซี่ยมคาร์บอเนต ค่าเฉลี่ย 130 มก./ล. เทียบกับแคลเซี่ยมคาร์บอเนต เมื่อผ่านระบบถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์น้ำออกมีค่าความเป็นด่างรวมอยู่ในช่วง 73-332 มก./ล. เทียบกับแคลเซี่ยม-คาร์บอเนต ค่าเฉลี่ย 143 มก./ล. เทียบกับแคลเซี่ยมคาร์บอเนต และออกจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าอยู่ในช่วง 83-338 มก./ล. เทียบกับแคลเซี่ยมคาร์บอเนต ค่าเฉลี่ย 138 มก./ล. เทียบกับแคลเซี่ยมคาร์บอเนต แสดงให้เห็นว่าภายในถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบมีความเป็นด่างรวมที่เหมาะสมต่อการต้านการเปลี่ยนแปลงพีเอช เพราะขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะสร้างกรดขึ้นมาเป็น

Intermediate Products ระบบต้องมีความเป็นด่างสูงพอที่จะสะเทินกรดที่มากเกินพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกรดเป็นมีเทนได้ทัน และความเป็นด่างเกิดได้จากการที่ได้รับไบคาร์บอเนต ที่เกิดจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) จึงพบว่าน้ำที่ผ่านถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบแล้วจึงมีค่าความเป็นด่างรวมสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อย

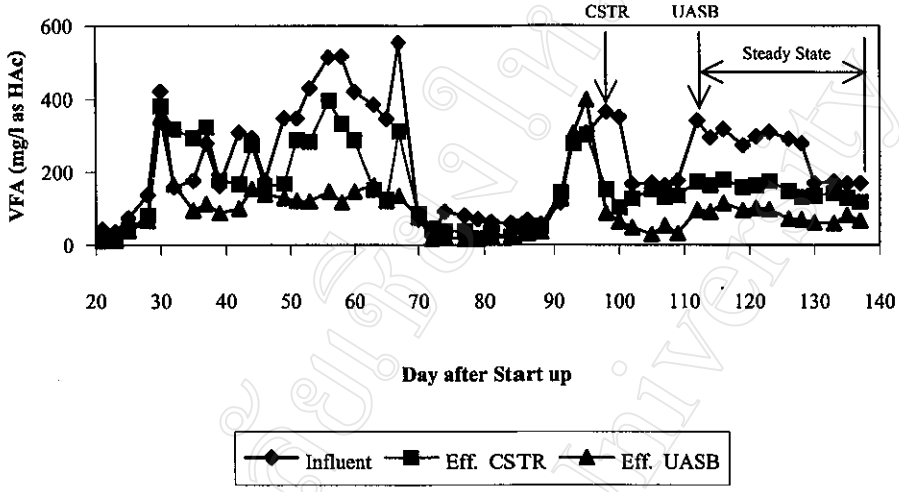
กรดระเหยง่ายในการทดลองนี้ ของน้ำเสียเข้ามีค่าแปรผันสูงๆ ต่ำๆ อันเนื่องมาจากการเก็บน้ำเสียแบบ Grab Sample ทุกๆ 2-3 สัปดาห์จากโรงงานในช่วงแรกมีการเก็บในช่วงเช้าเกินไป ซึ่งในช่วงนั้นในขบวนการผลิตยังทำงานไม่ครบวงจรจึงทำให้น้ำเสียมีลักษณะสมบัติไม่คงที่ มีการเก็บน้ำเสียที่มีการตกค้างในรางระบายน้ำเสีย ทำให้น้ำตาลแลคโตสในนมแปรรูปเป็นกรดแลคติก เมื่อน้ำเสียเข้ามีค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายสูง สภาพการปรับตัวของถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบยังเป็นไปอย่างไม่ค่อยดีนัก ทำให้น้ำออกจากถังปฏิกิริยาทั้งสองระบบมีค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ อันเนื่องมาจากแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยสลายกรดระเหยง่ายที่มีจำนวนมากนี้ได้ทัน จนกระทั่งการทดลองเริ่มเข้าสู่วันที่ 98 ระบบถึงเริ่มปรับตัวได้ดีขึ้นถึงแม้ว่าในช่วงวันที่ 112 น้ำเสียเข้าจะมีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายมากขึ้นบ้างก็ตาม นอกจากนี้การที่ความเข้มข้นกรดระเหยง่ายในน้ำออกจากทั้งสองถังมีค่าลดลง แสดงว่ามีขั้นตอนการย่อยสลายกรดให้เป็นก๊าซมีเทนเกิดขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากการที่สามารถวัดก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากทั้งสองระบบได้ด้วย จากข้อมูลที่สภาวะคงที่พบว่าน้ำออกจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกรดระเหยง่ายได้ดีกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ เนื่องจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณมากกว่าเพราะมีแผ่นกั้น GSS ทำให้มีแบคทีเรียสร้างมีเทนมากกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ซึ่งไม่มีส่วนของการตกตะกอนอยู่เลย ซึ่งอาจสังเกตได้จากการวัดร้อยละของก๊าซมีเทนของทั้งสองระบบ และเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ น้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยของกรดระเหยง่ายเท่ากับ 257 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก น้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 151 มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84 มก./ล. เทียบกับกรด อะซิติก ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6

ง) อุณหภูมิ ก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซ

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยาทั้งสองมีค่าอยู่ในช่วง 21.8 - 29.5 $^{\circ}$ ซ. ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำออกจากถังปฏิกิริยา CSTR และถังปฏิกิริยา UASB มีค่าอยู่ในช่วง 21.9 - 26.1 $^{\circ}$ซ. และ 21.2 - 27.8 $^{\circ}$ซ. ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

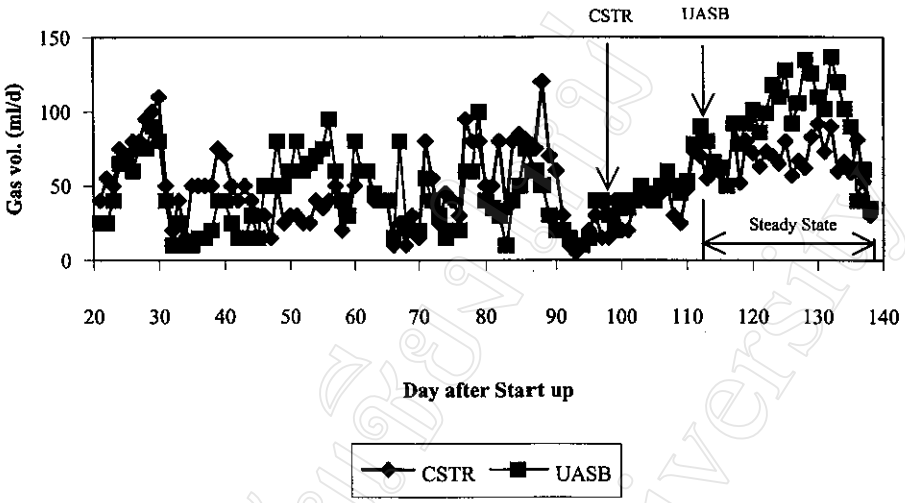
ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยา เนื่องจากก๊าซชีวภาพเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยอาศัยแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้าง

มีเทนทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับลักษณะและปริมาณของน้ำเสีย รวมถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์



รูปที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบ ซึ่งสามารถเก็บก๊าซได้ตั้งแต่วันที่เริ่มการทดลองแรก แต่เก็บได้ในปริมาณที่ต่ำ การเก็บก๊าซในช่วงแรกของการทดลองเก็บได้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี เนื่องจากการที่ตะกอนถูกชะล้างพาขึ้นสู่แผ่นกั้นตะกอน บางส่วนยังสามารถที่จะไหลขึ้นไปยังแผ่นกั้นแยกก๊าซและตะกอนทำให้ตะกอนขึ้นไปอุดรูท่อเก็บก๊าซ ทำให้เกิดการอุดตันบริเวณนั้น ซึ่งผลการทดลองในส่วนนี้ยังมีค่าซึ่งไม่สม่ำเสมอในแต่ละวัน สูง ๆ ต่ำ ๆ บ้างในช่วงแรกของการทดลอง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าปริมาณก๊าซจึงเริ่มมีค่าค่อนข้างที่สม่ำเสมอกว่าตอนแรก โดยเฉพาะถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์ ซึ่งไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการอุดตันของตะกอนที่ท่อเก็บก๊าซ ในช่วงสภาวะคงที่นี้เองที่ทำให้ก๊าซชีวภาพเกิดได้ดีขึ้นกว่าช่วงแรกของการทดลอง จากข้อมูลปริมาณก๊าซเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่พบว่า ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีปริมาณก๊าซสูงกว่าที่เก็บได้จากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ไม่มากนัก ซึ่งถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีปริมาณก๊าซช่วงค่า 35 - 137 มล./วัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93 มล./วัน ส่วนถังปฏิริยาซีเอสทีอาร์มีปริมาณก๊าซช่วงค่า 30 - 92 มล./วัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67 มล./วัน การที่ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีได้ปริมาณก๊าซมากกว่า เนื่องจากมีการเก็บกักตะกอนด้วย GSS ซึ่งถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ไม่มีถังตกตะกอนจึงมีปริมาณตะกอนน้อยกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบี จึงมีความสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ต่ำกว่า



รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบของการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.7 แสดงถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากทั้งสองระบบในการทดลองแรก เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิที่ลดลงในช่วงฤดูหนาวที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่า ประมาณวันที่ 82 ของการทดลองแรก อุณหภูมิของน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจาก 24.3 ^{o}ซ เป็น 19.8 ^{o}ซ ภายใน 3 วัน ซึ่งเป็นไปตามอุณหภูมิของบรรยากาศสภาวะแวดล้อมภายนอกที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบมีแนวโน้มลดลงจากเดิมที่ปริมาณก๊าซที่เกิดกำลังค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเริ่มมีค่าสูงขึ้น ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากทั้งสองถังปฏิกิริยาจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะคงที่ของการทดลองแรก ซึ่งที่สภาวะคงที่นั้น ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่มากกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์เล็กน้อย

ในช่วงท้ายของการทดลอง ตะกอนปรับสภาพได้ดี ระบบมีประสิทธิภาพคงที่ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ปรับตัวสูงขึ้นกว่าระยะแรกอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แต่ปริมาณก๊าซที่ได้มีการแปรผันสูงและไม่คงที่ มีค่าเฉลี่ยระหว่างวันที่ 112 - 138 ซึ่งถือว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดคงที่เท่ากับ 67 มล./วัน ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ และ 93 มล./วัน ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าเท่ากับ 30.6 ลิตร/กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าเท่ากับ 28.2 ลิตร/กก. ซีโอดีถูกกำจัด ซึ่งทั้งสองถังปฏิกิริยามีปริมาณก๊าซมีเทนต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีที่ระบบการย่อยสลายแบบไร้

ออกซิเจน สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 350 ลิตร/กก. ซีโอดีที่ถูกจำกัด (Metcalf and Eddy, 1991) เมื่อเทียบกับถังปฏิกิริยายูเอเอสบีของกิตติ ธีรสรเดช (2538) ที่มีค่าเท่ากับ 70.7 ลิตร/กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด ก็ถือว่ามีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่จุดท่อนำก๊าซออกของถังปฏิกิริยายูเอเอสบีระดับความสูงของน้ำในท่อนำก๊าซกับระดับความสูงของน้ำในถังปฏิกิริยายูเอเอสบีที่อยู่เหนือ GSS มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อมีตะกอนหรือไขฝ้ามาอุดตันบริเวณ GSS จึงทำให้การไหลของก๊าซจึงมีโอกาสที่จะหลุดลอดออกไปกับน้ำออกจากถังปฏิกิริยาได้ เพราะมี Pressure Head ใกล้เคียงกัน เป็นเหตุให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จึงมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

ก๊าซมีเทนที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าร้อยละ 41.6 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่า 46.7 ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับผลการทดลองของสมพงษ์ นิลประยูร (2536) ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ให้ร้อยละของก๊าซมีเทนถึง 68.6 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีของ กิตติ ธีรสรเดช (2538) มีค่าก๊าซมีเทนร้อยละ 64.5 ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นส่วนประกอบในก๊าซชีวภาพของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าร้อยละ 1.7 และ 1.6 ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำมาก ก๊าซไนโตรเจนมีค่าร้อยละ 48.4 ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ และ 44.1 ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี พบว่ามีค่าสูงมาก ซึ่งสาเหตุยังไม่ทราบแน่ชัด

ตารางที่ 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่ผลิตได้จากระบบของการทดลองที่ 1

รายการ/พารามิเตอร์	CSTR	UASB
เวลาเก็บกักน้ำ, ชม.	24	24
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์, กก. ซีโอดี/(ลบ. ม.-วัน)	1.26	1.26
ก๊าซชีวภาพที่วัดได้, มล./วัน	67	95
อุณหภูมิเฉลี่ย, °ซ.	25.2	25.1
% มีเทนในก๊าซชีวภาพ	41.6	46.7
ก๊าซมีเทนที่วัดได้ที่ 30°ซ., มล./วัน	28	45
ก๊าซมีเทนที่ละลายน้ำทิ้ง *, มล./วัน	39	42
ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ 30°ซ., ลิตร./วัน	0.067	0.087
อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ 30°ซ., ลิตร/กก. ซีโอดีเข้าสู่ระบบ	17.77	23.07
อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ STP, ลิตร/กก. ซีโอดีเข้าสู่ระบบ	16.01	20.83
อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ 30°ซ., ลิตร/กก. ซีโอดีที่ถูกจำกัด	33.94	31.28
อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ STP, ลิตร/กก. ซีโอดีที่ถูกจำกัด	30.58	28.24

หมายเหตุ : * ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.

ในการทดลองแรกนี้ปริมาณซัลเฟตในน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 7.8 มก./ล. ซึ่งจากการคำนวณค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตในน้ำเสียเข้าระบบในแต่ละครั้งที่มีการเก็บน้ำเสียจากโรงงาน แล้วพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าอัตราส่วนที่แนะนำโดย Lettinga, G. (1981) ซึ่งแนะนำไว้ว่า ค่าอัตราส่วนของซีโอดีต่อซัลเฟตในน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีควรมีค่าสูงกว่า 7-10 คือมีค่าเฉลี่ยซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 149 จึงไม่มีปัญหาการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่สร้างโดย Sulfate Reducing Bacteria เนื่องจากไฮโดรเจนอิออนเป็นสารพิษ ที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าค่าพีเอชน้อยกว่า 6.5

ค่าเจดาลไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) ในน้ำเข้าระบบเฉลี่ยตลอดการทดลองแรกมีค่าเท่ากับ 27.7 และ 5.3 มก./ล. ตามลำดับ จากการคำนวณค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในน้ำเสียเข้าระบบในแต่ละครั้งที่มีการเก็บน้ำเสียที่โรงงานโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าเท่ากับ 600:15:3 พบว่ามีค่าสูงกว่าอัตราส่วนที่แนะนำโดย Speece, R.E and McCarty, P.L. (1964b) ที่แนะนำว่าในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี อัตราส่วนดังกล่าวควรมีค่ามากกว่า 600:7:1 ดังนั้นในการทดลองจึงไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มอาหารเสริมให้แก่ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีแต่อย่างใด

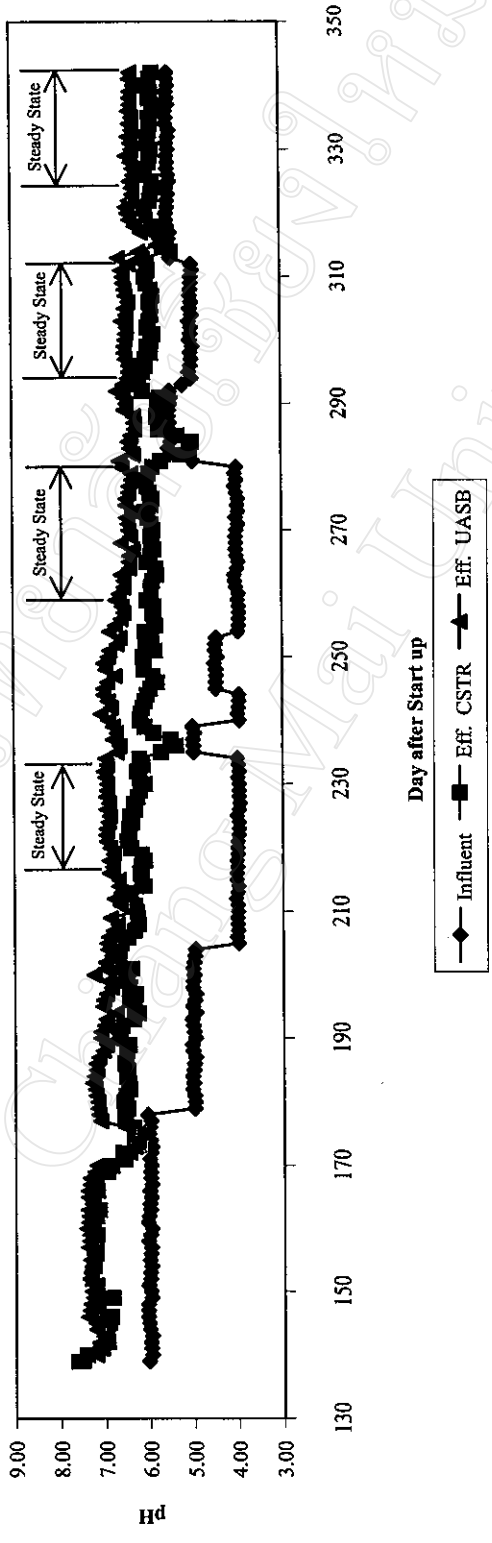
4.2 การศึกษาการสร้างกรด

4.2.1 การปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างกรด

หลังจากที่การทดลองแรกผ่านไป โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 138 วัน จึงเริ่มทำการศึกษาถึงการสร้างกรดในการทดลองต่อไป โดยการปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการสร้างกรด โดย พีเอชในถังปฏิกิริยามีค่าประมาณ 6 ที่เวลาเก็บกักน้ำที่ 24, 12, 8 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับของการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งแต่ละการทดลองก็จะดำเนินไปจนกว่าเข้าสู่สภาวะคงที่ แล้วจึงจะเริ่มการทดลองใหม่ต่อไป

จุดประสงค์ของการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกิริยา เพื่อให้ค่าพีเอชในถังปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 6 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการสร้างกรดของแบคทีเรียสร้างกรดตามรายงานของ Zeotemeyer, R.J. et al. (1982a, 1982b) ที่ได้รายงานไว้ว่ากระบวนการสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ช่วงค่าพีเอช 5.8-6.2

การปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกิริยาทั้งสองระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เริ่มขึ้นในวันที่ 139 โดยการปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าที่ประมาณ 6.0 เพื่อที่จะรอให้ระบบมีการปรับตัวในการสร้างกรดให้เพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกันก็ทำการขัดขวางการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน สร้างเสริมแบคทีเรียสร้างกรดให้เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะคงที่ในที่สุด แต่เมื่อการทดลองเข้าสู่วันที่ 168 ทั้งสองถังปฏิกิริยาก็ยังคงมีค่าพีเอชที่เป็นกลาง โดยที่ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าพีเอชของน้ำออกเท่ากับ 7.25 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.35 ในวันที่ 169 ของการทดลองจึงได้มีการปรับค่าพีเอชในถังปฏิกิริยาทั้งสองโดยตรงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5.0 นอร์มัล เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์จนค่าพีเอชของน้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ลดลงจนเหลือเท่ากับ 6.05 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าเท่ากับ 6.11 จึงหยุดทำการปรับพีเอชในถังปฏิกิริยาทั้งสอง แต่ยังคงปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกิริยาให้มีค่าเท่ากับ 6.0 คงเดิม ปรากฏว่าเมื่อเวลาผ่านไปอีกหนึ่งสัปดาห์ ผลก็คือค่าพีเอชของถังปฏิกิริยาทั้งสองก็มีค่าสูงขึ้นเป็น 6.54 และ 7.21 ตามลำดับ โดยที่ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าพีเอชสูงขึ้นได้อย่างรวดเร็วกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีซึ่งค่อย ๆ สูงขึ้นทีละน้อย และเมื่อค่าพีเอชน้ำออกของทั้งสองถังปฏิกิริยายังมีค่าสูงกว่า 6.0 จึงได้ลองทำการปรับค่า พีเอชน้ำเสียเข้าให้ต่ำลงอีกคือเท่ากับ 5.0 ในวันที่ 179 ของการทดลอง และสังเกตการณ์ต่อไปอีกจนเมื่อเข้าสู่วันที่ 204 ของการทดลอง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าพีเอช 6.71 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบี 6.93 จึงทำการปรับค่าพีเอชน้ำเสียเข้าลงอีกเป็น 4.0 จนเข้าสู่สภาวะคงที่พบว่า ค่าพีเอชน้ำออกจากถังปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 6.28 และ 6.92 ตามลำดับ ในสภาพความเป็นจริงแล้วคงเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีมาก ในการที่จะปรับค่าพีเอชให้กับระบบใหญ่ ดังนั้นการทดลองนี้จึงหยุดการทดลองที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม. นี้ด้วยการปรับพีเอชน้ำเสีย



รูปที่ 4.8 ค่าพีเอชของการทดลองที่ 2 - 5

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

เข้าให้มีค่าเท่ากับ 4.0 และสาเหตุที่การปรับพีเอชให้กับระบบมีผลน้อยมากต่อระบบทั้งสอง อาจเนื่องมาจากเวลาเก็บกักน้ำของระบบสูงพอที่จะสามารถปรับตัวจากการที่แบคทีเรียสร้างกรดทำการสร้างกรดได้สอดคล้องกับการสร้างมีเทนของแบคทีเรียสร้างมีเทน และอีกสาเหตุหนึ่งคือการบำบัดน้ำเสียที่มีโปรตีนสูง โปรตีน ($NH/NH_2/NH_3^+$ form) จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3/NH_4^+ form) ทำปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอร์เนตทำหน้าที่เป็น Buffer ทำให้ความเป็นกรดลดลงและความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมักไม่ต้องเติมความเป็นด่างให้แก่ระบบที่ต้องบำบัดน้ำเสียที่มีโปรตีนสูง (Sam-Soon, P. et al. 1990)

หลังจากการทดลองที่ 2 เสร็จสิ้นลง การปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบถูกเปลี่ยนจากที่ประมาณ 4.0 เป็น 5.0 ในช่วงแรกหลังจากทำการเปลี่ยนเวลาเก็บกักจาก 24 ชั่วโมงเป็น 12 ชั่วโมง ในการทดลองที่ 3 พบว่าน้ำออกจากถังปฏิกิริยาทั้งสองมีค่าพีเอชที่ต่ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ที่มีการลดลงของค่าพีเอชอย่างรวดเร็วเท่ากับ 5.36 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีเท่ากับ 6.65 ภายในเวลา 2 วันหลังจากเริ่มการทดลองที่ 3 จากนั้นจึงได้เพิ่มสูงขึ้นในเวลาต่อมาและมีทีท่าว่าจะสูงเกินกว่า 6.0 ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ และเกิน 7.0 ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ในวันที่ 240 ของการทดลองจึงได้ทำการลดค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบลงเป็น 4.0 สังเกตผลพบว่า ค่าพีเอชน้ำออกของทั้งสองถังปฏิกิริยามีแนวโน้มต่ำลงอีกครั้ง โดยเฉพาะถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ ในวันที่ 245 ของการทดลอง จึงปรับพีเอชน้ำเสียเข้าเป็น 4.50 ค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ยังคงมีค่าสูงกว่า 6.0 เพียงเล็กน้อย จนในที่สุด วันที่ 254 ของการทดลอง จึงลดค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบเป็น 4.0 แล้วรอสังเกตผลการทดลองพบว่า เมื่อทั้งสองระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ มีค่าพีเอช 5.93 และ 6.46 ในน้ำออกของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์และยูเอเอสบีตามลำดับ และจากผลการทดลองที่ 2 และ 3 พบว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบียังคงรักษาเสถียรภาพในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำมาเป็นถังสร้างกรดเพียงอย่างเดียว

ในการทดลองที่ 4 ซึ่งมีเวลาเก็บกักน้ำ 8 ชั่วโมง เริ่มจากวันที่ 281 ของการทดลองได้มีการลองปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบให้เป็น 5.0 และ เป็น 5.5 ในวันต่อมา คล้ายกับการทดลองที่ผ่านมาโดยเฝ้ารอสังเกตการณ์เพื่อให้ค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าใกล้เคียง 6.0 จนวันที่ 294 ของการทดลองจึงได้ทำการปรับพีเอชน้ำเข้าให้เท่ากับ 5.0 และปล่อยให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่และพบว่าค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าเท่ากับ 5.96 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีเท่ากับ 6.47

ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเป็นการทดลองสุดท้ายมีเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง เริ่มจากวันที่ 313 ของการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้ได้อาศัยประสบการณ์จากการทดลองที่ผ่านมาปรับค่าพีเอชน้ำเสียเข้าเท่ากับ 5.5 และปล่อยให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่าระบบทั้งสองสามารถเข้าสู่สภาวะ

คงที่ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งใช้เวลาเพียง 10 วันจากเริ่มการทดลองก็สามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้อย่างพร้อม ๆ กันทั้งสองถังปฏิกิริยา และเมื่อถึงสภาวะคงที่ ค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์เท่ากับ 5.90 และ 6.32 ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี

ตารางที่ 4.3 แสดงการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบและค่าพีเอชน้ำออกจากระบบทั้งสองในการทดลองต่าง ๆ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการปล่อยให้น้ำเสียเข้าระบบมีค่าเป็นกลางในการทดลองกับการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบในการทดลองต่อ ๆ มา

ตารางที่ 4.3 การปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบและค่าพีเอชน้ำออกจากระบบทั้งสอง

ค่าพีเอช	การทดลองที่				
	1	2	3	4	5
น้ำเสียก่อนเข้าระบบ	7.38	3.98	4.00	5.01	5.50
น้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์	7.66	6.28	5.93	5.96	5.90
น้ำออกจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบี	7.71	6.92	6.46	6.47	6.32

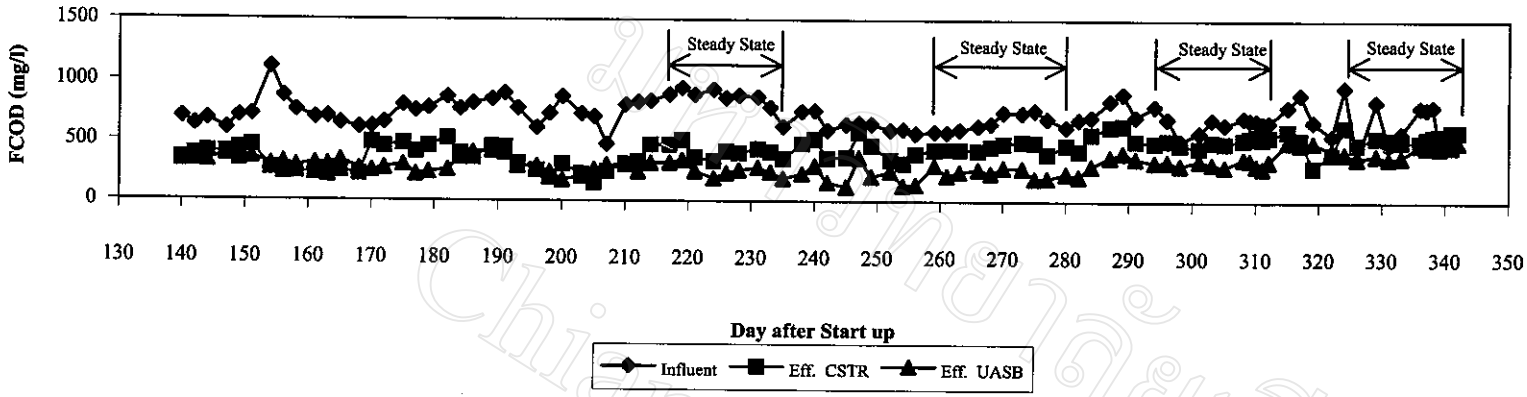
หมายเหตุ : การทดลองที่ 1 ไม่มีการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

4.2.2 ประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกิริยาในช่วงการสร้างกรด

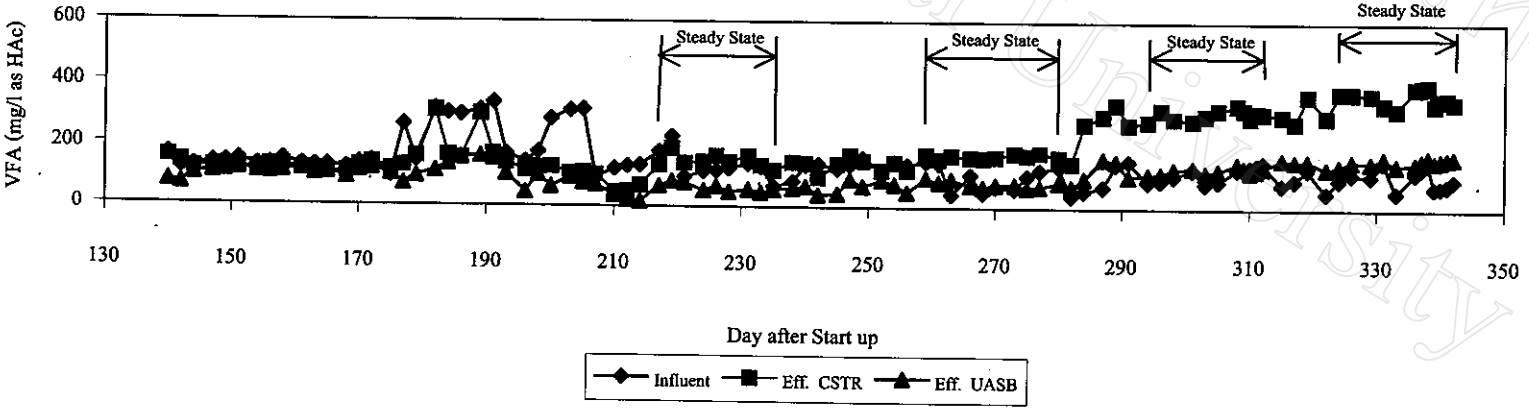
ก) สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 2 - 5

จากการพิจารณาถึงการเข้าสู่สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 2 โดยดูจากค่า FCOD และ กรดระเหยง่าย ซึ่งการเบี่ยงเบนของข้อมูลต่อค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 20 (ในช่วงสภาวะคงที่) ซึ่งผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าถังปฏิกิริยาทั้งสองเข้าสู่สภาวะคงที่พร้อมกันในวันที่ 217 ของการทดลอง ส่วนการเข้าสู่สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 3 พบว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ ซึ่งจากเกณฑ์พิจารณาดังกล่าวนั้น ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง ส่วนถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์เข้าสู่สภาวะคงที่ได้ช้ากว่าคือวันที่ 259 ของการทดลอง

การทดลองที่ 4 และ 5 มีลักษณะของผลการทดลองที่คล้ายกันคือ เป็นการทดลองที่ต่อเนื่องจากการทดลองที่มีเวลาเก็บกักน้ำสั้น ข้อมูลที่ได้จึงมีค่าไม่แปรผันจนสามารถกล่าวได้ว่าทั้งสองระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ตั้งแต่เริ่มการทดลอง แต่เนื่องจากความเป็นจริงแล้วไม่อาจแน่ใจได้นักว่าทั้งสองระบบสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้อย่างแท้จริง ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่นำมาคิดจึงเป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นหลังจากระบบทำงานผ่านไปไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเวลาเก็บกักน้ำ ในการ



รูปที่ 4.9 ค่า FCOD ของการทดลองที่ 2 - 5



รูปที่ 4.10 กรดระเหยง่ายของการทดลองที่ 2 - 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

พิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจะใช้ข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันมาพิจารณาคือในการทดลองที่ 2 ระหว่างวันที่ 217 - 234 การทดลองที่ 3 ระหว่างวันที่ 259 - 280 การทดลองที่ 4 ระหว่างวันที่ 294 - 312 และการทดลองที่ 5 ระหว่างวันที่ 324 - 342 ของการทดลอง ตามลำดับ

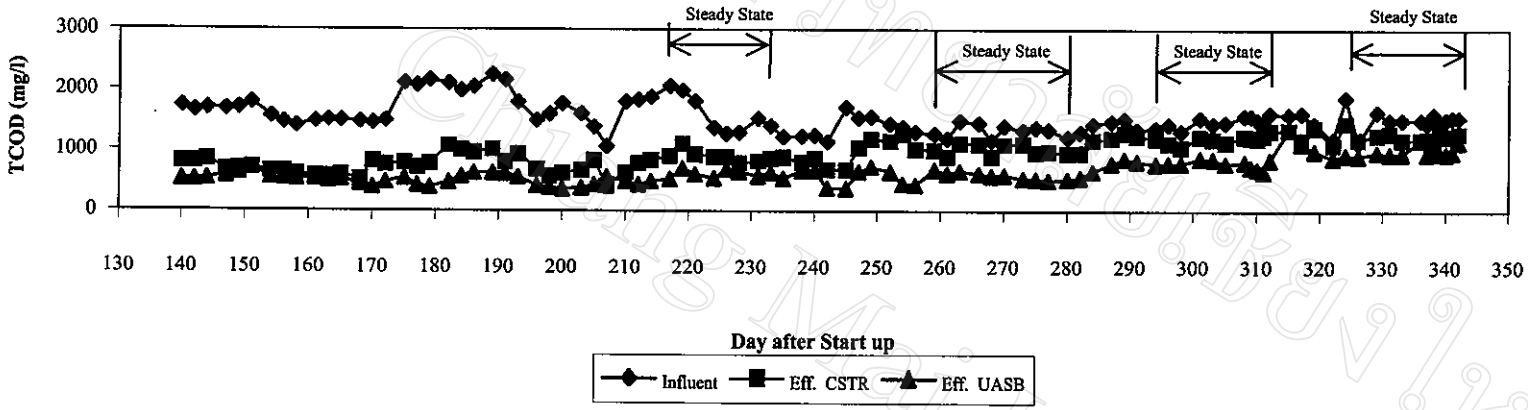
จากการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบทั้งสองนั้น มีผลทำให้เริ่มเสียสมดุลการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน จะอยู่ในช่วงระหว่าง 6.5-7.5 ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 หรือสูงกว่า 7.5 จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว

ข. ประสิทธิภาพของระบบ

ค่า TCOD ของการทดลองที่ 2 - 5 (ที่เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม.) ได้แสดงในรูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่การทดลองต่าง ๆ ซึ่งในการทดลองที่ 1 (ปรับพีเอชน้ำเข้าให้อยู่ในช่วงเป็นกลาง) ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์สามารถกำจัดซีโอดีรวมได้ร้อยละ 52.3 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีทำได้ร้อยละ 73.7 และเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากันที่ 24 ชั่วโมง แต่มีการปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบแล้ว ที่สภาวะคงที่ พีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบเท่ากับ 3.98 น้ำออกจากถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.28 สามารถกำจัด ซีโอดีรวมได้ร้อยละ 43.4 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าพีเอชน้ำออกเท่ากับ 6.92 กำจัดซีโอดีรวมได้ร้อยละ 68.6 ซึ่งต่ำกว่าการทดลองแรก อันเนื่องมาจากการปรับค่าพีเอชน้ำเสียเข้าระบบทั้งสองทำให้ค่าพีเอชในถังปฏิกิริยามีค่าต่ำกว่าการทดลองแรก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทนเริ่มทำงานอย่างเสีย สมดุล จึงทำให้การกำจัดซีโอดีมีประสิทธิภาพต่ำลง

การทดลองที่ 3, 4 และ 5 เมื่อทั้งสองถังปฏิกิริยามีเวลาเก็บกักที่สั้นลงและประกอบกับการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบ จึงมีผลทำให้การกำจัดซีโอดีรวมของถังปฏิกิริยาทั้งสองมีค่าต่ำลงตามเวลาเก็บกักที่สั้นลง ซึ่งถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์สามารถกำจัดซีโอดีรวมได้ร้อยละ 17.9-23.5 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีกำจัดซีโอดีรวมได้ร้อยละ 35.0-56.1

การกำจัดซีโอดีผ่านกระดาษกรองของการทดลองที่ 2-5 สามารถกำจัดได้ร้อยละ 14.7-52.6 ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์และกำจัดได้ร้อยละ 32.1-70.1 ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดจะต่ำลงผกผันกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นหรือช่วงเวลาเก็บกักน้ำเสียที่สั้นลงนั่นเอง ผลการทดลองโดยสรุปในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.11 ค่า TCOD ของการทดลองที่ 2 - 5

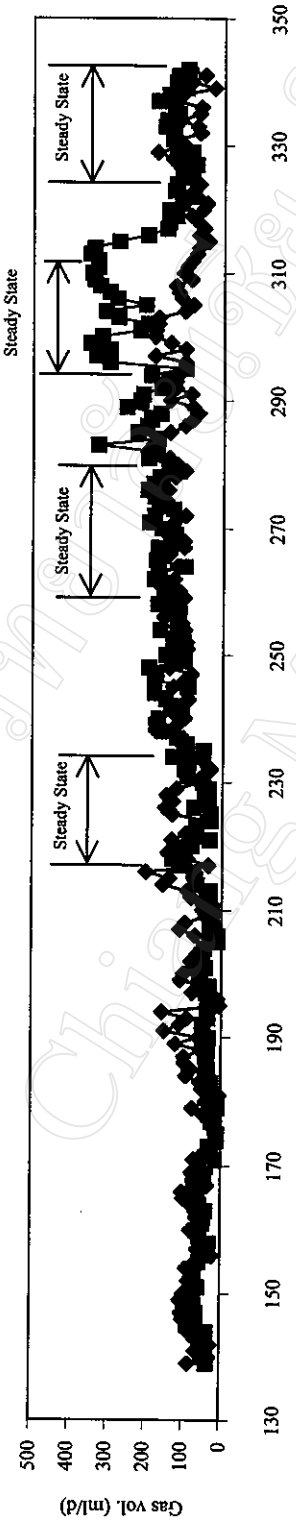
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ และยูเอเอสบีในสภาวะสร้างกรด

รายการ/พารามิเตอร์	การทดลองที่							
	2		3		4		5	
	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
อัตราการสูบน้ำเสียเข้า, ลิตร/วัน	3	3	6	6	9	9	12	12
เวลาเก็บกักน้ำ, ชม.	24	24	12	12	8	8	6	6
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์, กก.COD/(ม^3. วัน)	1.59	1.59	2.64	2.64	4.43	4.43	6.10	6.10
COD - น้ำเข้า, มก./ล.	1,590	1,590	1,320	1,320	1,476	1,476	1,526	1,526
- น้ำออก, มก./ล.	899	611	1,010	581	1,192	778	1,252	992
SS - น้ำเข้า, มก./ล.	326	326	341	341	368	368	408	408
- น้ำออก, มก./ล.	258	160	246	203	347	254	360	281
pH - น้ำเข้า	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.5	5.5
- น้ำออก	6.3	6.9	5.9	6.5	6.0	6.5	5.9	6.3
VFA - น้ำเข้า, มก./ล. Acetic Acid	140	140	98	98	114	114	104	104
- น้ำออก, มก./ล. Acetic Acid	152	62	168	78	307	126	364	158
Total Alkalinity - น้ำเข้า, มก./ล. $CaCO_3$	0	0	0	0	16	16	40	40
- น้ำออก, มก./ล. $CaCO_3$	97	89	73	72	93	98	83	88

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2 - 5 แสดงดังรูปที่ 4.12

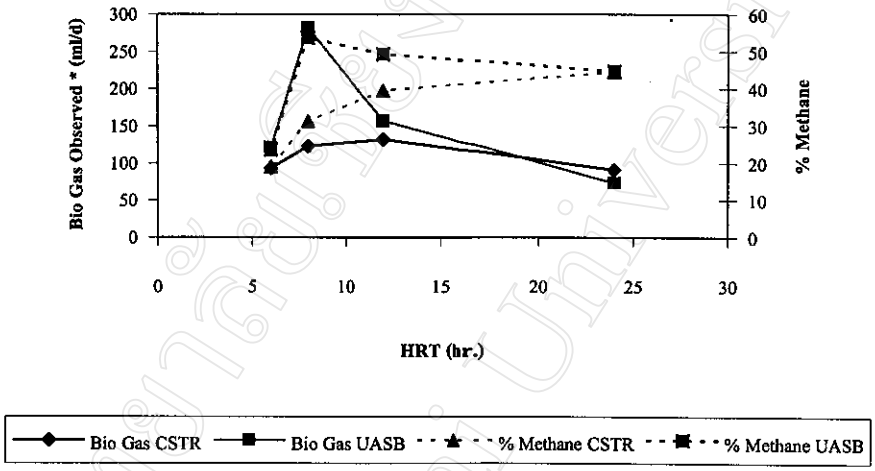
จากรูปที่ 4.13 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้และร้อยละของก๊าซมีเทนของถังปฏิกิริยาเทียบกับเวลาเก็บกักน้ำเสีย พบว่าที่เวลาเก็บกักน้ำเสียสั้นลง ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีแนวโน้มการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้น ยกเว้นที่เวลาเก็บกักน้ำเสีย 6 ชม. ส่วนถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีการผลิตก๊าซชีวภาพที่ไม่มีแนวโน้มที่แน่ชัดเท่าใดนัก แต่โดยรวมแล้วถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ เนื่องจากการที่ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมี GSS เมื่อกั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ยังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ให้ปนออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้มีตะกอนในปริมาณมากกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ ซึ่งไม่มีการตกตะกอนในถังปฏิกิริยา และนอกจากนั้นแล้วถังปฏิกิริยายูเอเอสบียังมีแนวโน้มของร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สูงกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์อีกด้วย เนื่องจากการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบส่งผลทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนของถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบถูกยับยั้งการทำงาน โดยถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ถูกยับยั้งการทำงานอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์จำนวนน้อยอยู่ในถังปฏิกิริยาจึงไม่สามารถสร้างมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในสภาวะที่ถังปฏิกิริยามีค่าพีเอชต่ำ โดยที่ช่วงค่าพีเอชเฉลี่ย 5.9 - 6.28 ในการทดลองที่ 2 - 5 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีช่วงค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกเท่ากับ 6.32 - 6.92 ที่



รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบของการทดลองที่ 2 - 5

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 2 -5 ซึ่งถ้าค่าพีเอชในน้ำเสียต่ำกว่า 6.2 จะทำให้มีไฮโดรเจนอิออนจำนวนมาก ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนทำให้ปฏิกิริยาสร้างมีเทนเสียสมดุล ซึ่งจะสามารถทำการสร้างมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงค่า พีเอชเท่ากับ 6.5 - 7.5 จึงทำให้ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถสร้างมีเทนได้ในปริมาณที่มากและมีประสิทธิภาพดีกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์



รูปที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ และร้อยละของก๊าซมีเทนเทียบกับเวลาเก็บกักน้ำเสีย

หมายเหตุ : * ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ถังเก็บก๊าซไม่รวมในส่วนที่ละลายออกในน้ำทิ้ง

ผลการทดลองเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพของทั้งสองถังปฏิกิริยาหลังจากที่มีการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบที่สภาวะคงที่ ดังตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.6 พบว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซ ชีวภาพ 19.0-44.5 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเก็บกักมีค่าลดลง อันเนื่องมาจากการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ประกอบกับการที่น้ำเสียผลิตภัณฑ์นมมีไลปิดเป็นองค์ประกอบจึงส่งผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนที่เวลาเก็บกักสั้นเช่นกัน ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีค่าร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 23.6-53.7 แต่ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอนเนื่องจากที่เวลาเก็บกักน้ำ 8 ชั่วโมง มีค่าร้อยละของก๊าซมีเทนสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่ยังคงทำงานได้อย่างดี และสอดคล้องกันของแบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทน แต่จะเสื่อมประสิทธิภาพลงอย่างเห็นได้ชัด ในการทดลองสุดท้ายที่เวลาเก็บกัก 6 ชั่วโมง โดยสังเกตได้จากกรดระเหยง่ายของน้ำออกมีค่าสูงกว่าของน้ำเสียเข้าและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังปฏิกิริยามีค่าลดลงจากการทดลองที่ 4

ตารางที่ 4.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่ผลิตได้จากระบบของการทดลองภายใต้สภาวะสร้างกรด

รายการ/พารามิเตอร์	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
เวลาเก็บกักน้ำ, ชม.	24	24	12	12	8	8	6	6
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์, กก. ซีโอดี/(ลบ. ม.-วัน)	1.59	1.59	2.64	2.64	4.43	4.43	6.10	6.10
ก๊าซชีวภาพที่วัดได้, มล./วัน	91	73	132	157	123	282	93	121
อุณหภูมิเฉลี่ย, °ซ.	28.4	28.3	27.7	27.8	28.4	28.4	28.4	28.6
% มีเทนในก๊าซชีวภาพ	44.5	44.6	39.5	49.3	31.3	53.7	19.0	23.6
ก๊าซมีเทนที่วัดได้ที่ 30°ซ., มล./วัน	40	33	52	77	38	151	18	29
ก๊าซมีเทนที่ละลายน้ำทิ้ง, มล./วัน	42	42	72	90	90	153	72	84
ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ 30°ซ., ลิตร./วัน	0.082	0.075	0.124	0.167	0.128	0.304	0.090	0.113

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 2 - 5

การทดลองที่	2		3		4		5	
เวลาเก็บกักน้ำ, ชม.	24		12		8		6	
ถังปฏิกิริยา	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
CH_4 , ร้อยละ	44.5	44.6	39.5	49.3	31.3	53.7	19.0	23.6
N_2 , ร้อยละ	43.3	44.9	50.3	46.3	59.4	40.3	72.0	68.5
CO_2 , ร้อยละ	7.1	0.2	7.0	0.7	4.3	1.5	4.9	0.2

ค) ผลของเวลาเก็บกักน้ำต่อประสิทธิภาพการสร้างกรดและการสร้างมีเทน

หลังจากที่ได้ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบในช่วงการทดลองที่ 2 - 5 พบว่าในทุกการทดลอง ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำออกสูงกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีซึ่งในการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำออกต่ำกว่าน้ำเข้า สาเหตุอาจเนื่องมาจาก การถูกนำไปใช้ในการสร้างมีเทน เพราะการปรับพีเอชน้ำเสียเข้าก่อให้เกิดผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยายูเอเอสบีน้อยกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ โดยสังเกตได้จากค่าพีเอชน้ำออกของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ซึ่งมีเสถียรภาพมากกว่า ซึ่งในการทดลองที่ 3, 4 และ 5 นั้น ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถให้ปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากกว่า และร้อยละของมีเทนที่สูงกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ แต่ร้อยละการสร้างกรดคืออัตราส่วนของค่าซีโอดีจากกรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดเทียบกับค่าซีโอดีที่เป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างกรดในน้ำเสียเข้า โดยที่กรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดก็คือ ผลต่างของกรดระเหยง่ายในน้ำออกกับน้ำเสียเข้ารวมกับกรดระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปในการสร้างมีเทนโดยคิดเทียบเป็นค่าซีโอดี ดังนั้นจากผลการทดลองซึ่งเก็บก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่ต่ำ ค่าร้อยละการสร้างกรดที่ได้ส่วนใหญ่จึงมาจากผลต่างของกรดระเหยง่ายในน้ำออกกับน้ำเสียเข้า ส่วนร้อยละการสร้างมีเทนได้จากอัตราส่วนของปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้คิดเทียบเป็นค่าซีโอดีกับค่าซีโอดีรวมของน้ำเสียเข้า ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7 และจากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสร้างกรดกับเวลาเก็บกักน้ำเสีย พบว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีร้อยละการสร้างกรดสูงกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีในทุกการทดลองและมีแนวโน้มสูงขึ้นผกผันกับเวลาเก็บกักน้ำเสียที่สั้นลง โดยมีค่าสูงสุดที่เวลาเก็บกัก 6 ชม. เนื่องจากการที่ค่าพีเอชในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ที่สภาวะคงที่อยู่ในช่วงค่า 5.90 - 6.23 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด จึงสามารถทำการสร้างกรดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีที่มีค่าพีเอชน้ำออกอยู่ในช่วง 6.32 - 6.92 ซึ่งจากผลการทดลองของร้อยละการสร้างกรดที่ได้พบว่ามีค่า

ตารางที่ 4.7 ร้อยละการสร้างกรดและการสร้างมีเทน

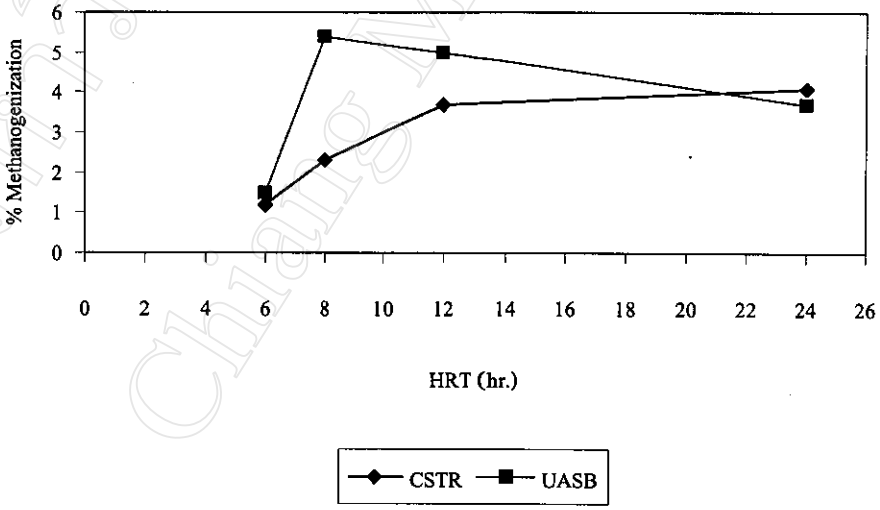
การทดลองที่	2		3		4		5	
เวลาเก็บกักน้ำ, ชม.	24		12		8		6	
ถังปฏิกิริยา	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
VFA น้ำเสียเข้า, มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก	140	140	98	98	114	114	104	104
VFA น้ำออก, มก./ล. เทียบกับกรดอะซิติก	152	62	168	78	307	126	364	158
COD_{VFA} น้ำเสียเข้า, มก./ล.*	149.2	149.2	104.5	104.5	121.5	121.5	110.9	110.9
COD_{VFA} น้ำออก, มก./ล.*	162.0	66.1	179.1	83.1	327.2	134.3	388.0	168.4
ΔCOD_{VFA} ในน้ำออกและน้ำเข้า, มก./ล.	12.8	-83.1	74.6	-21.4	205.7	12.8	277.2	57.5
COD_{CH4} ที่เกิดขึ้น, มก./ล.	65.0	59.5	49.2	66.2	33.8	80.4	17.8	22.4
COD_{acid} ที่เกิดขึ้น, มก./ล.	77.8	-	123.8	44.8	239.5	93.2	295.0	79.9
$COD_{non-VFA}$ น้ำเสียเข้า, มก./ล.	1441	1441	1216	1216	1355	1355	1415	1415
TCOD น้ำเสียเข้า, มก./ล.	1590	1590	1320	1320	1476	1476	1526	1526
ร้อยละการสร้างกรด	5.4	**	10.2	3.7	17.7	6.9	20.8	5.6
ร้อยละการสร้างมีเทน	4.1	3.7	3.7	5.0	2.3	5.4	1.2	1.5

หมายเหตุ - * COD_{VFA} = VFA x 1.066 (Georgia, D. et al., 1988)

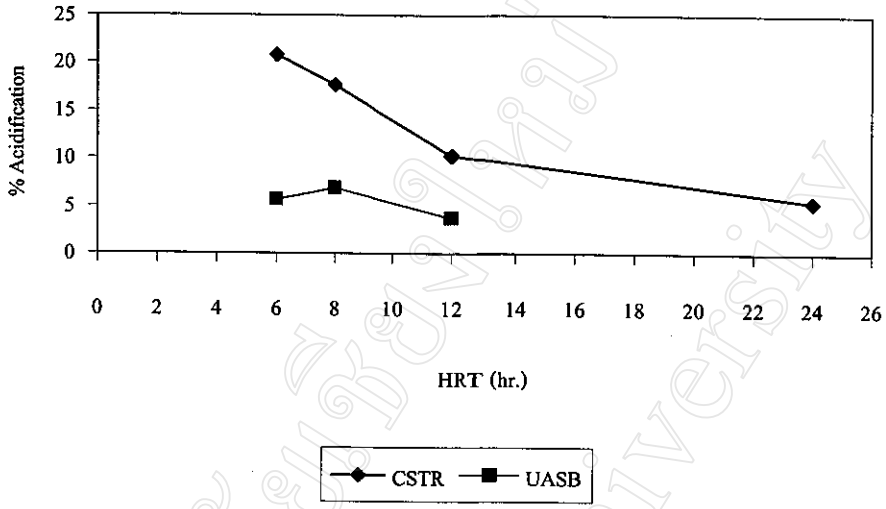
- ** โดยสมดุลของมวล ไม่เกิดการสร้างกรดเพิ่ม

- วิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

ต่ำกว่าของ Alexiou, I.E. et al. (1994) ที่ทำได้ร้อยละ 50 ในเวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชั่วโมง ค่าพีเอชเท่ากับ 6.0 และ ร้อยละ 40 ที่เวลาเก็บกักน้ำเสีย 6 ชั่วโมง ค่าพีเอชเดียวกัน ส่วนของ Ince, O. (1998) สามารถสร้างกรดได้ถึงร้อยละ 61 เวลาเก็บกักน้ำเสีย 12 ชั่วโมง ซึ่งควบคุมพีเอช 5.5 - 6.0 โดยของทั้งสองการวิจัยที่กล่าวถึงนี้ร้อยละของการสร้างกรดหาได้จากอัตราส่วนของค่าซีโอดีของกรดระเหยง่ายในน้ำออกต่อค่าซีโอดีกรองของน้ำเสียเข้า โดยถือว่าค่าซีโอดีของกรดระเหยง่ายในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเป็นศูนย์ และในทางกลับกันนั้น ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการสร้างมีเทนมากกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ ที่ถูกยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยค่าพีเอชในถังปฏิกิริยาที่ต่ำ จึงทำให้ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถทำการสร้างมีเทนได้มากกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ ยกเว้นในการทดลองที่ 2 แต่โดยภาพรวมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสร้างมีเทนกับเวลาเก็บกักน้ำเสีย จะเห็นได้ว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์จะมีค่าร้อยละการสร้างมีเทนต่ำลงตามเวลาเก็บกักที่สั้นลง ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีแนวโน้มสูงขึ้นตามเวลาเก็บกักที่สั้นลง แต่จะมีค่าต่ำลงเมื่อเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 6 ชม. และมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาเก็บกักน้ำเสียเท่ากับ 8 ชม.



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสร้างกรดกับเวลาเก็บกักน้ำเสีย



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสร้างมีเทนกับเวลาเก็บกักน้ำเสีย

ง) สมดุลมวลค่าซีโอดีของระบบ

การศึกษาในเรื่องของสมดุลของมวลซีโอดี (COD Mass Balance) ศึกษาได้จากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยอธิบายได้ว่า เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ปริมาณสารอินทรีย์ที่วัดค่าได้ในรูปของซีโอดีจะถูกแยกออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกจะเปลี่ยนรูปไปเป็นมวลชีวภาพ (Biomass) ส่วนที่สองจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ส่วนที่เหลือจะยังคงสภาพและอยู่ในน้ำที่ออกจากระบบ (Effluent) สมการสมดุลค่าซีโอดีสามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$\text{Inf. COD}_{\text{non-VFA}} + \text{Inf. COD}_{\text{VFA}} = \text{Eff. COD}_{\text{non-VFA}} + \text{Eff. COD}_{\text{VFA}} + \text{COD}_{\text{CH4}} + \text{COD}_{\text{other}} \quad (22)$$

เมื่อ $\text{Inf. COD}_{\text{non-VFA}}$ = ปริมาณซีโอดีที่ปราศจากกรดระเหยง่ายในน้ำเสียเข้า (กรัมซีโอดี)

$\text{Inf. COD}_{\text{VFA}}$ = ปริมาณซีโอดีกรดระเหยง่ายในน้ำเสียเข้า (กรัมซีโอดี)

$\text{Eff. COD}_{\text{non-VFA}}$ = ปริมาณซีโอดีที่ปราศจากกรดระเหยง่ายในน้ำออก (กรัมซีโอดี)

$\text{Eff. COD}_{\text{VFA}}$ = ปริมาณซีโอดีกรดระเหยง่ายในน้ำออก (กรัมซีโอดี)

COD_{CH4} = ปริมาณซีโอดีที่เปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทน (กรัมซีโอดี)

$\text{COD}_{\text{other}}$ = ปริมาณซีโอดีที่เปลี่ยนรูปเป็นมวลชีวภาพและอื่น ๆ (กรัมซีโอดี)

ตารางที่ 4.8 แสดงสมดุลของมวลซีโอดีและการสะสมตัวของตะกอนต่อวัน ของการทดลองที่ 1 – 5 ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์และยูเอเอสบีที่สภาวะคงที่ พบว่าปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเข้าส่วนใหญ่เป็นซีโอดีที่ปราศจากกรดระเหยง่าย โดยค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 1 - 5 คิดเป็นช่วงร้อยละ 78.3 - 92.7 ของปริมาณซีโอดีในน้ำเสียเข้า และเมื่อน้ำเสียผ่านถังปฏิกิริยาแล้วพบว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์สามารถให้ปริมาณซีโอดีกรดระเหยง่ายในน้ำออกได้มากกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีในทุกการทดลอง แต่ในทางกลับกัน ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีสามารถเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทนได้ดีกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ เนื่องจากมีการสะสมซีโอดีในรูปของมวลชีวภาพได้มากกว่าจึงมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนมากกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์

การสะสมตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเวลาเก็บกักน้ำเสียสั้นลง แต่มีค่าต่ำกว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบีซึ่งมีลักษณะการสะสมตะกอนจุลินทรีย์ที่คล้ายกันคือจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเวลาเก็บกักน้ำเสียสั้นลง แต่มี GSS เพื่อทำหน้าที่เก็บกักตะกอนไว้ไม่ให้ปนออกไปกับน้ำออก ส่วนถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ซึ่งไม่มีส่วนตกตะกอนก็จะทำการชะล้างพาตะกอนออกไปนอกถังปฏิกิริยาอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้มีการสะสมตะกอนน้อยกว่า

จากรูปที่ 4.16 แสดงไดอะแกรมสมดุลมวลของการสร้างกรดซึ่งสามารถทำการคำนวณสมดุลมวลภายใต้สมมุติฐานดังนี้ และได้ผลตามตารางที่ 4.9

- การลด VSS ของระบบเท่ากับการลดค่า $COD_{non\text{-}VFA}$
- ไม่มีเซลล์แบคทีเรียปนมากับน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

ซึ่งแสดงถึงสมดุลมวลของการสร้างกรดในการทดลองที่ 2 - 5 ของถังปฏิกิริยาทั้งสองแบบ พบว่า VSS (X_2) ที่ได้ของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์อยู่ในช่วง 160 - 243 มก./ล. ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีอยู่ในช่วง 118 - 232 มก./ล. ซึ่งแนวโน้มมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเก็บกักน้ำสั้นลง และแตกต่างกับค่า VSS จริงของน้ำออกโดยเฉพาะอย่างยิ่งถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 25 - 99 มก./ล. และช่วงค่า 118 - 163 มก./ล. สำหรับถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ดังนั้นการคำนวณเซลล์แบคทีเรีย (X_3) ตามไดอะแกรมสมดุลมวลของการสร้างกรด จึงได้ว่า ถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีเซลล์แบคทีเรียอยู่ในช่วงค่า 6 - 102 มก./ล. ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบี มีช่วงค่าเท่ากับ 30 - 67 มก./ล. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันในทุกการทดลอง

จ) การสร้างและสะสมของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในถังปฏิกิริยา

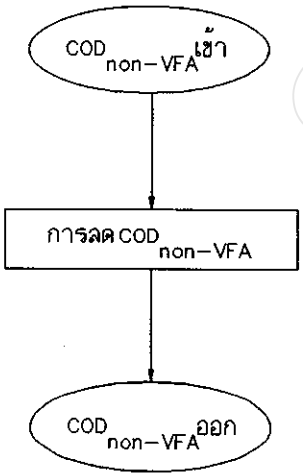
การสร้างและสะสมตะกอนของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (จุลินทรีย์และ VSS ในน้ำเข้าที่ย่อยสลายไม่หมดสิ้น) ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์สามารถสังเกตได้จากปริมาณตะกอนของน้ำที่ออกจากถังปฏิกิริยา เนื่องจากการกวนผสมที่ดีและการที่ไม่มีโซนตกตะกอนของถังปฏิกิริยา จึงทำ

ตารางที่ 4.8 สมดุลของมวลซีโอดีและการสะสมตัวของตะกอนต่อวัน

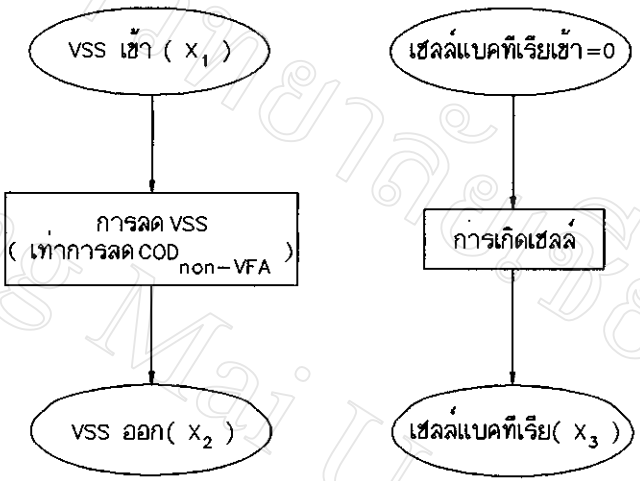
รายการ/พารามิเตอร์	การทดลองที่									
	1		2		3		4		5	
	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
เวลาเก็บกัก, ชม.	24	24	24	24	12	12	8	8	6	6
TCOD น้ำเสียเข้า, กรัมซีโอดี/วัน	3.77	3.77	4.77	4.77	7.92	7.92	13.28	13.28	18.31	18.31
TCOD น้ำออก, กรัมซีโอดี/วัน	1.80	0.99	2.70	1.83	6.06	3.49	10.73	7.00	15.02	11.90
FCOD น้ำออก, กรัมซีโอดี/วัน	1.28	0.65	1.25	0.79	2.69	1.45	4.55	2.89	6.54	5.21
$COD_{suspended}$, กรัมซีโอดี/วัน	0.52	0.34	1.45	1.04	3.37	2.04	6.18	4.11	8.48	6.69
$TCOD_{removed}$, กรัมซีโอดี/วัน	1.97	2.78	2.07	2.94	1.86	4.43	2.55	6.28	3.29	6.41
COD_{VFA} น้ำเสียเข้า, กรัมซีโอดี/วัน	0.82	0.82	0.45	0.45	0.63	0.63	1.09	1.09	1.33	1.33
$COD_{non\text{-}VFA}$ น้ำเสียเข้า, กรัมซีโอดี/วัน	2.95	2.95	4.32	4.32	7.29	7.29	12.19	12.19	16.98	16.98
COD_{VFA} น้ำออก, กรัมซีโอดี/วัน	0.48	0.27	0.49	0.20	1.07	0.50	2.95	1.21	4.66	2.02
$COD_{non\text{-}VFA}$ น้ำออก, กรัมซีโอดี/วัน	1.32	0.72	2.21	1.63	4.99	2.99	7.78	5.79	10.36	9.88
การบำบัด $COD_{non\text{-}VFA}$, %	55.3	75.6	48.8	62.2	31.7	59.0	36.1	52.4	38.9	41.8
COD_{CH4}, กรัมซีโอดี/วัน	0.25	0.33	0.20	0.18	0.30	0.40	0.30	0.72	0.21	0.27
COD_{other}, กรัมซีโอดี/วัน	1.72	2.45	1.87	2.76	1.56	4.03	2.25	5.56	3.08	6.14

หมายเหตุ : ตัวแปรในตารางที่ 4.8 คำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

- $COD_{non\text{-}VFA}$ = TCOD - COD_{VFA}
- $COD_{suspended}$ = TCOD น้ำออก - FCOD น้ำออก
- $TCOD_{removed}$ = TCOD น้ำเสียเข้า - TCOD น้ำออก
- COD_{other} = $TCOD_{removed}$ - COD_{CH4}
- COD_{CH4} = CH_4/CF (ภาคผนวก ข.)



ก. COD



ข. VSS

หมายเหตุ : VSS น้ำออก = $X_2 + X_3$

รูปที่ 4.16 ไดอะแกรมสมดุลมวลของการสร้างกรด

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 4.9 สรุปสมดุลมวลของการสร้างกรด

การทดลองที่	น้ำเสียเข้า			น้ำเสียออก						การลด				เซลล์แบคทีเรีย (X_3) (มก./ล.)	
	SS (มก./ล.)	VSS (X_1) (มก./ล.)	Fixed Solids (มก./ล.)	SS (มก./ล.)		VSS (มก./ล.)		Fixed Solid (มก./ล.)		$\%COD_{non\text{-}VFA}$ Removal		VSS (X_2) (มก./ล.)			
				CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
2	326	313	13	258	160	245	150	13	10	48.8	62.2	160	118	85	32
3	341	332	9	246	203	233	189	13	14	31.7	59.0	227	136	6	53
4	368	353	15	347	254	328	235	19	19	36.1	52.4	226	168	102	67
5	408	398	10	360	281	341	262	19	19	38.9	41.8	243	232	98	30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ให้ลักษณะ SS และ VSS ของน้ำออก มีค่าเท่ากับในถังปฏิกิริยาซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ SS ที่สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 1 - 5 เท่ากับ 170, 258, 246, 347 และ 360 มก./ล. ตามลำดับ ตะกอนที่ปนออกมากับน้ำออกมีสีขาวค่อนข้างเหลือง ลักษณะเหมือนไขฝ้านม ส่วน VSS ที่สภาวะคงที่ของการทดลองที่ 1 - 5 เท่ากับ 159, 245, 233, 328 และ 341 มก./ล. ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีการสะสมตะกอนของแข็งแขวนลอยระเหยได้เพิ่มขึ้นแปรผกผันกับระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่สั้นลง ถึงแม้ว่าค่า SS และ VSS ของการทดลองที่ 2 และ 3 จะมีค่าแตกต่างกันแต่ก็ไม่มากเท่าใดนัก โดยมีค่าสูงสุดที่เวลาเก็บกักน้ำ 6 ชม.

ตารางที่ 4.10 มวลของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในถังปฏิกิริยา

การทดลองที่	1		2		3		4		5	
ถังปฏิกิริยา	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB	CSTR	UASB
มวลของแข็งแขวนลอยระเหยได้, กรัม VSS	0.477	6.381	0.735	4.059	0.699	5.592	0.984	15.243	1.023	11.622
ความหนาแน่นมวล, กรัม VSS/$ม^3$	159	2127	245	1353	233	1864	328	5081	341	3874
อัตราส่วน VSS:SS	0.94	0.93	0.95	0.92	0.95	0.92	0.95	0.95	0.95	0.93

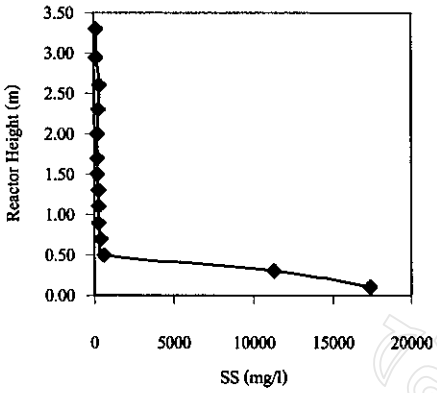
จากตารางที่ 4.10 พบว่ามวลของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับถังปฏิกิริยายูเอเอสบี โดยคิดเป็นอัตราส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยได้ของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ต่อยูเอเอสบี ได้ช่วงร้อยละ 6.5 – 18.1 ของทุกการทดลอง ซึ่งถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีอัตราส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยได้ต่อของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 0.94 – 0.95 ส่วนถังปฏิกิริยายูเอเอสบีอยู่ในช่วง 0.92 – 0.95 โดยทั้งสองถังปฏิกิริยามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เนื่องจากถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมี GSS ซึ่งทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ยังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งปนมากับน้ำออกถังปฏิกิริยาให้ตกตะกอนกลับลงมาในถังปฏิกิริยาดังเดิมได้ ส่วนถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ไม่มีส่วนตกตะกอนในถังปฏิกิริยาจึงทำให้มวลของแข็งแขวนลอยระเหยได้มีค่าต่ำมาก ส่งผลทำให้ถังปฏิกิริยายูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการสร้างมีเทนและลดค่าซีโอดีได้ดีกว่าถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์

จากการเก็บตัวอย่างตะกอนในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ที่ความสูงต่าง ๆ เพื่อหาค่า SS และ VSS เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละครั้ง จำนวนครั้งละ 13 ตัวอย่าง ตามลำดับความสูงของถังปฏิกิริยา พบว่าตะกอนของแข็งแขวนลอยระเหยได้สามารถตกตะกอนทับถมกันอยู่ที่ก้นถังปฏิกิริยา

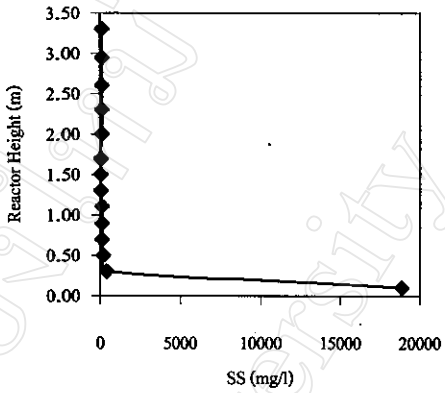
ได้ดี เนื่องจาก ป้อนน้ำเสียให้แก่ระบบในปริมาณที่ต่ำ ทำให้ค่า ULV มีค่าค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ชั้นตะกอนส่วนใหญ่ทับถมกันอยู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยามากกว่าที่จะขยายตัวขึ้นตามความสูงของถังปฏิกิริยา ตะกอนที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนเม็ดมีสีขาวขนาดประมาณ 1 มม. ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า SS และ VSS ได้แสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ

ในการทดลองแรกที่เวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชม. และไม่มีการปรับพีเอชน้ำเข้า ทำให้ตะกอน จุลินทรีย์ในระบบมีทั้งแบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทน พบว่า ชั้นตะกอนล่างมีระดับความสูงไม่เกิน 0.50 ม. อัดตัวเป็นชั้นอยู่ที่ก้นถังปฏิกิริยา เนื่องจากค่า ULV เท่ากับ 0.14 ม./ชม. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของกิตติ ธีรสรเดช (2538) ที่เวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชม. ULV เท่ากับ 0.12 ม./ชม. ซึ่งชั้นตะกอนจุลินทรีย์มีความสูงประมาณ 0.6 ม. จากด้านล่างของถังปฏิกิริยา ส่วนในการทดลองต่อมาที่เวลาเก็บกักเดิม แต่มีการปรับพีเอชน้ำเสียเข้า เพื่อให้แบคทีเรียในระบบทำงานที่พีเอชเท่ากับ 6 พบว่า ชั้นตะกอนล่างของถังปฏิกิริยามีระดับความสูงไม่เกิน 0.30 ม. ซึ่ง ต่ำกว่าการทดลองแรกที่มีค่า ULV เท่ากัน สาเหตุอาจเนื่องมาจากการที่มีการปรับพีเอชให้แก่ระบบ ทำให้เกิดการก่อกวนและส่งผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ระบบจึงเริ่มสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยการถูกชะล้างออกไปนอกระบบ ตะกอนที่เหลือส่วนใหญ่คงเป็นแต่แบคทีเรียสร้างกรด

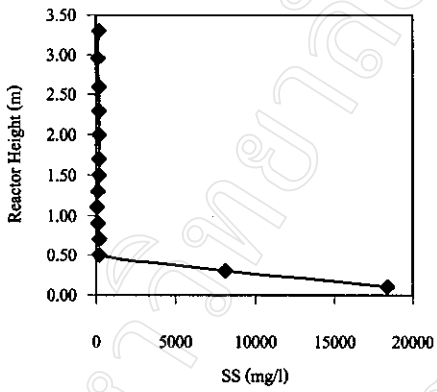
การทดลองที่ 3, 4 และ 5 การขยายตัวของชั้นตะกอนมีแนวโน้มในทางที่ดีขึ้นตามค่า ULV ที่เพิ่มขึ้นเป็น 0.28, 0.41 และ 0.55 ม./ชม. ตามลำดับ ผนวกกับการที่ระบบสามารถปรับตัวเข้ากับการที่ถูกรบกวนจากการปรับพีเอชน้ำเสียเข้าเป็นไปในทางที่ดีขึ้นเป็นลำดับ ทำให้มีการสะสมตะกอนจุลินทรีย์และการสร้างเซลล์ที่เพิ่มขึ้นในการทดลองต่อ ๆ มา ในขณะเดียวกัน เมื่อ ULV มีค่าสูงขึ้น ทำให้มีการยกตัวของชั้นตะกอนขยายขึ้น แต่ถ้าค่า ULV มีค่ามากเกินไปจะทำให้ชั้นตะกอนฟุ้งกระจาย เนื่องจากการตกตะกอนของจุลินทรีย์ที่อาศัยแรงโน้มถ่วงมีค่าน้อยกว่าแรงลอยตัว ค่า ULV ที่สูงเกินไปจะทำให้ระบบสูญเสียตะกอนชะล้างออกไปนอกถังปฏิกิริยามาก ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ค่า ULV ที่เหมาะสมต่อระบบ ผลการทดลองดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของค่า SS และ VSS ตามความสูงของถังปฏิกิริยาที่เวลาเก็บกักน้ำเสียต่าง ๆ ตามลำดับ ซึ่งระหว่างการทดลองไม่ได้มีการระบายตะกอนออก โดยเฉพาะตะกอนที่เกิดในระบบถูกระบายออกเป็นครั้งคราวระหว่างเก็บตัวอย่างประมาณ 260 มล./การทดลอง และระบายออกกับน้ำทิ้ง



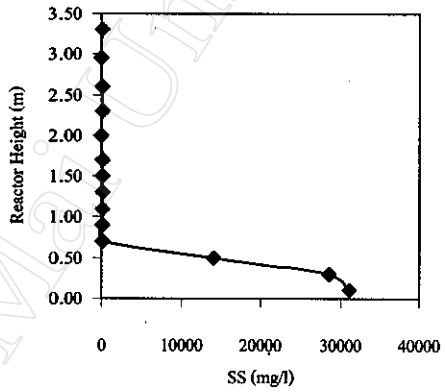
ก) การทดลองที่ 1 (เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม. ไม่ปรับพีเอชน้ำเข้า)



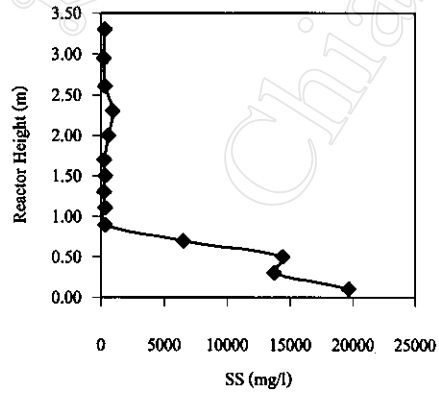
ข) การทดลองที่ 2 (เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม.)



ค) การทดลองที่ 3 (เวลาเก็บกักน้ำ 12 ชม.)

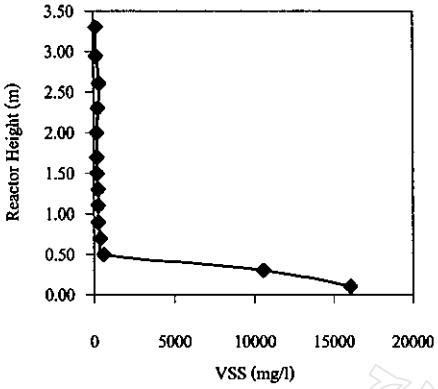


ง) การทดลองที่ 4 (เวลาเก็บกักน้ำ 8 ชม.)

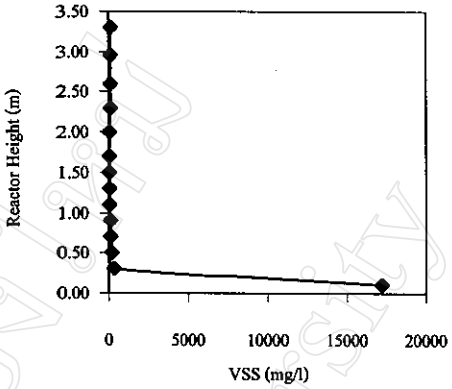


จ) การทดลองที่ 5 (เวลาเก็บกักน้ำ 6 ชม.)

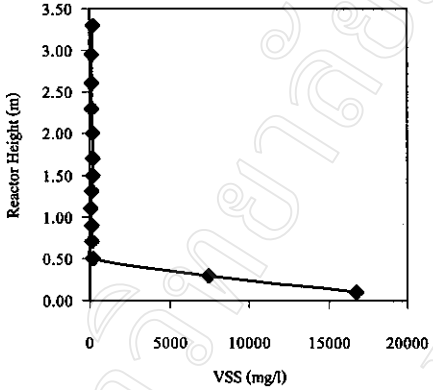
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น SS ตามความสูงของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ที่การทดลองต่าง ๆ



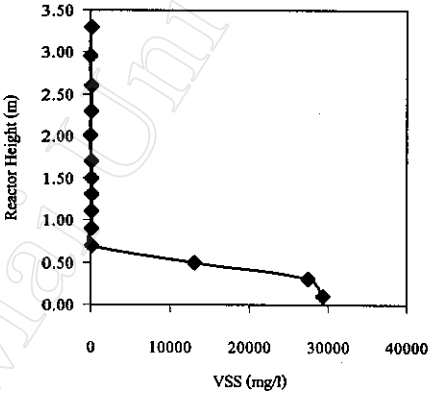
ก) การทดลองที่ 1 (เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม. ไม่ปรับพีเอชน้ำเข้า)



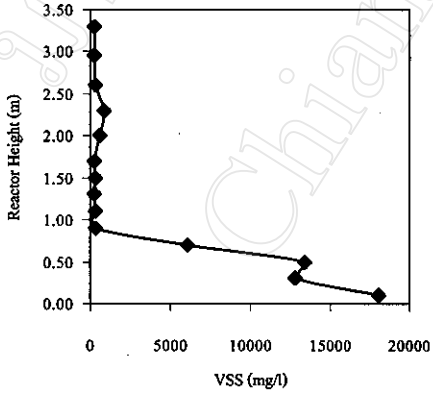
ข) การทดลองที่ 2 (เวลาเก็บกักน้ำ 24 ชม.)



ค) การทดลองที่ 3 (เวลาเก็บกักน้ำ 12 ชม.)



ง) การทดลองที่ 4 (เวลาเก็บกักน้ำ 8 ชม.)



จ) การทดลองที่ 5 (เวลาเก็บกักน้ำ 6 ชม.)

รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น VSS ตามความสูงของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ที่การทดลองต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ฉ) จลน์ศาสตร์ของแบคทีเรียสร้างกรดในถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์

การหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ของแบคทีเรียสร้างกรดกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบซีเอสทีอาร์ คือการหาค่า Y, k_d, k, K_s และ μ_m สามารถหาได้โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ บำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ภายใต้อุณหภูมิและบรรยากาศของห้องปฏิบัติการ โดยตั้งสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเป็นไปตามสมการของ Monod

2) ระบบมีลักษณะทางชลศาสตร์เป็นแบบกวนผสมโดยสมบูรณ์ตลอดทั่วทั้งถังปฏิกิริยา มวลแบคทีเรียในถังปฏิกิริยา (X_3) มีค่าเท่ากับในน้ำทิ้ง

3) สารอาหารของแบคทีเรียสร้างกรดคือ $COD_{non\text{-}VFA}$ (ผลต่างของซีโอดีรวมกับซีโอดีของกรดระเหยง่ายในน้ำเสีย)

4) น้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบมวลของแบคทีเรียชนิดสร้างกรด (X_0) = 0 คือมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลแบคทีเรีย (X_3) ที่อยู่ในถังปฏิกิริยา เนื่องจากมวลแบคทีเรียสร้างกรด (X_3) ตรวจวัดพบในรูป VSS และไม่อาจวัดจาก VSS ในน้ำเข้าที่ไม่ถูกย่อยสลายได้จึงตั้งสมมุติฐานว่ามวลแบคทีเรียมีค่าเป็นสัดส่วนกับการย่อยสลายสารอาหารดังกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2.2 (ง)

5) ค่ามวลแบคทีเรียสร้างกรด (X_3) เท่ากับ ค่า VSS ของน้ำออกหักด้วยผลคูณของค่าการลด VSS (เท่ากับการลด $COD_{non\text{-}VFA}$) กับค่า VSS ในน้ำเสียเข้า (X_2)

6) ค่าอายุของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา (SRT, θc) เท่ากับระยะเวลาเก็บกับน้ำเสีย (HRT, θ)

7) ค่าพีเอชที่สภาวะคงที่ของถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์มีความเหมาะสมต่อการสร้างกรด

สมการที่ใช้หาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์แบบซีเอสทีอาร์ ได้จากสมการ (13) และ (16) โดยจัดรูปใหม่ได้เป็นสมการ (23) และ (24) ตามลำดับ

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k}\frac{1}{S} + \frac{1}{k} \qquad (23)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y\frac{(S_0 - S)}{X\theta} - k_d \qquad (24)$$

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้คำนวณหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ ซึ่งเป็นไปตามข้อสมมุติฐานที่ถูกตั้งขึ้น ผลการคำนวณจากสมการ (23) และ (24) แสดงในตารางที่ 4.12

และ 4.13 ส่วนค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์สามารถหาได้จากกราฟในรูปที่ 4.19 และ 4.20 กับตาราง 4.11, 4.12 และ 4.13

จากสมการ (23) และกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.19 จะได้ว่าค่าความชันของสมการเท่ากับอัตราส่วนของ K_S/k จุดตัดแกน y ของกราฟจะเท่ากับ 1/k ซึ่งจากกราฟพบว่าเส้นกราฟจะตัดแกน x ก่อนที่จะไปตัดแกน y ในค่าที่เป็นลบ ซึ่งขัดกับความเป็นจริง เพราะอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยจุลินทรีย์ไม่มีความเป็นไปได้ที่จะมีค่าติดลบ จึงทำให้ไม่สามารถหาค่า k และ K_S ได้จากการทดลองนี้ ส่วนค่า Y และ k_d ซึ่งหาจากการใช้เส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.21 โดยที่ค่าความชันของกราฟเท่ากับค่า Y และจุดตัดแกน y จะเท่ากับ $-k_d$ พบว่าค่า Y มีค่าเท่ากับ 0.206 และค่า k_d มีค่าเท่ากับ 0.44 ต่อวัน ส่วนค่า μ_m ซึ่งเท่ากับผลคูณของค่า k กับ Y ก็ไม่สามารถหาได้เช่นกัน ผลการหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์นี้ คล้ายกันกับการวิจัยของ Georgia, D. et al. (1988) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับจลน์ศาสตร์ของแบคทีเรียสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน (Complex Wastewater) โดยใช้น้ำเสีย Meat Extract Powder ป้อนให้กับถังปฏิกิริยาซีเอสทีอาร์ จากผลการวิจัยพบว่าการใช้พื้นฐานสมการของ Monod กับการทดลองนี้ล้มเหลวไม่สามารถหาค่าของ μ_m และ K_S ได้ เนื่องจากความชันกราฟที่คาดว่าเป็นค่าบวกกลับตรงกันข้าม ได้เป็นค่าลบ ส่วนจุดตัดแกน y ไกลจากความเป็นจริงมาก จึงทำให้ค่า μ_m มีค่าต่ำมากและค่า K_S มีค่าติดลบ

สาเหตุหลักที่ไม่อาจหาค่าคงที่ได้เนื่องมาจากข้อจำกัดของสมมุติฐานข้อที่ 5) ที่เกี่ยวกับการหามวลแบคทีเรียสร้างกรด ค่าคงที่ Y และ k_d ที่ได้นี้จึงขึ้นกับสมมุติฐานข้อที่ 5) ว่าเป็นจริงและประกอบกับการที่มวลแบคทีเรียสร้างกรดมีค่าไม่แน่นอน ดังนั้นสมมุติฐานของการลดค่า VSS ในน้ำเสียเข้า เท่ากับการลดค่า $COD_{non\text{-}VFA}$ อาจไม่ถูกต้องในทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับคำนวณหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์

θ (ชม.)	Inf. TCOD (มก./ล.)	Inf. COD_{VFA} (มก./ล.)	Inf. $COD_{non\text{-}VFA}$, S_O (มก./ล.)	Eff. TCOD (มก./ล.)	Eff. COD_{VFA} (มก./ล.)	Eff. $COD_{non\text{-}VFA}$, S (มก./ล.)	% $COD_{non\text{-}VFA}$ removal	Eff. VSS (มก./ล.)	X_3 (มก./ล.)
24	1590	149	1441	899	162	737	48.8	245	85
12	1320	104	1216	1010	179	831	31.7	233	6
8	1476	122	1354	1192	327	865	36.1	328	102
6	1526	111	1415	1252	338	864	38.9	341	98

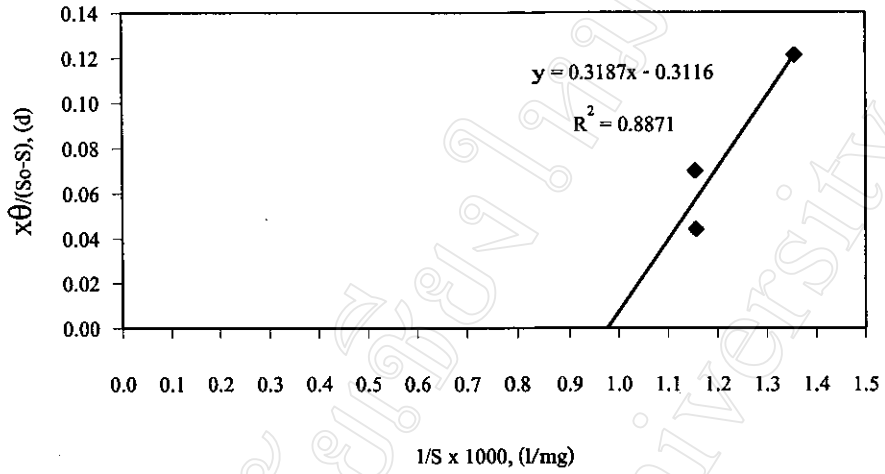
ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ (K_S, k)

θ (ชม.)	$S_o - S$ (มก./ล.)	$X\theta$ (วัน – มก./ล.)	$X\theta / (S_o - S)$ (วัน)	$1 / S \times 10^3$ (ล./มก.)
24	704	85	0.121	1.357
12	385	3	0.008	1.203
8	489	34	0.070	1.156
6	551	24.5	0.044	1.157

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ (Y, k_d)

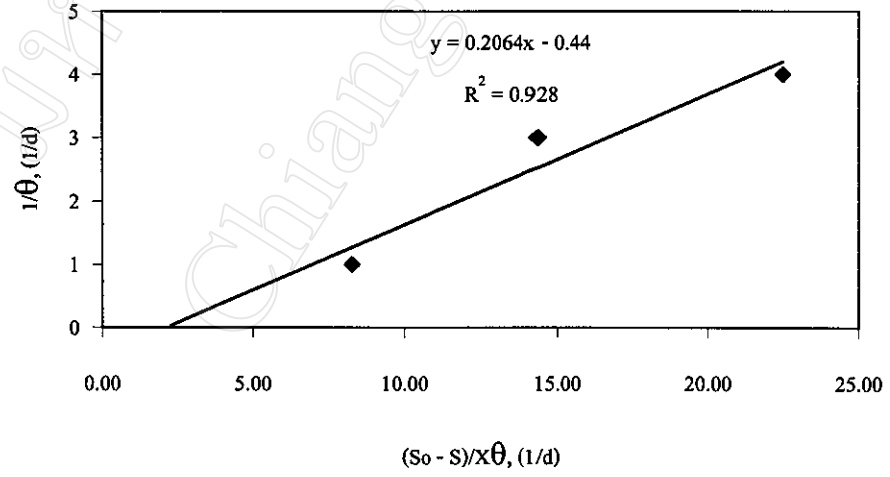
θ (ชม.)	$1 / \theta$ (วัน $^{-1}$)	$(S_o - S) / X\theta$ (วัน $^{-1}$)
24	1	8.28
12	2	128.3
8	3	14.38
6	4	22.49

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูปที่ 4.19 ผลการหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ K_s และ k

หมายเหตุ : ข้อมูลของการทดลองที่ 3 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากไม่สอดคล้องกับการทดลองอื่น



รูปที่ 4.20 ผลการหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ Y และ k_d

หมายเหตุ : ข้อมูลของการทดลองที่ 3 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากไม่สอดคล้องกับการทดลองอื่น