

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 การเริ่มต้นระบบ

เชื้อดัดแปลงที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบในการศึกษานี้เป็นตะกอนจากถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ตะกอนมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำขนาดประมาณ 1-2 มม. โดยมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดประมาณ 97,000 มก./ล. ซึ่งเป็นของแข็งแขวนลอยระเหยอยู่ร้อยละ 73 ทำการใส่ตะกอนดังกล่าวลงไปในถังปฏิกรณ์ทั้งสองถังถึงประมาณ 4 ล. (ประมาณหนึ่งในเจ็ดของปริมาตรถัง) คิดเป็นปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยต่อปริมาตรถังเท่ากับ 10.6 กก./ม³

หลังเติมเชื้อดัดแปลงแล้วจึงทำการปั้มน้ำเสียที่ทำการปรับพีเอชแล้วเข้าสู่ถังทางด้านล่างด้วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ต่ำก่อน เนื่องจากไม่ทราบสมรรถนะในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่นำมา ในวันนี้ได้ลองเริ่มที่เวลาเก็บกักน้ำ 48 ชม. เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียใหม่และเป็นการไล่อากาศที่ค้างอยู่ในระบบ พบว่าระบบสามารถผลิตก๊าซได้อย่างต่อเนื่องจึงเริ่มเข้าสู่การทดลองในวันที่ 7 หลังจากเติมเชื้อดัดแปลง โดยที่ใช้เวลาเก็บกัก 25.7 และ 19.2 ชม. สำหรับถัง R1 และ R2 ตามลำดับ แต่ละการทดลองจะสิ้นสุดเมื่อลักษณะสมบัติของน้ำทิ้ง และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างคงที่

4.2 รายละเอียดการทดลองตลอดการศึกษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 245 วัน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการทดลอง

การทดลอง	วัน	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)		อัตราการไหล (ล./ว.)		ภาระบรรทุกสารอินทรีย์* (ก.ซีโอดี/(ล.ว.))	
		ถัง R1	ถัง R2	ถัง R1	ถัง R2	ถัง R1	ถัง R2
1	1-88	25.7	19.2	25.0	33.3	1.19	1.59
2	89-156	12.9	6.4	50.0	100.0	2.16	4.82
3	157-245	9.6	-	66.7	-	3.08	-
4	160-229	-	25.7	-	25.0	-	1.08

หมายเหตุ : * เน้นตลอดการทดลอง

4.3 บันทึกการทดลองตลอดการศึกษา

ก. การทดลองที่ 1 เป็นช่วงเริ่มต้นระบบ โดยใช้เวลาเก็บกักน้ำที่ 25.7 และ 19.2 ชม. สำหรับถัง R1 และ R2 ตามลำดับ ใช้เวลาทดลองทั้งสิ้น 88 วัน โดยสามารถเก็บข้อมูลที่สภาวะคงตัวของทั้งสองถังในวันที่ 50-88 ซึ่งได้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมดโดยเฉลี่ยร้อยละ 93 และ 90 ตามลำดับ

ข. การทดลองที่ 2 เป็นการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นจากการทดลองที่ 1 โดยใช้เวลาเก็บกักน้ำ 12.9 และ 6.4 ชม. สำหรับถัง R1 และ R2 ตามลำดับ โดยถัง R1 สามารถเก็บข้อมูลที่สภาวะคงตัวในวันที่ 130-156 โดยได้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมดโดยเฉลี่ยร้อยละ 90 ส่วนถัง R2 พบการลอยตัวของเม็ดตะกอนจุลชีพในถังอย่างเฉียบพลันในวันที่ 130 จนไม่เหลือตะกอนด้านล่างของถังอยู่เลย อย่างไรก็ตาม ก่อนหน้าวันที่ 130 นั้น ได้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมดโดยเฉลี่ยร้อยละ 79 โดยเก็บข้อมูลวันที่ 110-126 เป็นข้อมูลที่สภาวะคงตัว

ค. การทดลองที่ 3 เนื่องจากพบการลอยตัวของตะกอนที่เวลาเก็บกัก 6.4 ชม. จึงทดลองที่เวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นเป็น 9.6 ชม. ที่ถัง R1 ซึ่งก็พบการหลุดลอยของตะกอนในถังเช่นกัน และได้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมดโดยเฉลี่ยร้อยละ 84 ซึ่งได้ใช้ข้อมูลวันที่ 221-245 เป็นข้อมูลที่สภาวะคงตัว

ง. การทดลองที่ 4 แม้ระบบจะมีสมรรถนะเป็นที่น่าพอใจ แต่ก็ยังต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเติมค่า จึงได้ทำการทดลองเริ่มเดินระบบที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 ชม. อีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ถัง R2 ซึ่งจะทำให้การลดปริมาณค่าที่เดิมเป็นระยะ ๆ เพื่อศึกษาถึงผลของพีเอชของน้ำเข้าที่มีต่อระบบ

สภาวะคงตัวในงานวิจัยนี้เป็นสภาวะคงตัวเสมือน (Pseudo-steady state) เนื่องจากไม่มีการควบคุมปริมาณของแฉ่งแขวนลอยในระบบ ซึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลชีพในระบบเล็กน้อย เนื่องจากจุลชีพในระบบไร้ออกซิเจนมีค่ายิลค์ค่อนข้างต่ำ (van Haandel และ Lettinga, 1994) โดยที่ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบค่อนข้างคงที่ ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของการทดลองสามชุดแรก ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว เพื่อให้เห็นภาพรวมอย่างคร่าว ๆ และจะได้อธิบายถึงรายละเอียดของแต่ละลักษณะสมบัติ ต่าง ๆ ในหัวข้อที่ 4.4 ต่อไป สำหรับการทดลองในชุดที่ 4 จะทำการกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของตัวแปรต่าง ๆ ของการทดลองที่ 1-3

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)									
	25.7		19.2		12.9		9.6		6.4	
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ก.ชีโอติ/(ล.ว.))	1.08		1.45		2.00		2.95		4.74	
อุณหภูมิน้ำทิ้ง (°ซ)	26		26		26		25		25	
พีเอช	6.92	6.92	6.92	6.91	6.73	6.82	6.61	6.72	6.61	6.67
สภาพค่าทั้งหมด (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	557	778	556	759	673	803	577	746	651	777
กรดระเหยง่าย (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	313	53	313	53	542	56	524	88	486	73
ชีโอติทั้งหมด (มก./ล.)	1,156	83	1,156	116	1,069	110	1,181	188	1,265	261
ชีโอติละลายน้ำ (มก./ล.)	794	36	794	49	808	44	847	110	1,003	116
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	291	37	291	54	201	67	231	61	221	123
ของแข็งแขวนลอยระเหย (มก./ล.)	264	33	264	48	184	61	207	54	200	110
ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอติทั้งหมด (ร้อยละ)	93		90		90		84		79	
ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอติละลายน้ำ (ร้อยละ)	97		96		96		91		91	
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ (ล./ว.)	10.28		13.49		18.63		25.11		35.44	
องค์ประกอบมีเทน (ร้อยละ)	80		79		83		85		83	

หมายเหตุ : กรณีที่แบ่งคอลัมน์ของแต่ละเวลาเก็บกักน้ำเป็นสองส่วน ช่องด้านซ้ายคือน้ำเข้า ขวาคือน้ำทิ้ง

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ = อัตราการไหล*ชีโอติทั้งหมด / ปริมาตรถังปฏิกรณ์

4.4 รายละเอียดลักษณะสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง

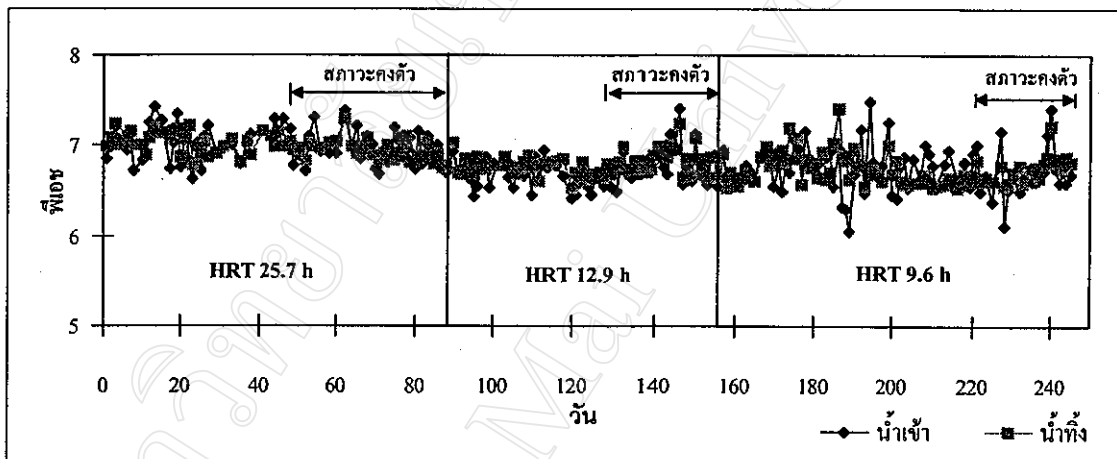
4.4.1. พีเอช

น้ำเสียที่นำมาจากโรงงานมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด คือมีพีเอช 3.5-4.7 ซึ่งเมื่อผ่านเข้าถังปฏิกรณ์แล้วก็มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น จึงต้องมีการเพิ่มพีเอชภายในถังปฏิกรณ์ให้เหมาะสมกับการดำรงชีพของแบคทีเรียผลิตมีเทน คือต้องให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 (Bryant, 1984) ซึ่งใช้พีเอชในน้ำทิ้งเป็นตัวบ่งชี้พีเอชในถัง การเพิ่มค่าพีเอชกระทำโดยการเติมด่างให้กับน้ำเสียก่อนสูบเข้าถัง ในที่นี้ใช้โซดาแอช (Na_2CO_3) เนื่องจากมีราคาถูกและละลายน้ำได้ดี โดยเติมลงไปใ้ในน้ำเสียประมาณ 0.5 - 0.9 ก./ล.ของน้ำเสีย ขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่นำมาแต่ละครั้ง พีเอชของน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่การทดลองต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวแสดงในตารางที่ 4.3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าพีเอชในน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย และอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

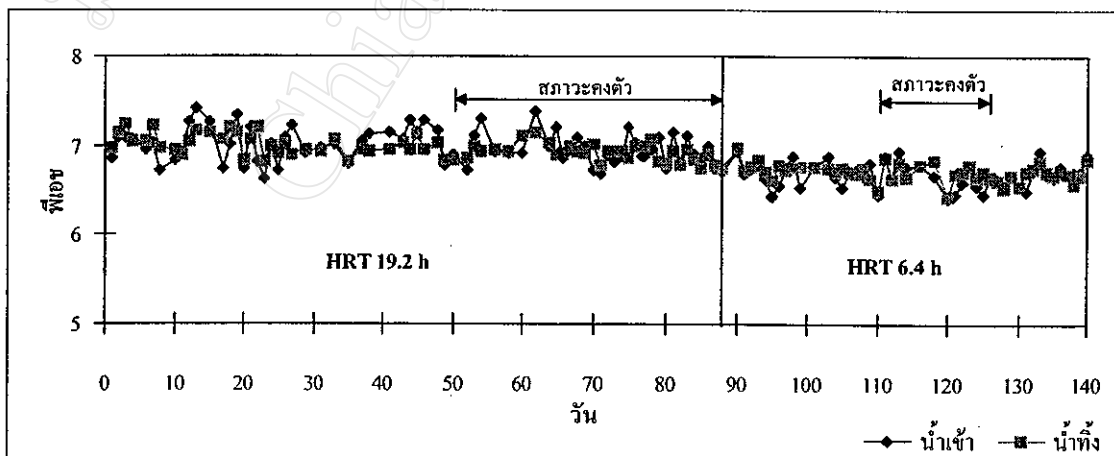
กับแบคทีเรียผลิตมีเทน ซึ่งตลอดการทดลองนั้น ไม่พบการลดลงของพีเอชในน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่องแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.3 พีเอชในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำต่าง ๆ

ลักษณะสมบัติ	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
พีเอชน้ำเข้า	6.92	6.92	6.73	6.61	6.61
พีเอชน้ำทิ้ง	6.93	6.91	6.82	6.73	6.67



รูปที่ 4.1 พีเอชในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 12.9 และ 9.6 ชม. (ถัง R1)



รูปที่ 4.2 พีเอชในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 และ 6.4 ชม. (ถัง R2)

4.4.2 กรดระเหยง่าย

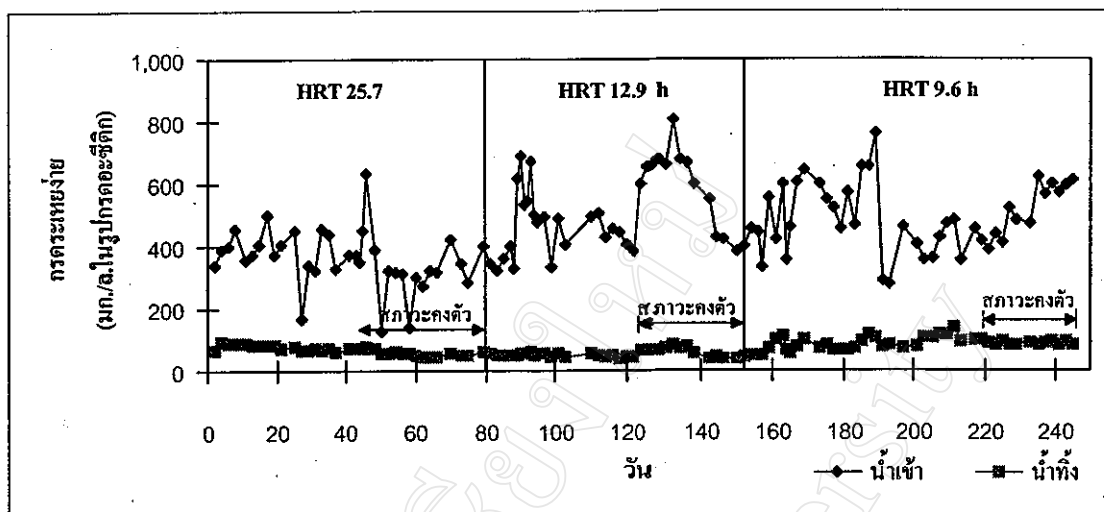
กรดระเหยง่ายในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่มีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวดังตารางที่ 4.4 โดยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งพบว่ากรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งในช่วงเริ่มต้นระบบมีค่าสูงและจะค่อย ๆ ลดลงจนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยในช่วง 20 วันแรกของการทดลองที่ 1 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 และ 19.2 ชม. นี้มีกรดระเหยในน้ำทิ้ง 80-90 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก จนเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วมีค่า 45-60 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก ทั้งนี้เนื่องจากต้องใช้เวลาในการรอให้แบคทีเรียผลิตมีเทนเกิดขึ้นมากพอ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของค่ากรดระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบกับสภาวะคงตัวนั้นไม่มากนัก เนื่องจากน้ำเสียมีการหมักขึ้นต้นมาแล้ว ทำให้แบคทีเรียผลิตมีเทนสามารถนำกรดระเหยง่ายไปใช้ได้ทันที การไฮโดรไลซิสจึงไม่น่าจะเป็นขั้นตอนจำกัดของการย่อยสลายสารอินทรีย์

ในการทดลองที่ 2 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 12.9 ชม. พบว่ากรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง แต่ที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม. พบว่าตั้งแต่วันที่ 130 ค่ากรดระเหยในน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ประกอบกับค่าซีไอดีในน้ำออกเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยที่พีเอชในน้ำทิ้งไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากการหลุดออกของเม็ดตะกอนภายในถังอย่างรวดเร็วจนหมดถังในช่วงดังกล่าว ทำให้จุลินทรีย์ผลิตมีเทนมีไม่มากพอที่จะใช้กรดระเหยง่าย ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อของเชิงแขวนลอยทั้งหมดต่อไป สำหรับการทดลองที่ 3 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม. พบว่ามีการหลุดของเม็ดตะกอนอย่างต่อเนื่องเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ระบบยังสามารถรักษาระดับกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งที่ต่ำไว้ได้ตลอดการทดลอง

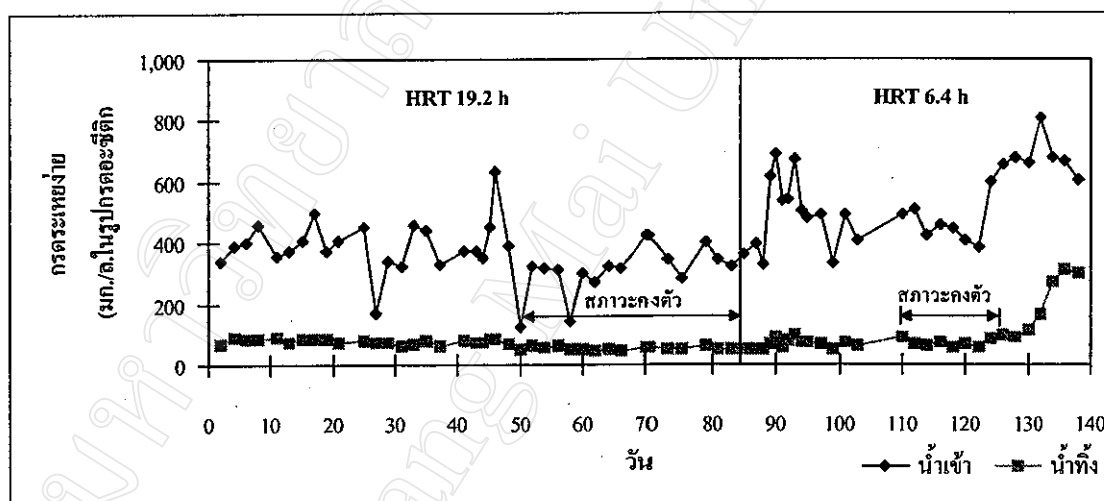
จากตารางที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดกรดระเหยง่ายค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุก ๆ การทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นคร่าว ๆ ว่าไม่มีการสะสมของกรดระเหยง่ายเมื่อการะบบรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 กรดระเหยง่ายในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำต่าง ๆ

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
กรดระเหยง่ายในน้ำเข้า (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	313	313	542	524	486
กรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	53	53	56	88	73
ประสิทธิภาพการกำจัดกรดระเหยง่าย (ร้อยละ)	83	83	89	83	85



รูปที่ 4.3 กรดระเหยง่ายในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 12.9 และ 9.6 ชม. (ถัง R1)



รูปที่ 4.4 กรดระเหยง่ายในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 และ 6.4 ชม. (ถัง R2)

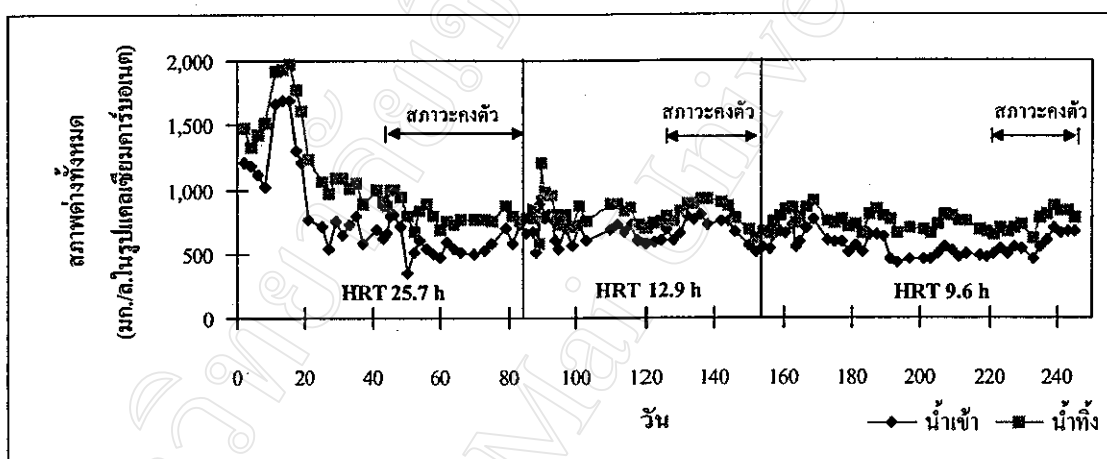
4.4.3 สภาพด่างทั้งหมด

สภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียจากโรงงานมีค่าต่ำมาก คือไม่เกิน 80 มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต หลังทำการเติมโซดาแอสแล้วจึงมีค่าเพิ่มมากกว่า 450 มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต สภาพด่างทั้งหมดในน้ำเข้าและน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวดังตารางที่ 4.5 โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าน้ำทิ้งมีสภาพด่างเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 19-40 ของน้ำเข้า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และเมื่อพีเอชค่อนข้างเป็นกลางแล้ว จึงทำให้สภาพด่างในน้ำส่วนมากจะอยู่ในรูปไบคาร์บอเนต

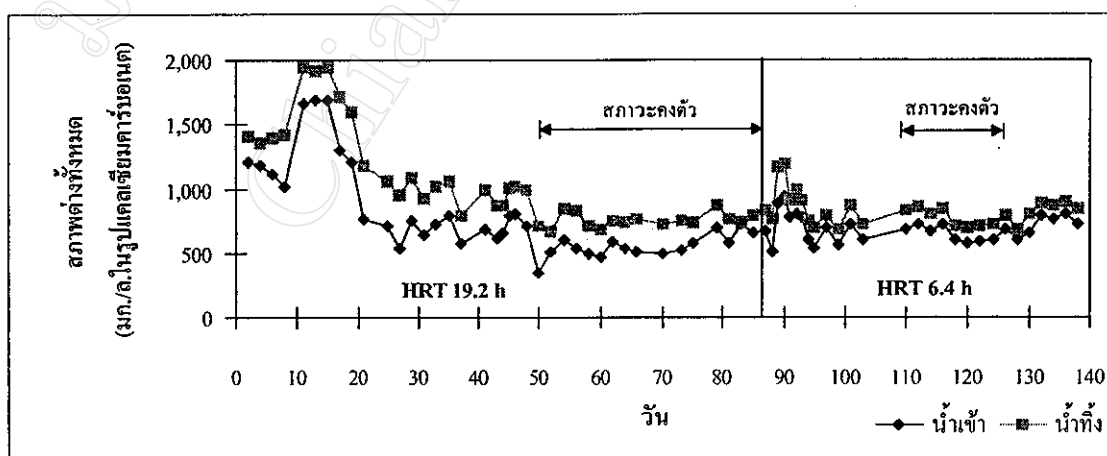
(Sawyer et al., 1994) ส่วนสภาพต่างที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิสของสารประกอบที่มีในโตรเจนเป็นองค์ประกอบนั้นไม่น่าจะมีมากนัก เนื่องจากน้ำเสียมีเจือจางในโตรเจนค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 4.5 สภาพต่างทั้งหมดในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำต่าง ๆ

ลักษณะสมบัติ	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
สภาพต่างทั้งหมดในน้ำเข้า (มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	557	557	673	577	651
สภาพต่างทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	778	759	803	746	777



รูปที่ 4.5 สภาพต่างทั้งหมดในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 12.9 และ 9.6 ชม. (ถึง R1)



รูปที่ 4.6 สภาพต่างทั้งหมดในน้ำเข้าและน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 และ 6.4 ชม. (ถึง R2)

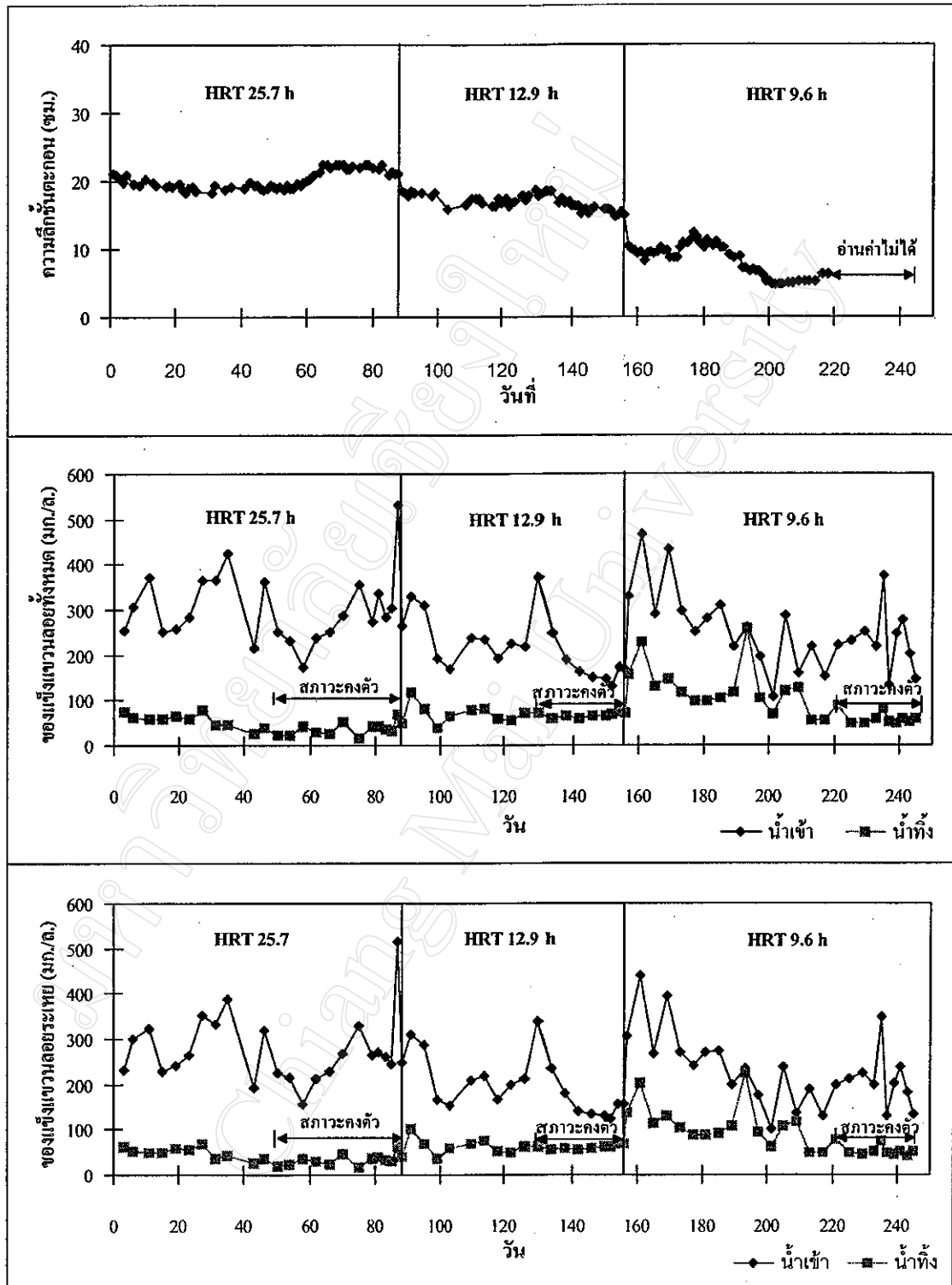
จากค่าการกระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมด สามารถคำนวณหาค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนตได้จากสมการที่ (2.4) ซึ่งสภาพต่างไบคาร์บอเนตสามารถบอกสภาพบัฟเฟอร์ของระบบได้ดีกว่าสภาพต่างทั้งหมด ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนของกรกระเหยง่ายและสภาพต่างไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้งมีค่าน้อยกว่า 0.4 กล่าวได้ว่าระบบมีสภาพบัฟเฟอร์ที่ดี (Zickefoose และ Hayes, 1976)

ตารางที่ 4.6 สภาพต่างไบคาร์บอเนตและอัตราส่วนของกรกระเหยง่ายต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต

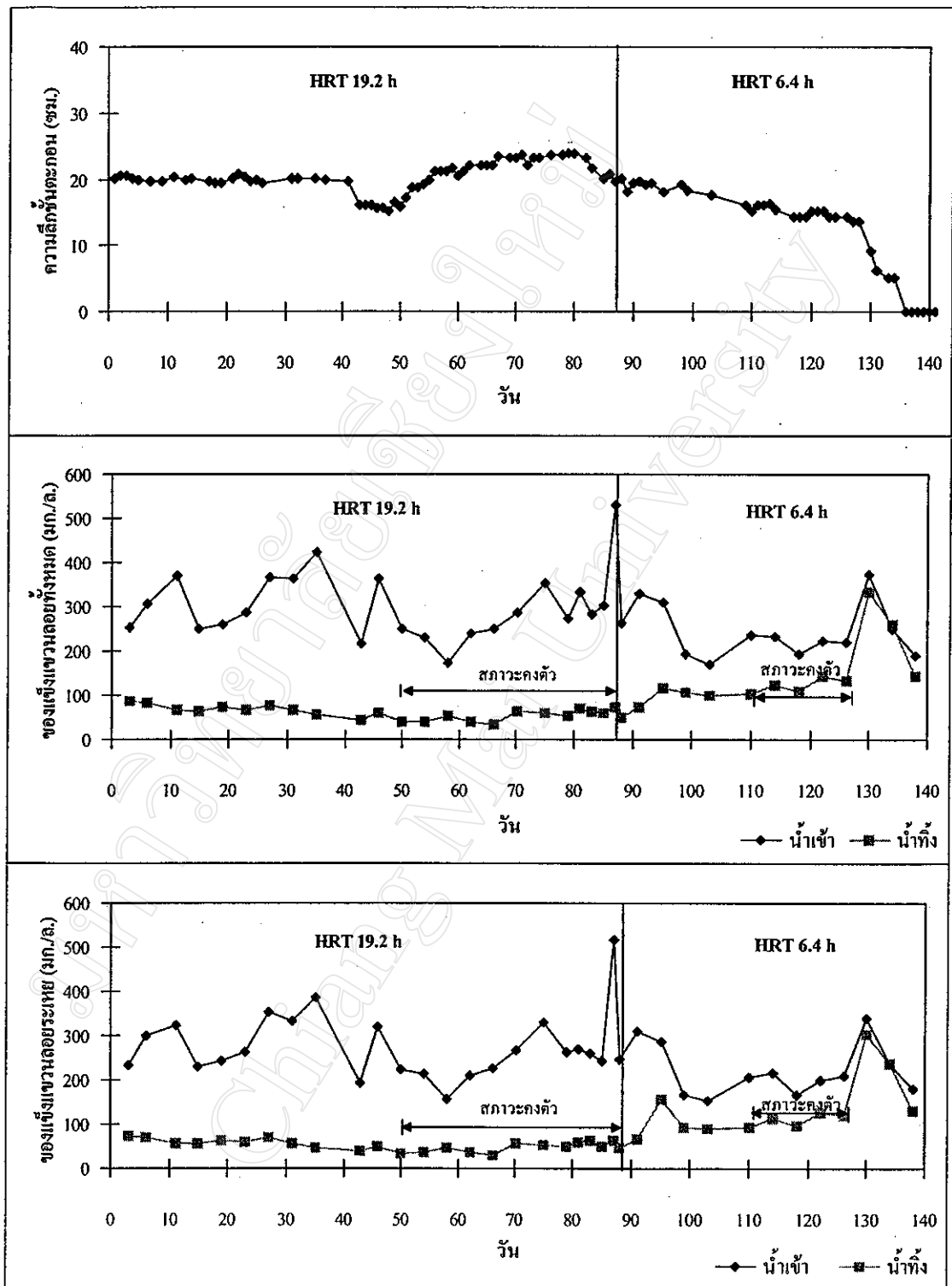
ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
สภาพต่างไบคาร์บอเนตในน้ำทิ้ง (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	740	721	763	684	725
(กรกระเหยง่าย / สภาพต่างไบคาร์บอเนต) น้ำทิ้ง	0.07	0.07	0.07	0.13	0.10

4.4.4 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยระเหย

ในช่วงเริ่มต้นระบบ ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งช่วง 30 วันแรกมีค่า 60-80 มก./ล. ทั้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 และ 19.2 ชม. จากนั้นจะลดลงทีละน้อย ๆ จนไม่เกิน 60 มก./ล. เนื่องจากช่วงแรกเป็นการคัดเลือกตะกอนของระบบ ตะกอนที่ตกได้ไม่ดีจะถูกชะออกจากระบบ ความลึกของชั้นตะกอนนั้นเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สำหรับการเปลี่ยนแปลงของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและความลึกชั้นตะกอนแสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 โดยที่ของแข็งแขวนลอยระเหยมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยทั้งน้ำเข้าและน้ำทิ้งมีค่าอัตราส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมดใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.90 ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าของแข็งที่เข้าระบบส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ การสะสมของของแข็งเฉื่อยหรือสารอนินทรีย์จึงไม่น่าจะเกิดขึ้นในระบบ



รูปที่ 4.7 ความลึกชั้นตะกอน ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำเข้า และน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 12.9 และ 9.6 ชม. (ถึง R1)



รูปที่ 4.8 ความลึกชั้นตะกอน ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำเข้า และน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 และ 6.4 ชม. (ถัง R2)

ค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยระเหยที่สภาวะคงตัว แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเก็บกักต่ำลง เนื่องจากพบว่าปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทำให้ความปั่นป่วนจากก๊าซที่เกิดขึ้นเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้มีการชะล้างตะกอนจุลชีพในถังมากขึ้น และจากการสังเกตลักษณะน้ำทิ้งก็พบว่าที่เวลาเก็บกักต่ำจะมีสีขาวขุ่นมากกว่าที่เวลาเก็บกักสูง แสดงให้เห็นว่าที่เวลาเก็บกักน้ำต่ำ อนุภาคแป้งที่ยังไม่ละลายน้ำก็มีมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การแยกอนุภาคแป้งและจุลชีพในน้ำเป็นเรื่องยาก จึงทำการวิเคราะห์ร่วมกันในรูปของของแข็งแขวนลอย สำหรับความเร็วไหลขึ้นมีค่าค่อนข้างต่ำทุกการทดลองจึงไม่น่าจะมีผลกับการชะล้างตะกอนจุลชีพโดยตรง

ตารางที่ 4.7 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยระเหย

ลักษณะสมบัติ	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเข้า (มก./ล.)	291	291	202	231	221
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	37	54	67	61	123
ของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำเข้า (มก./ล.)	264	264	184	207	200
ของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	33	48	61	54	110
ภาระบรรทุกของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (ก./ล.ว.)	0.29	0.39	0.40	0.62	0.88
ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (ร้อยละ)	87	81	67	74	44
(ของแข็งแขวนลอยระเหย / ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด) น้ำเข้า	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
(ของแข็งแขวนลอยระเหย / ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด) น้ำทิ้ง	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ความเร็วไหลขึ้นที่ด้านล่างของถัง (ม./ชม.)	0.07	0.09	0.14	0.18	0.27

จากการหลุดออกของเม็ดตะกอนอย่างรวดเร็วในวันที่ 130 ในการทดลองที่ 2 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมดตกลงจากร้อยละ 81 เหลือเพียงร้อยละ 51 พร้อม ๆ กับที่กรดระเหยในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นทันที จนในวันที่ 136 ตะกอนด้านล่างของถังไม่เหลืออยู่เลย ซึ่งได้หยุดการทดลองในวันที่ 140 จากการสังเกตสภาพในระบบในช่วงที่มีเม็ดตะกอนในถังเหลืออยู่น้อย พบว่ารอบ ๆ ถังจะมีปุ๋ยสีครีมเกิดขึ้น

ในการทดลองที่ 3 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม. พบปุ๋ยสีครีมในช่วงที่ตะกอนเกือบหมดแล้วเช่นเดียวกัน โดยพบประมาณวันที่ 210 ปุ๋ยดังกล่าวเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ จนประมาณวันที่

225 ไม่สามารถมองเห็นสภาพภายในถังได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และค่ากรด
 ระเหยในน้ำทิ้งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก จึงทำการทดลองต่อไปเรื่อย ๆ จนวันที่ 245 จึงหยุด
 การทดลอง รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบลักษณะของถังปฏิกริยาที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 9.6 และ 6.4 ชม.
 บริเวณด้านล่าง



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ 4.9 สภาพถังปฏิกริยาบริเวณด้านล่าง ณ วันสุดท้ายของการทดลอง
 (ก.) ถึง R2 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 ชม. (ข.) ถึง R1 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม.
 (ค.) ถึง R2 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม.

เป็นที่น่าสังเกตว่าตะกอนที่หลุดออกจากถังที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 และ 9.6 ชม. ลอยน้ำแทบทุกเม็ด ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 สามารถมองเห็นฟองก๊าซเล็ก ๆ ติดอยู่ตามผิวเม็ดตะกอนได้อย่างชัดเจน และมีเมือกสีน้ำตาลปะปนกับเม็ดตะกอน ตะกอนบางส่วนจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่เมื่อดังทั้งไว้ 2-3 วันก็จะตกตะกอนลงกันถึง ซึ่งการหลุดของตะกอนที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม. จะเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลันกว่าที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม.



รูปที่ 4.10 เม็ดตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม.



รูปที่ 4.11 เม็ดตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม.

การที่ตะกอนลอยน้ำคาดว่ามีส่วนหนึ่งเนื่องจากเกิดก๊าซสะสมภายในเม็ดตะกอนมากเกินไป ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ คาดว่า

เมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้นถึงจุดหนึ่ง อัตราการระบายก๊าซออกของจากเม็คตะกอนจะช้ากว่า อัตราการผลิตก๊าซ ทำให้ก๊าซค้างอยู่ในเม็คตะกอนมากเกินไป ซึ่งก่อให้เกิดแรงยกตัวที่สูงกว่าปกติ และพาเม็คตะกอนลอยขึ้น ดังนั้นเมื่อตั้งเม็คตะกอนที่หลุดออกมาทิ้งไว้ระยะหนึ่งจนเมื่อก๊าซระบาย ออกมาจนเกือบหมดแล้วจึงสามารถกดตะกอนกลับลงมาได้ จะเห็นได้ว่าในกรณีนี้ตัวกลางในชั้น ไฮบริดไม่สามารถกักเม็คตะกอนไว้ได้

4.4.5 จุลชีพภายในถังปฏิกริยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองแต่ละชุด ได้ทำการหาปริมาณจุลชีพภายในถังที่ส่วนล่างของถัง และบริเวณชั้นตัวกลางในรูปของแข็งแขวนลอยระเหย ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.8 พบว่าที่เวลาเก็บกัก น้ำ 25.7 และ 19.2 ชม. จุลชีพในระบบกว่าร้อยละ 50 ถูกกักไว้บนตัวกลาง แต่ที่เวลาเก็บกัก 12.9 ชม. จุลชีพมีปริมาณลดลงทั้งด้านล่างของถังและบนตัวกลาง แสดงให้เห็นถึงการชะล้างที่เพิ่มสูงขึ้น และที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม. จุลชีพที่เป็นเม็คด้านล่างของถังจะเหลือน้อยมาก (ค่าตัวเลขที่สูงนั้น เนื่องมาจากจุลชีพที่มีลักษณะเป็นปุยและเมือกเป็นส่วนใหญ่)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณจุลชีพในถังปฏิกริยา ณ วันสุดท้ายของแต่ละการทดลอง

ลักษณะสมบัติ	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
ความลึกชั้นตะกอน (ชม.)	22.0	19.7	14.9	-	*
ปริมาณจุลชีพด้านล่างของถัง (ก. ของแข็งแขวนลอยระเหย)	157.62 (51)	118.64 (41)	120.07 (78)	82.86 (58)	* (*)
ปริมาณจุลชีพบริเวณชั้นตัวกลาง (ก. ของแข็งแขวนลอยระเหย)	150.08 (49)	168.19 (59)	34.85 (22)	61.04 (42)	53.6 (100)
ปริมาณจุลชีพทั้งหมด (ก. ของแข็งแขวนลอยระเหย)	307.91 (100)	287.00 (100)	155.30 (100)	143.90 (100)	53.6 (100)

หมายเหตุ : - ไม่สามารถหาได้ * น้อยมาก

ตัวเลขในวงเล็บเป็นร้อยละเทียบกับจุลชีพในถังทั้งหมด

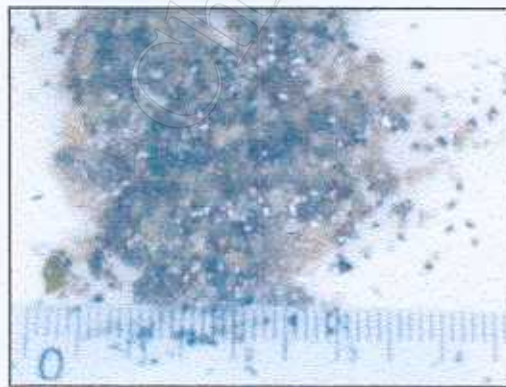
ปริมาณจุลชีพที่เติมลงไปในวันเริ่มต้นระบบประมาณ 388 ก.

ประมาณ 2 สัปดาห์แรกมีการเปลี่ยนก๊อกที่ด้านล่าง ทำให้มีการเสียจุลชีพไปส่วนหนึ่ง

เม็ดตะกอนภายในถังปฏิกริยาเป็นของแข็งระเหยอยู่มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากเชื้อคั้งคั้งที่นำมาคือร้อยละ 73 เนื่องจากมีจุลชีพเกิดเพิ่มมากขึ้น (หรือเพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคแป้งสะสม) ซึ่งตะกอนที่อยู่บริเวณด้านล่างของถังปฏิกริยาที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 19.2 และ 12.9 ชม. มีลักษณะคล้ายกันคือเป็นเม็ดสีดำ รูปร่างเป็นเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.12 แต่ที่เวลาเก็บกัก 9.6 ชม. ตะกอนบริเวณด้านล่างของถังส่วนมากจะมีลักษณะเป็นปุยสีครีมและเมือกสีน้ำตาล โดยยังเหลือเม็ดตะกอนสีดำอยู่เพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.13 ส่วนเม็ดตะกอนที่เกาะอยู่บริเวณชั้นตัวกลางที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 19.2 และ 12.9 ชม. ดังแสดงในรูป 4.14 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ และที่ 9.6 ชม. ตัวกลางจะมีเมือกสีเทาปะปนกับเม็ดตะกอนสีดำดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 สำหรับตะกอนบริเวณตัวกลางที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม. ก็มีลักษณะคล้ายกับที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 19.2 และ 12.9 ชม. คือเป็นเม็ดสีดำ ดังรูปที่ 4.19 เนื่องจากได้หยุดการทดลองหลังจากเม็ดตะกอนหลุดหมดถึงไปได้ไม่นาน



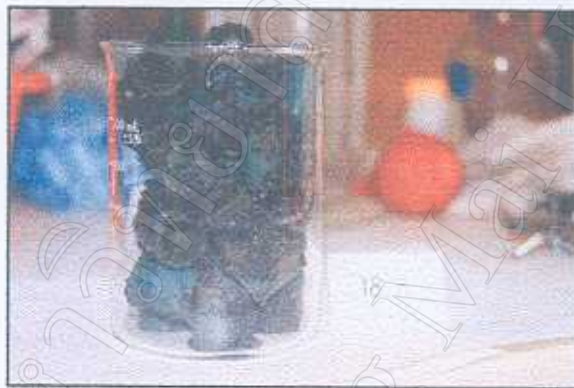
รูปที่ 4.12 ลักษณะตะกอนด้านล่างของถังที่เวลาเก็บกักน้ำ 12.9 ชม.



รูปที่ 4.13 ลักษณะตะกอนด้านล่างของถังที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม.



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 ชม.



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 ชม.



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างที่เวลาเก็บกักน้ำ 12.9 ชม.



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม.



รูปที่ 4.18 ลักษณะตะกอนที่หลุดออกจากตัวอย่างในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม.

4.4.6 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นอาหารเสริมที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณอาหารเสริมเมื่อเทียบกับชีโอดีในน้ำเสียเมื่อเป็นระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนควรมีอัตราส่วนอย่างต่ำคือ COD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2 (McCarty, 1964b) โดยวิเคราะห์ในรูปของเจดาคัลไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด จากการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละเดือนดังตารางที่ 4.9 พบว่าอัตราส่วน COD:N:P สูงกว่า 100:1.1:0.2 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจึงไม่น่าจะเป็นปัจจัยจำกัดของปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ ในทางทฤษฎีแล้วการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่สามารถกระทำได้ด้วยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ควบคู่กับกระบวนการใช้ออกซิเจน หรืออื่น ๆ ซึ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งอาจลดลงจากน้ำเข้าไม่มากนัก เนื่องจากการใช้สร้างเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพียงแต่สัดส่วนในรูปต่าง ๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง

ตารางที่ 4.9 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ชีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	เจดาคัลไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	COD:N:P
1	704	13	7	100:1.8:1.0
2	1,100	17	8	100:1.5:0.7
3	1,130	19	15	100:1.7:1.3
4	1,092	18	12	100:1.6:1.1
5	1,245	21	18	100:1.7:1.4
6	1,237	17	23	100:1.4:1.9

4.4.7 ชีโอดี

ตารางที่ 4.10 เป็นค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัว พบว่าระบบดำเนินการที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง 1.08-4.74 ก.ชีโอดี/(ล.ว.) มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมดร้อยละ 79-93 และประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายน้ำมีค่าร้อยละ 91-97 โดยที่ค่าชีโอดีทั้งหมด ชีโอดีละลายน้ำ และประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสูงกว่าร้อยละ 80 ตั้งแต่เริ่มต้นระบบ เนื่องจากเชื้อเริ่มต้นที่นำมาใช้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง ประกอบกับการสร้างกรดระเหยง่ายมาแล้วดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 4.2 และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกรดระเหยง่ายในตารางที่ 4.4 กับ

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำในตารางที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดครณะหยาบมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำอยู่ร้อยละ 6-14 สามารถอธิบายได้ว่ามีการใช้และผลิตครณะหยาบเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน และนอกจากการผลิตมีเทนจากการใช้ครณะหยาบแล้ว มีเทนอีกส่วนหนึ่งก็สามารถเกิดได้จากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน

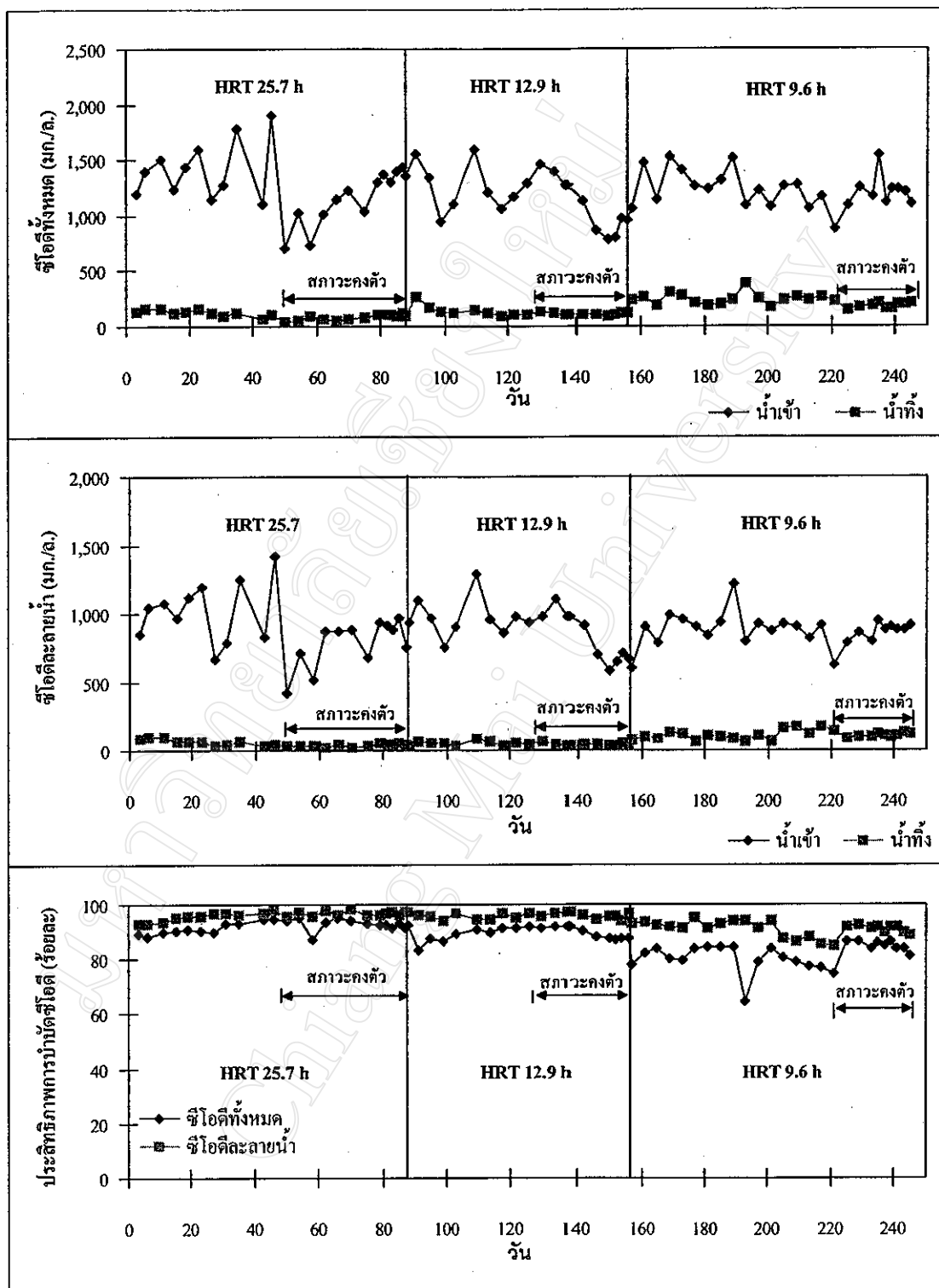
ตารางที่ 4.10 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
อัตราการไหล (ล./ว.)	25.0	33.3	50.0	66.7	100.0
ภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ (ก.ซีโอดี/(ล.ว.))	1.08	1.45	1.99	2.95	4.74
ซีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า (มก./ล.)	1,156	1,156	1,069	1,181	1,265
ซีโอดีละลายน้ำในน้ำเข้า (มก./ล.)	794	794	808	847	1,003
ซีโอดีทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	83	116	110	188	261
ซีโอดีละลายน้ำในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	36	49	44	110	116
(ซีโอดีละลายน้ำ / ซีโอดีทั้งหมด) _{น้ำเข้า}	0.69	0.69	0.76	0.72	0.79
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (ร้อยละ)	93	90	90	84	79
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำ (ร้อยละ)	97	96	96	91	91
อัตรากำจัดสารอินทรีย์ (ก.ซีโอดีทั้งหมด/(ล.ว.))	1.00	1.31	1.79	2.48	3.74
อัตรากำจัดสารอินทรีย์ (ก.ซีโอดีละลายน้ำ/(ล.ว.))	1.05	1.39	1.91	2.68	4.31

หมายเหตุ : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด = $(1 - \text{ซีโอดีทั้งหมดในน้ำทิ้ง} / \text{ซีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า}) \times 100$

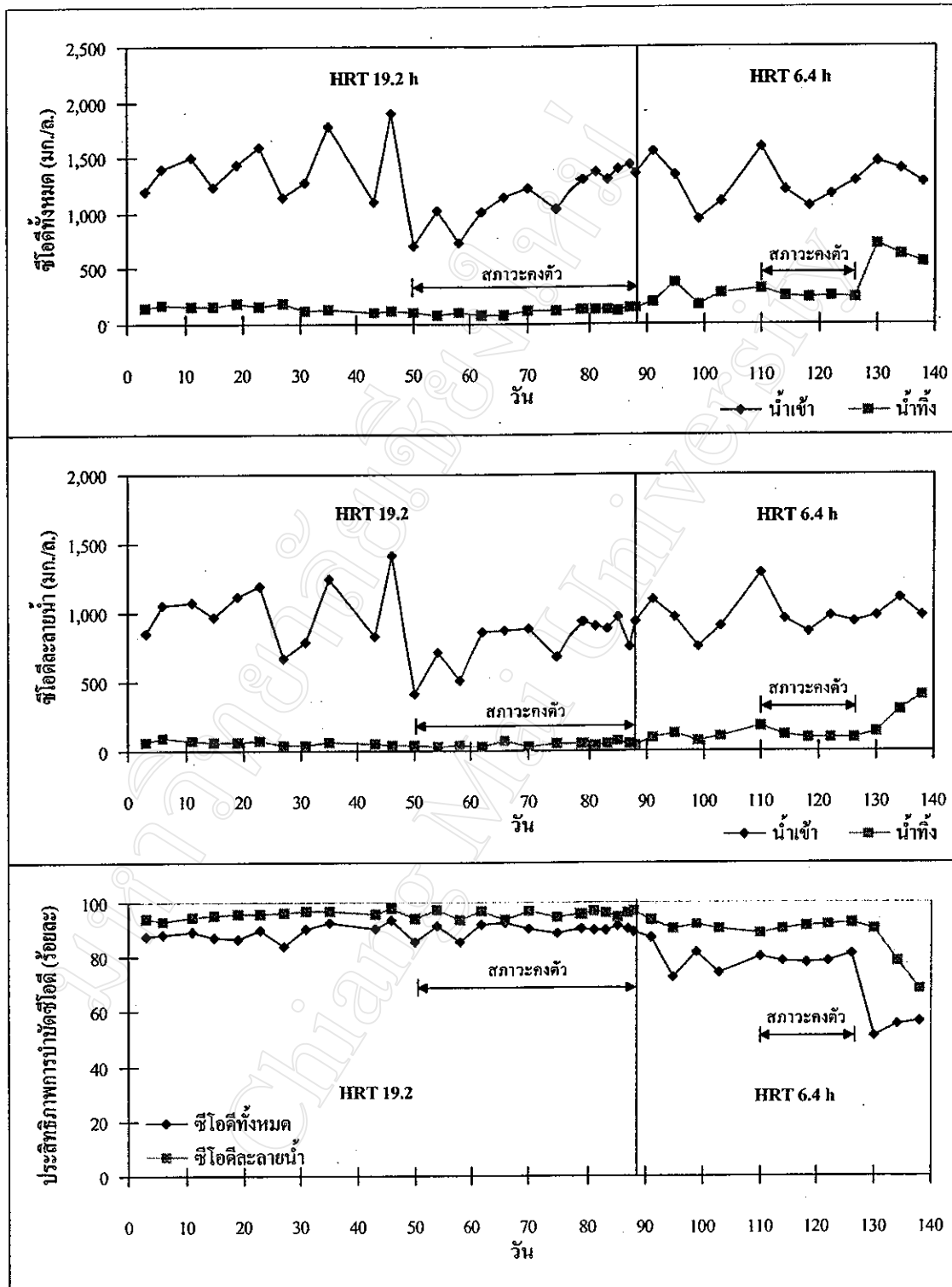
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำ = $(1 - \text{ซีโอดีละลายน้ำในน้ำทิ้ง} / \text{ซีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า}) \times 100$

อัตรากำจัดสารอินทรีย์ = ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี * ภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ / 100



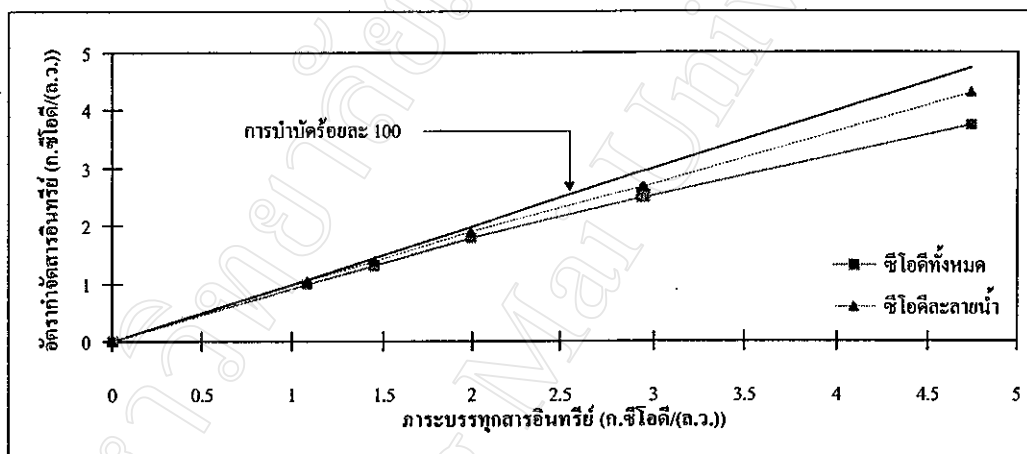
รูปที่ 4.20 ชีโอดีในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่เวลาเก็บกักน้ำ

25.7 12.9 และ 9.6 ชม. (ถัง R1)

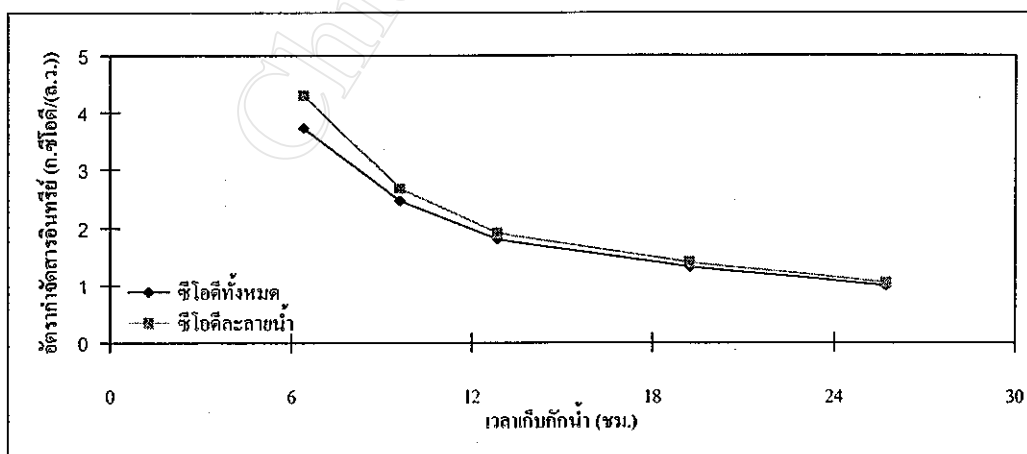


รูปที่ 4.21 ซีโอดีในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เวลาเก็บกักน้ำ
19.2 และ 6.4 ชม. (ถึง R2)

ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกสารอินทรีย์และอัตรากำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ ซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำแสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่าอัตรากำจัดสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นตาม ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรงที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นการกำจัด ร้อยละ 100 ที่ละน้อย และมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่ายังสามารถมีอัตรากำจัดสารอินทรีย์สูงกว่านี้ ได้ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ยังสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงกว่า 4.74 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) ได้ อีก แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์หลุดลอยออกไปจากระบบ ทำให้รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ 2.95 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) เท่านั้น สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเวลา เก็บกักน้ำและอัตรากำจัดสารอินทรีย์แสดงดังรูปที่ 4.23 พบว่าอัตรากำจัดสารอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกสารอินทรีย์และอัตรากำจัดสารอินทรีย์

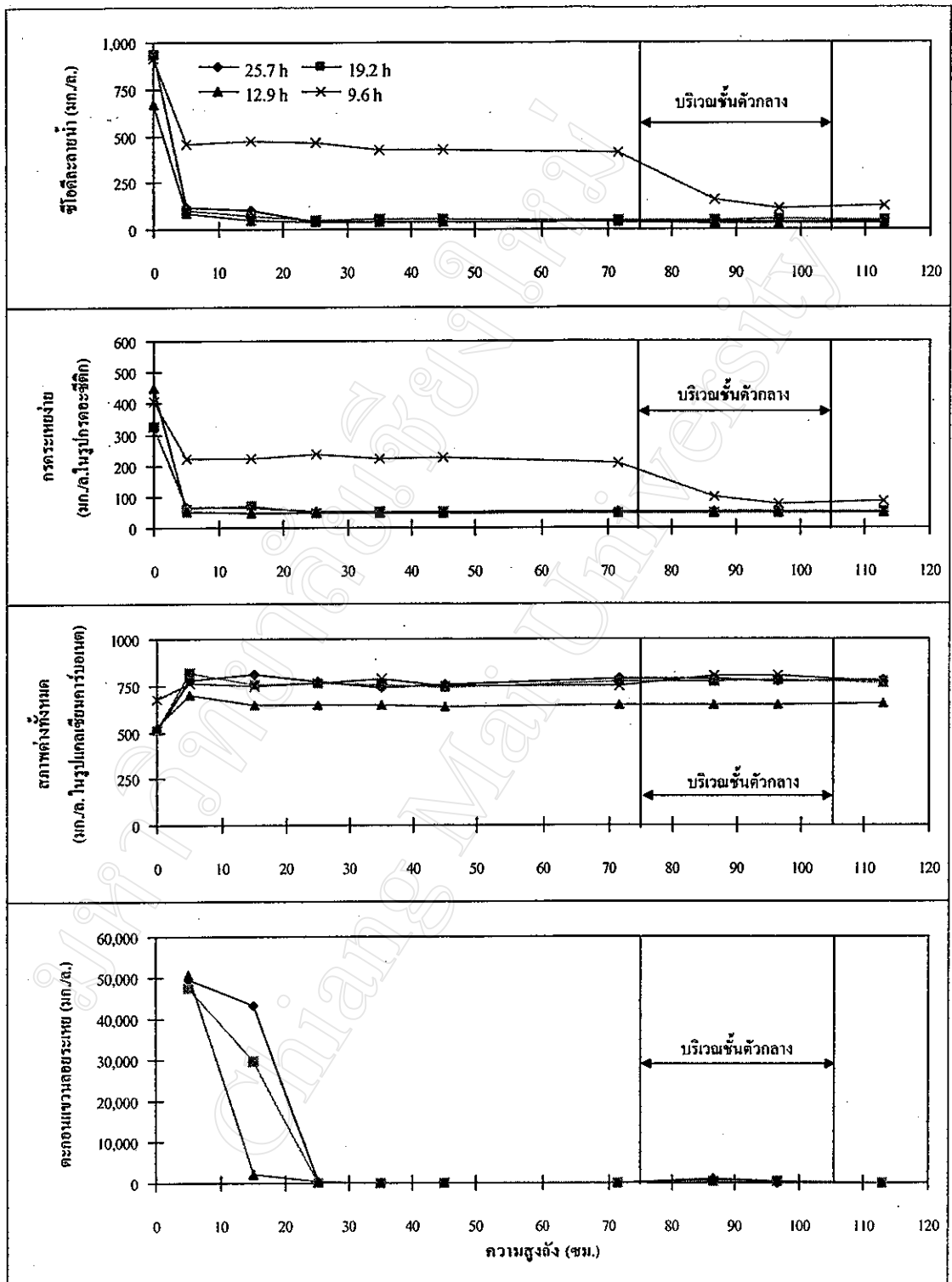


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเก็บกักน้ำและอัตรากำจัดสารอินทรีย์

4.4.8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติต่าง ๆ ตามความสูงของถังปฏิกริยา

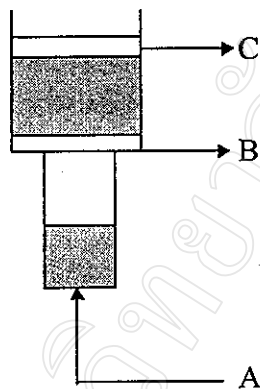
ค่าความเข้มข้นของลักษณะสมบัติต่าง ๆ ตามความสูงของถัง ณ วันสุดท้ายของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.24 ที่เวลาเก็บกักน้ำ 12.9 19.2 และ 25.7 ชม. พบว่าการกำจัดซีโอดีละลายน้ำเกิดขึ้นมากกว่าร้อยละ 90 ในช่วง 15 ชม. แรกจากก้นถังเท่านั้น (ใช้การวิเคราะห์เทียบกับซีโอดีละลายน้ำ เนื่องจากภายในถังมีจุลชีพลอยอยู่ทั่วไป ทำให้ค่าซีโอดีทั้งหมดสูงกว่าปกติ) โดยที่กรตระเหยง่ายมีค่าลดลงและสภาพต่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเลยจากความสูงนี้ไปแล้ว ค่าซีโอดีละลายน้ำ กรตระเหยง่าย และสภาพต่างทั้งหมดจะไม่ค่อยมีความเปลี่ยนแปลง (เพื่อชดเชยค่าปฏิกริยาที่มีค่าใกล้เคียงกัน) จะเห็นว่าชั้นตัวกลางไม่มีอิทธิพลในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของลักษณะสมบัติดังกล่าวเลย ทั้งนี้เนื่องจากด้านล่างของถังมีจุลชีพในปริมาณที่สูงประกอบกับน้ำเสียมีซีโอดีไม่มากนัก จึงทำให้ซีโอดีถูกใช้เกือบหมดทันทีที่ด้านล่างของถัง อันส่งผลให้จุลชีพที่อาศัยอยู่บริเวณชั้นตัวกลางได้รับซีโอดีที่มีค่าต่ำมาก ซึ่งจุลชีพไม่สามารถลดซีโอดีให้ต่ำลงกว่านี้ได้อีก แต่อย่างไรก็ตามตัวกลางเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยรักษาจุลชีพไม่ให้หลุดไปกับน้ำทิ้ง

ที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม. เท่านั้นที่พบว่าชั้นตัวกลางมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีละลายน้ำ กรตระเหยง่าย และสภาพต่างทั้งหมด โดยจะมีการลดของค่าซีโอดีละลายน้ำกว่าครึ่งหนึ่งทันทีที่น้ำเข้าผ่านระบบ และจะมีการลดลงทีละน้อยตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก่อนถึงชั้นตัวกลาง พบว่าเหลือซีโอดีละลายน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 37 ของน้ำเข้า (จาก 1,101 มก./ล. เหลือ 412 มก./ล.) และเมื่อผ่านชั้นตัวกลางไปแล้วซีโอดีละลายน้ำลดลงไปอีกร้อยละ 70 (เหลือ 123 มก./ล.) ซึ่งกรตระเหยง่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับซีโอดีละลายน้ำ สำหรับสภาพต่างทั้งหมดนั้นจะเพิ่มขึ้นทันทีเมื่อน้ำเข้าสู่ระบบและจะมีการเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อผ่านชั้นตัวกลาง การที่ด้านล่างของถังไม่มีการลดของซีโอดีละลายน้ำมากเหมือนกับที่เวลาเก็บกักที่สูงกว่า เป็นเพราะว่าได้เกิดการล่อยหลุดของจุลชีพที่อยู่ในลักษณะเม็ดตะกอนไปเกือบหมดแล้ว ทำให้จุลชีพที่เป็นเม็ดที่เหลืออยู่ที่บริเวณชั้นตัวกลางมีบทบาทเพิ่มขึ้นมา เนื่องจากยังพอมีซีโอดีที่เหลือจากการย่อยสลายที่ด้านล่างของถัง ประกอบกับมีเม็ดตะกอนติดอยู่ที่ตัวกลางมากพอสมควร จึงสามารถย่อยสลายซีโอดีได้อีก ส่งผลให้มีการลดกรตระเหยง่ายและการเพิ่มสภาพต่างทั้งหมดที่ชั้นตัวกลาง จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาที่ด้านล่างของถังไม่ได้มีบทบาทในการลดซีโอดีแม้จะมีปริมาณมากก็ตาม



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติต่าง ๆ ตามความสูงของถัง

เพื่อให้มองเห็นภาพของบทบาทของชั้นตัวกลางให้ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากการเก็บน้ำตัวอย่างตามความสูงถึงไม่ได้คำนึงถึงปริมาณจุลชีพที่เกาะติดบนตัวกลาง จึงทำการหาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและกรดระเหยง่ายในบริเวณชั้นตะกอนด้านล่างของถังและบริเวณชั้นตัวกลางตามรูปที่ 4.25 ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าที่เวลาเก็บกักน้ำต่าง ๆ มีค่าอัตราส่วนระหว่างซีโอดีที่กำจัดต่อมวลจุลชีพของชั้นตะกอนล่างมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ชั้นตัวกลางนั้นอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาเก็บกักน้ำลดลง แสดงให้เห็นว่าจุลชีพชั้นตัวกลางจะมีบทบาทในการกำจัดซีโอดีมากขึ้นเมื่อเวลาเก็บกักน้ำลดลงหรือภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันในแต่ละเวลาเก็บกักน้ำ พบว่าอัตราส่วนดังกล่าวที่ด้านล่างจะมากกว่าตัวกลางอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าจุลชีพด้านล่างจะมีบทบาทในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า



ประสิทธิภาพการกำจัดด้านล่างของถัง = $(A-B)/A \times 100\%$

ประสิทธิภาพการกำจัดบริเวณชั้นตัวกลาง = $(B-C)/B \times 100\%$

โดยที่ A B และ C เป็นค่าซีโอดีหรือกรดระเหยง่ายของน้ำเข้า ก่อนเข้าชั้นตัวกลาง และน้ำทิ้ง ตามลำดับ

รูปที่ 4.25 การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดที่ด้านล่างและบริเวณชั้นตัวกลาง

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ส่วนล่างและบริเวณชั้นตัวกลาง ณ วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
A (มก./ล.)	1,359	1,359	954	1,101	-
B (มก./ล.)	38	50	37	412	-
C (มก./ล.)	37	47	32	123	-
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีด้านล่างของถัง (%)	97	96	96	63	-
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีบริเวณชั้นตัวกลาง (%)	3	6	14	70	-
(ซีโอดีที่กำจัด / ปริมาณจุลชีพ)ด้านล่าง (mgCOD/(mgVSS . L))	8.4	11.0	7.6	8.3	-
(ซีโอดีที่กำจัด / ปริมาณจุลชีพ)ชั้นตัวกลาง (mgCOD/(mgVSS . L))	0.01	0.02	0.14	4.73	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดกรกระเหยง่ายที่ส่วนล่างและบริเวณชั้นตัวกลาง ณ วัสดุสุดท้าย
ของการทดลอง

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
A (มก./ล. ในรูปกรดอะซีติก)	328	328	447	407	-
B (มก./ล. ในรูปกรดอะซีติก)	52	50	45	210	-
C (มก./ล. ในรูปกรดอะซีติก)	52	52	48	86	-
ประสิทธิภาพการกำจัดกรกระเหยง่ายด้านล่างของถัง (%)	84	85	90	48	-
ประสิทธิภาพการกำจัดกรกระเหยง่ายบริเวณชั้นตัวกลาง (%)	0	0	0	59	-
(กรกระเหยง่ายที่กำจัด / ปริมาณจุลชีพ) ^{ด้านล่าง} (mgHAc/(mgVSS . L))	1.75	2.34	3.34	2.37	-
(กรกระเหยง่ายที่กำจัด / ปริมาณจุลชีพ) ^{ชั้นตัวกลาง} (mgHAc/(mgVSS . L))	0	0	0	2.03	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

จากตาราง 4.12 พบว่าค่าอัตราส่วนระหว่างกรกระเหยง่ายที่กำจัดต่อมวลจุลชีพที่บริเวณชั้นตัวกลาง ที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7, 19.2 และ 12.9 ชม. มีค่าน้อยมากแสดงให้เห็นว่าจุลชีพบริเวณชั้นตัวกลางไม่ค่อยมีบทบาทในการกำจัดกรกระเหยง่าย แต่ที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม. พบว่าอัตราส่วนดังกล่าวที่บริเวณชั้นตัวกลางมีค่าใกล้เคียงบริเวณชั้นตะกอนล่าง แสดงว่าจุลชีพบริเวณชั้นตัวกลางมีบทบาทในการกำจัดกรกระเหยง่ายใกล้เคียงจุลชีพบริเวณชั้นตะกอนล่าง

จากผลข้างต้น จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงจนเมื่อดตะกอนจุลชีพบริเวณชั้นตะกอนล่างเริ่มหลุดออกจากระบบแล้ว จุลชีพบริเวณชั้นตัวกลางมีส่วนช่วยรักษาคุณภาพของน้ำทิ้งให้สม่ำเสมอไว้ได้กรณีที่เวลาเก็บกักน้ำ 9.6 ชม. แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเมื่อดตะกอนจุลชีพหลุดออกจากชั้นตะกอนล่างจนหมด จุลชีพบริเวณชั้นตัวกลางก็ไม่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ทั้งหมดได้กรณีที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาเก็บกักน้ำในบริเวณชั้นตัวกลางด้วย

4.4.9 ก๊าซชีวภาพ

จากการทดลองพบว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นระบายออกจากชั้นของตะกอนได้อย่างไม่ต่อเนื่อง แต่จะมีการสะสมก๊าซในชั้นตะกอน จนมากถึงระดับหนึ่งจึงระบายออกมาทีละมาก ๆ พร้อมทั้งยกชั้นตะกอนบางส่วนให้ลอยขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.26 และจะตกตะกอนกลับลงมาปรากฏการณ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการผสมผสานภายในถังไม่มากพอ ถ้าปรับการผสมผสานให้มากพอแล้วจะสามารถลดการสะสมของก๊าซในชั้นตะกอนได้ การเพิ่มการผสมผสานอาจทำได้โดยการจัดเปลี่ยนการวางท่อน้ำเข้า หรืออื่น ๆ ซึ่งไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการศึกษานี้



รูปที่ 4.26 การยกตัวของชั้นตะกอนเนื่องจากก๊าซที่เวลาเก็บกักน้ำ 6.4 ชม.

ตารางที่ 4.13 เป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบ พบว่าเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นหรือเวลาเก็บกักน้ำลดลงแล้วระบบหมักผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้นตามความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ โดยมีค่า 10.28-35.44 ล./ว. หรือ 0.38-1.32 ล./(ล.ถึง . วัน) สำหรับรูปที่ 4.29 และ 4.30 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากระบบและองค์ประกอบของก๊าซตลอดการทดลอง

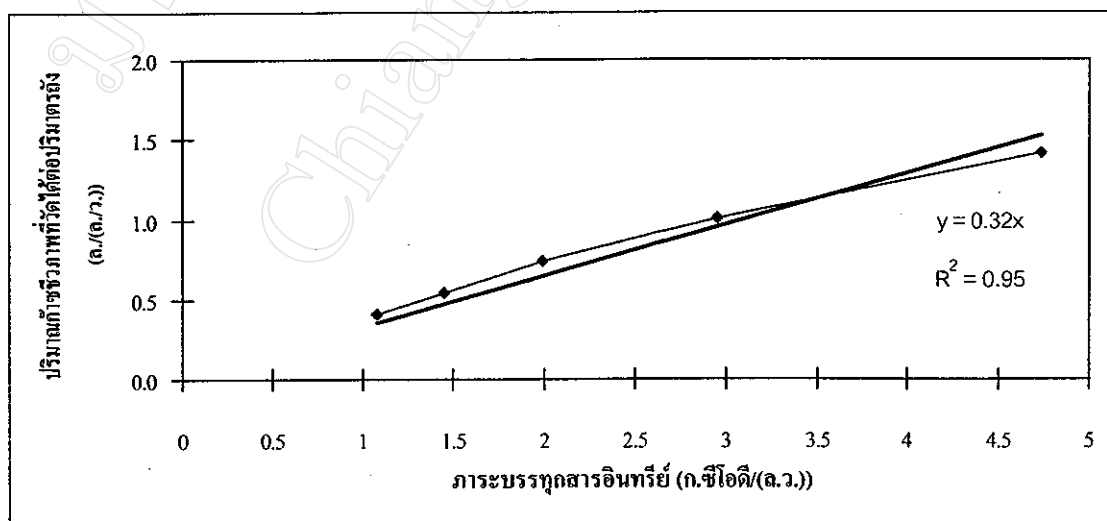
ก๊าซชีวภาพที่ได้มีองค์ประกอบเป็น CH_4 ร้อยละ 79.1-85.7 CO_2 มีค่าร้อยละ 10.2-13.5 และ N_2 ร้อยละ 4.1-8.0 ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา N_2 ในก๊าซชีวภาพนั้นจะพบที่การกักน้ำเสียความเข้มข้นต่ำเมื่อน้ำเสียไม่มี NO_3^- ก็ตาม ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ในปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุที่ชัดเจนของการเกิด N_2 ซึ่งได้แต่เพียงสันนิษฐานว่าละลายมากับน้ำเสีย แต่ตามกฎของเฮนรียนั้น N_2 ที่ละลายมากับน้ำเสียนั้นมีปริมาณน้อยมาก

ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบ

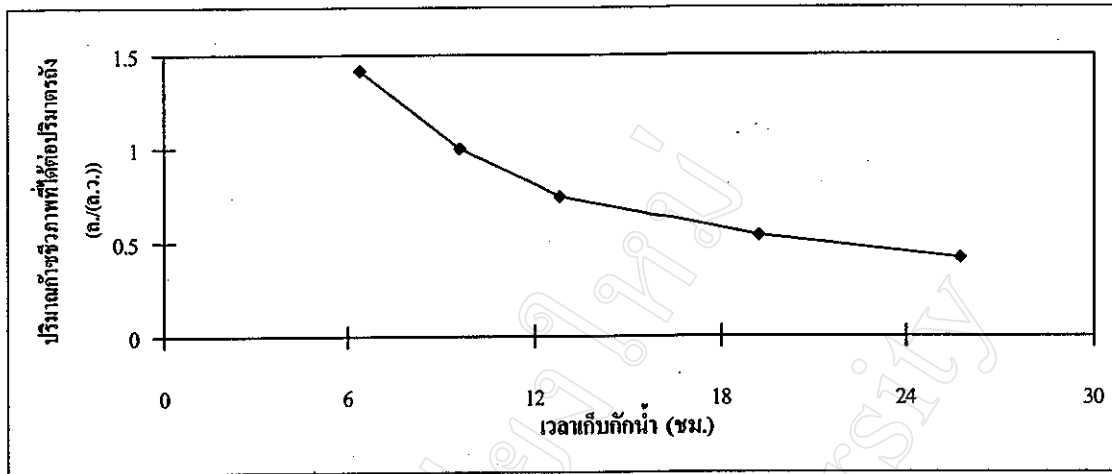
ลักษณะสมบัติ	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./ว.)	10.28	13.49	18.63	25.11	35.44
ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ล./(ล.ถั่ง . วัน))	0.38	0.50	0.70	0.94	1.32
องค์ประกอบ (ร้อยละ) - N ₂	6.3	8.0	4.6	4.1	6.2
- CH ₄	80.2	79.1	83.2	85.7	83.4
- CO ₂	13.5	12.9	12.2	10.2	10.4

ตารางที่ 4.14 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากการกำจัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

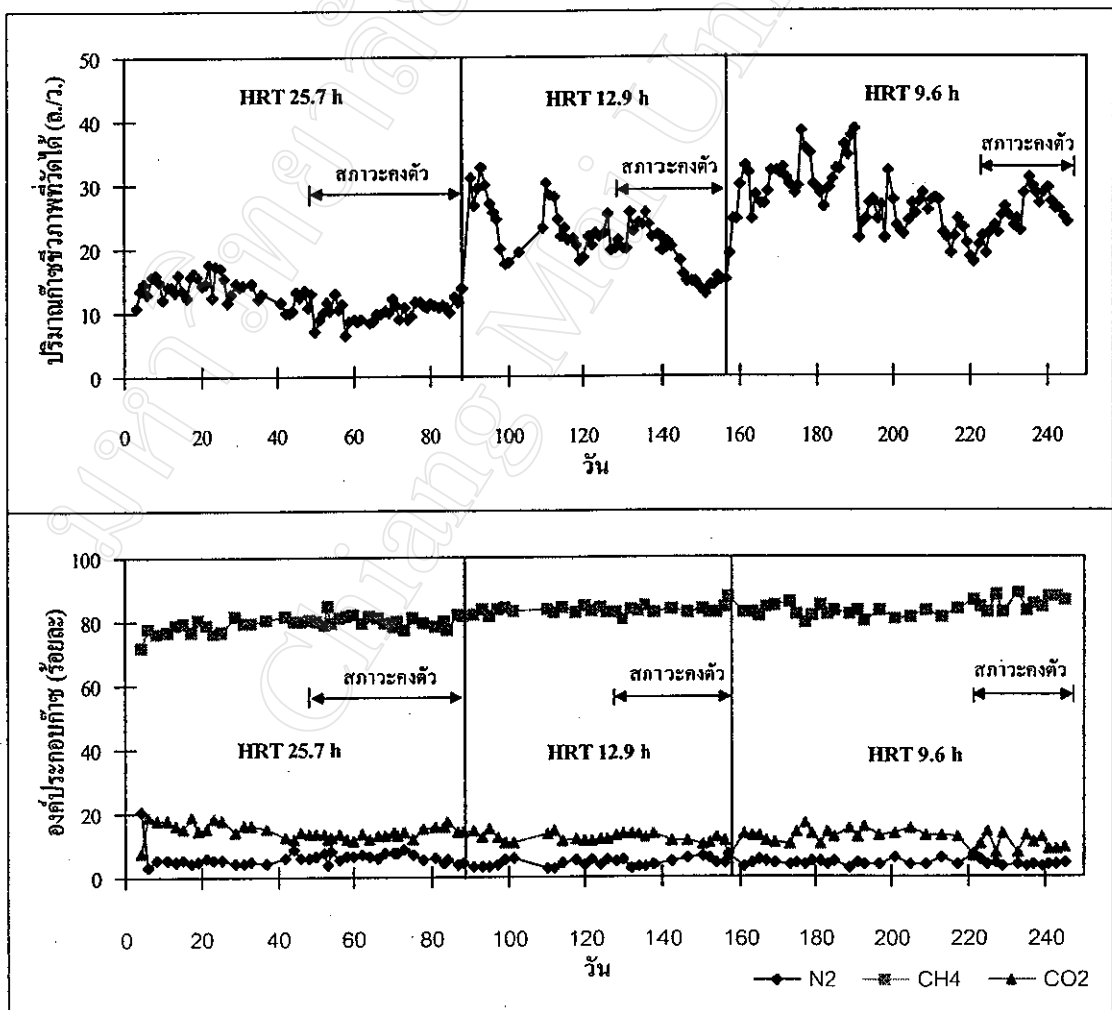
ดังปฏิกิริยา	แหล่งน้ำเสีย	COD (mg/L)	HRT(h)	องค์ประกอบ (ร้อยละ)			อ้างอิง
				N ₂	CH ₄	CO ₂	
AF	ชุมชน	1,273	16	6	80	14	Simpson, 1971
UASB	ชุมชน	525	8-24	2-4	74-84	14-22	Lettinga et al., 1983
UASB	ชุมชน	700	2	2-14	51-88	8-27	Fernandes et al., 1985
UASB	ชุมชน	627	4	26	64	5	Barbosa et al., 1989
UASB	ชุมชน	500	8-24	13-16	76	8-10	Agrawal, 1991
ABR	โรงฆ่าสัตว์	430-550	2.5-7.2	20-27	70-75	2-4	Kemmadamrong, 1992
UAHF	รง. เส้นก๊วยเตี๋ย	1,200	6.4-25.7	4-8	79-86	10-14	This study



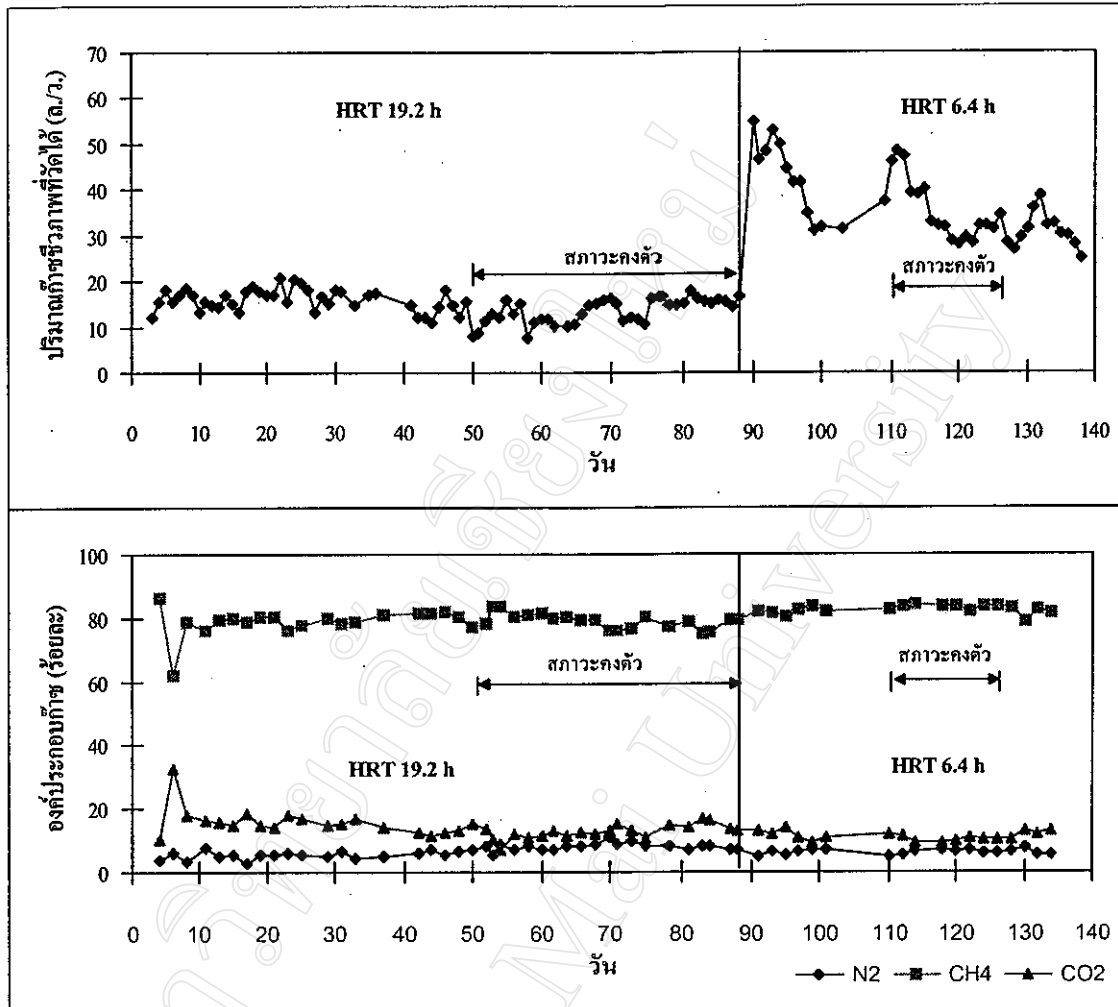
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกสารอินทรีย์และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเก็บกักน้ำและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้



รูปที่ 4.29 ปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 12.9 และ 9.6 ชม. (ถึง R1)



รูปที่ 4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้และองค์ประกอบที่เวลาเก็บกักน้ำ 19.2 และ 6.4 ชม. (ถึง R2)

ในทางทฤษฎีแล้ว การกำจัดชีโอดี 1 ก. ด้วยกระบวนการทางชีวเคมีแล้วจะได้ก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 0.35 ล. ที่สภาวะมาตรฐาน (ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ) (Tchobanoglous และ Burton, 1991) แต่ในความเป็นจริงแล้วจุลชีพต้องใช้ชีโอดีส่วนหนึ่งในการสร้างเซลล์ใหม่ หรือมีการสะสมของชีโอดีที่อยู่ในรูปตะกอน ดังนั้นค่าอัตราการผลิตมีเทนที่คำนวณจากการกำจัดชีโอดีที่การทดลองต่าง ๆ จึงมีค่าต่ำกว่าทฤษฎีเสมอ จากตารางที่ 4.15 พบว่าอัตราการผลิตมีเทนทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐานมีค่า 0.26-0.30 ล./ก.ชีโอดีที่กำจัด ซึ่งต่ำกว่าทฤษฎีประมาณร้อยละ 14-26 หรือคิดเป็นอัตราผลิตมีเทนที่สภาวะปกติเท่ากับ 0.26-0.30 ล./ก.ชีโอดีที่เข้าระบบ

ตารางที่ 4.15 ปริมาณมีเทนและอัตราการผลิตมีเทน

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
อุณหภูมิน้ำทิ้ง ($^{\circ}\text{C}$)	26	26	26	25	25
ชีโอดีทั้งหมดที่เข้าระบบ (ก./ว.)	28.9	38.5	53.5	78.7	126.5
ชีโอดีที่กำจัดได้ (ก./ว.)	28.0	36.9	51.3	71.4	114.9
ปริมาณมีเทนที่วัดได้ที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ว.)	8.2	10.7	15.5	21.5	29.6
ปริมาณมีเทนที่ละลายน้ำที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ว.)	0.66	0.86	1.36	1.90	2.77
ปริมาณมีเทนทั้งหมดที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ว.)	8.9	11.6	16.9	23.4	32.4
ปริมาณมีเทนทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (ล./ว.)	8.1	10.6	15.4	21.4	29.7
อัตราการผลิตมีเทนที่วัดได้ที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ก.ชีโอดีเข้าระบบ)	0.29	0.29	0.30	0.30	0.26
อัตราการผลิตมีเทนทั้งหมดที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ก.ชีโอดีเข้าระบบ)	0.31	0.30	0.32	0.30	0.25
อัตราการผลิตมีเทนทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (ล./ก.ชีโอดีเข้าระบบ)	0.28	0.27	0.29	0.27	0.23
อัตราการผลิตมีเทนที่วัดได้ที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ก.ชีโอดีที่กำจัด)	0.29	0.29	0.30	0.30	0.26
อัตราการผลิตมีเทนทั้งหมดที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ก.ชีโอดีที่กำจัด)	0.32	0.31	0.33	0.30	0.28
อัตราการผลิตมีเทนทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (ล./ก.ชีโอดีที่กำจัด)	0.29	0.29	0.30	0.30	0.26

หมายเหตุ : ชีโอดีที่กำจัดได้ = อัตราการไหล * (ชีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า - ชีโอดีละลายน้ำในน้ำทิ้ง)

ปริมาณมีเทนที่ละลายน้ำคำนวณตามกฎของเฮนรี ดังแสดงในภาคผนวก ข.

ปริมาณมีเทนที่สภาวะมาตรฐานคำนวณตามกฎของชาร์ล ดังแสดงในภาคผนวก ข.

เมื่อทำการหาปริมาณมีเทนที่ผลิตต่อมวลจุลชีพภายในถังปฏิกรณ์ และอัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ (Specific Substrate Utilization Rate, U) ได้ผลดังตารางที่ 4.16 ซึ่งพบว่าจุลชีพที่อยู่ในระบบที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงย่อมสามารถผลิตมีเทนได้มากกว่าเนื่องจากมีปริมาณอาหารต่อมวลจุลชีพ (F/M) มากกว่า เมื่อมีอาหารมากในสภาวะที่เหมาะสม จุลชีพย่อยกินอาหารได้มากเช่นกัน ดังนั้นจึงผลิตมีเทนได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อผลิตมามากเกินไปก็จะทำให้ตะกอนลอยได้ ดังนั้นกล่าวได้ว่าไม่ควรดำเนินระบบที่ F/M มากกว่า $0.34 \text{ gCOD}/(\text{gVSS.d})$ (เฉพาะสภาวะที่เหมือนกับการทดลองนี้ อันได้แก่ชนิดน้ำเสีย ชนิดของเชื้อตั้งต้น หรืออื่น ๆ) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าอัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ แล้วก็จะพบว่ามีค่าสูงกว่าอัตราการผลิตมีเทนจำเพาะเล็กน้อย เนื่องจากการค่า U นั้นได้รวมเอาชีโอดีในส่วนที่ใช้สร้างเซลล์และสะสมเอาไว้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตมีเทนของจุลชีพแต่ละกลุ่มนั้นจะการใช้การตรวจสอบหากิจกรรมของจุลชีพผลิตมีเทน (Specific Methanogenic Activity, SMA) ซึ่งอยู่นอกขอบเขตของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.16 อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ปริมาณมีเทนที่ผลิตต่อมวลจุลชีพ และอัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะที่เวลาเก็บกักน้ำต่าง ๆ

ตัวแปร	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)				
	25.7	19.2	12.9	9.6	6.4
ชีโอดีที่กำจัดได้ (ก.ชีโอดี/ว.)	28.0	36.9	51.3	71.4	114.9
ปริมาณมีเทนทั้งหมดที่สภาวะห้องทดลอง (ล./ว.)	8.9	11.6	16.9	23.4	32.4
ชีโอดีที่เปลี่ยนไปเป็นมีเทน* (ก.ชีโอดีมีเทน/ว.)	23.3	30.4	44.2	61.3	84.8
ปริมาณจุลชีพทั้งหมดในถัง (ก.ของแข็งแขวนลอยระเหย)	307.9	287.0	155.3	143.9	-
อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ (ก.ชีโอดี/(ก.ของแข็งแขวนลอยระเหย . ว.))	0.09	0.13	0.34	0.55	-
ปริมาณมีเทนที่ผลิตต่อมวลจุลชีพ (ก.ชีโอดีมีเทน/(ก.ของแข็งแขวนลอยระเหย . ว.))	0.08	0.11	0.29	0.43	-
อัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ (ก.ชีโอดีที่กำจัด/(ก.ของแข็งแขวนลอยระเหย . ว.))	0.09	0.13	0.33	0.50	-

หมายเหตุ : *ก๊าซมีเทน 1 ล. เทียบเท่ากับชีโอดี 2.618 ก. (ที่ 25 °ซ)

4.4.10 สมดุลของชีโอดีในระบบ

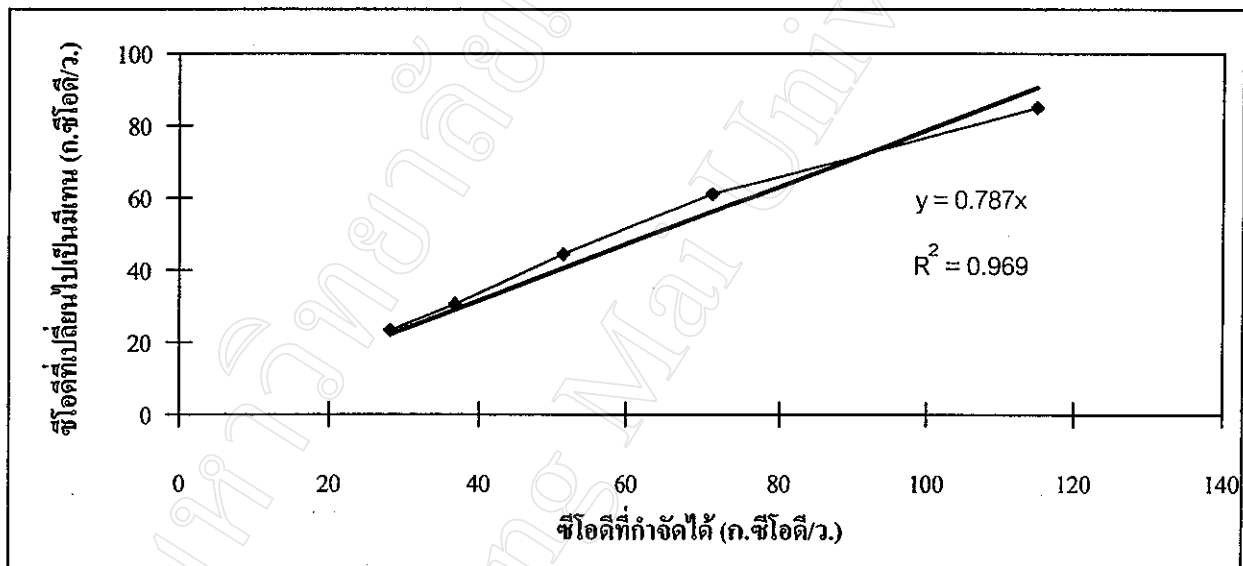
ชีโอดีจากน้ำเสียเมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนแล้วจะเปลี่ยนไปในรูปของ มีเทน และเซลจุลชีพใหม่ ส่วนชีโอดีที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่ย่อยสลายได้ยากจะสะสมในระบบ และชีโอดีที่เหลือจะหลุดออกมากับน้ำทิ้ง ดังสมการที่ (4.1)

$$TCOD_{inf} = COD_{methane} + COD_{biomass} + COD_{accumulation} + COD_{eff} \quad (4.1)$$

โดยที่ $TCOD_{inf}$	=	ชีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า (ก.ชีโอดี/ว.)
$COD_{methane}$	=	ชีโอดีที่เปลี่ยนไปเป็นมีเทน (ก.ชีโอดี/ว.)
$COD_{biomass}$	=	ชีโอดีที่เปลี่ยนไปเป็นเซลจุลชีพ (ก.ชีโอดี/ว.)
$COD_{accumulation}$	=	ชีโอดีที่สะสมในระบบ (ก.ชีโอดี/ว.)
COD_{eff}	=	ชีโอดีในน้ำทิ้ง (ก.ชีโอดี/ว.)

ในทางปฏิบัติไม่สามารถแยกชีโอดีในส่วนของสารอินทรีย์แขวนลอยที่เหลือและจุลชีพที่หลุดออกได้ ถ้าชีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในรูปสารละลายทั้งหมด หรือถ้าระบบสามารถละลายอนุภาคที่มากับน้ำเสียได้มากแล้วจะทำให้ชีโอดีของน้ำเสียที่เหลืออยู่เป็นสารละลายเท่านั้น กรณีนี้จะสามารถเขียนสมการที่ (4.1) ได้ใหม่เป็นสมการที่ (4.2) การสะสมของชีโอดีในกรณีนี้จะเป็นผลเนื่องมาจากการสร้างเซลล์ของจุลชีพเท่านั้น ซึ่งถ้าสมมติให้ชีโอดีของน้ำเสียที่เหลือออกมาในน้ำทั้งอยู่ในรูปชีโอดีละลายน้ำเท่านั้นแล้ว จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.2) ได้ดังรูปที่ 4.31

$$\text{TCOD}_{\text{inf}} - \text{FCOD}_{\text{eff}} = \text{COD}_{\text{methane}} + \text{COD}_{\text{accumulation}} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างชีโอดีที่กำจัดได้และชีโอดีที่เปลี่ยนไปเป็นมีเทน

จากรูปที่ 4.31 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างชีโอดีที่กำจัดได้และชีโอดีที่เปลี่ยนไปเป็นมีเทนค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.787 กล่าวได้ว่าชีโอดีที่ระบบกำจัดได้นั้น ร้อยละ 78.7 จะเปลี่ยนไปเป็นมีเทน ส่วนที่เหลือร้อยละ 21.3 นั้นจะสะสมอยู่ในระบบ (การสะสมเนื่องมาจากการสร้างเซลล์ และอนุภาคแขวนลอยที่ยังไม่ละลาย) เมื่อพิจารณาสมการที่ (4.2) ทางซ้ายมือจะพบว่า เมื่อใช้ค่า TCOD_{inf} แทน FCOD_{eff} แล้วจะมีผลให้ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นเป็น 0.87 ซึ่งค่าที่แท้จริงน่าจะอยู่ระหว่าง 0.79-0.87 อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่ากลไกหลักของการกำจัดชีโอดีในน้ำคือการสร้างมีเทน ในงานวิจัยอื่น ๆ ด้วยวิธีการเดียวกันนี้ สามารถ

แสดงสัดส่วนของซีโอดีที่ถูกกำจัดได้ดังตารางที่ 4.17 พบว่าสัดส่วนของซีโอดีที่ใช้ไปในการสร้างมีเทนและสะสมนั้นมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับสถานะที่ทดลอง ชนิดน้ำเสีย และเทคนิคการเลี้ยงเชื้อ เช่น Fang และ Kwong หรือ Lwin ได้มีการปรับสภาพเชื้อให้สามารถย่อยสลายอนุภาคแป้งได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การสะสมต่ำ

ตารางที่ 4.17 สัดส่วนของซีโอดีที่กำจัดได้ของการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน

ถังปฏิกริยา	น้ำเสีย	อุณหภูมิ (°ซ)	สัดส่วนของซีโอดี ที่กำจัดได้ (ร้อยละ)		อ้างอิง
			สร้างมีเทน	สะสม	
UBF	แป้งข้าวโพด	37	86.1	13.9	Fang & Kwong, 1995
UASB	แป้งข้าวโพด	37	85.9	14.1	Fang & Kwong, 1996
UASB/AF	แป้งข้าวโพด	37	85.9	14.1	Fang & Kwong, 1996
UASB	แป้งมันสำปะหลัง	30-32	94.2	5.8	Lwin, 1996
AHR	กรดพทาสิก	35	89.5	10.5	Tur & Huang, 1997
UAHF	น้ำล้างข้าวเจ้า	25-26	78.7	21.3	This study

4.5 ผลของปริมาณโซดาแอสและพีเอช ในน้ำเข้า

จากการเติมโซดาแอสในน้ำเสียในปริมาณ 0.5-0.9 ก./ล.ของน้ำเสียในการทดลองที่ 1-3 พบว่าไม่มีปัญหาการลดลงของพีเอชในระบบเนื่องจากการสะสมของกรดระเหยง่ายเลย โดยที่พีเอชมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.61-6.92 ทั้งในน้ำเข้าและน้ำทิ้ง แต่ในความเป็นจริงแล้ว การเสียค่าใช้จ่ายในการเติมค่าเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาของผู้ประกอบการเลย ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงสมรรถนะของระบบเมื่อพีเอชของน้ำเข้ามีค่าต่ำลง โดยการลดปริมาณโซดาแอสลงเป็นระยะ ๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.18

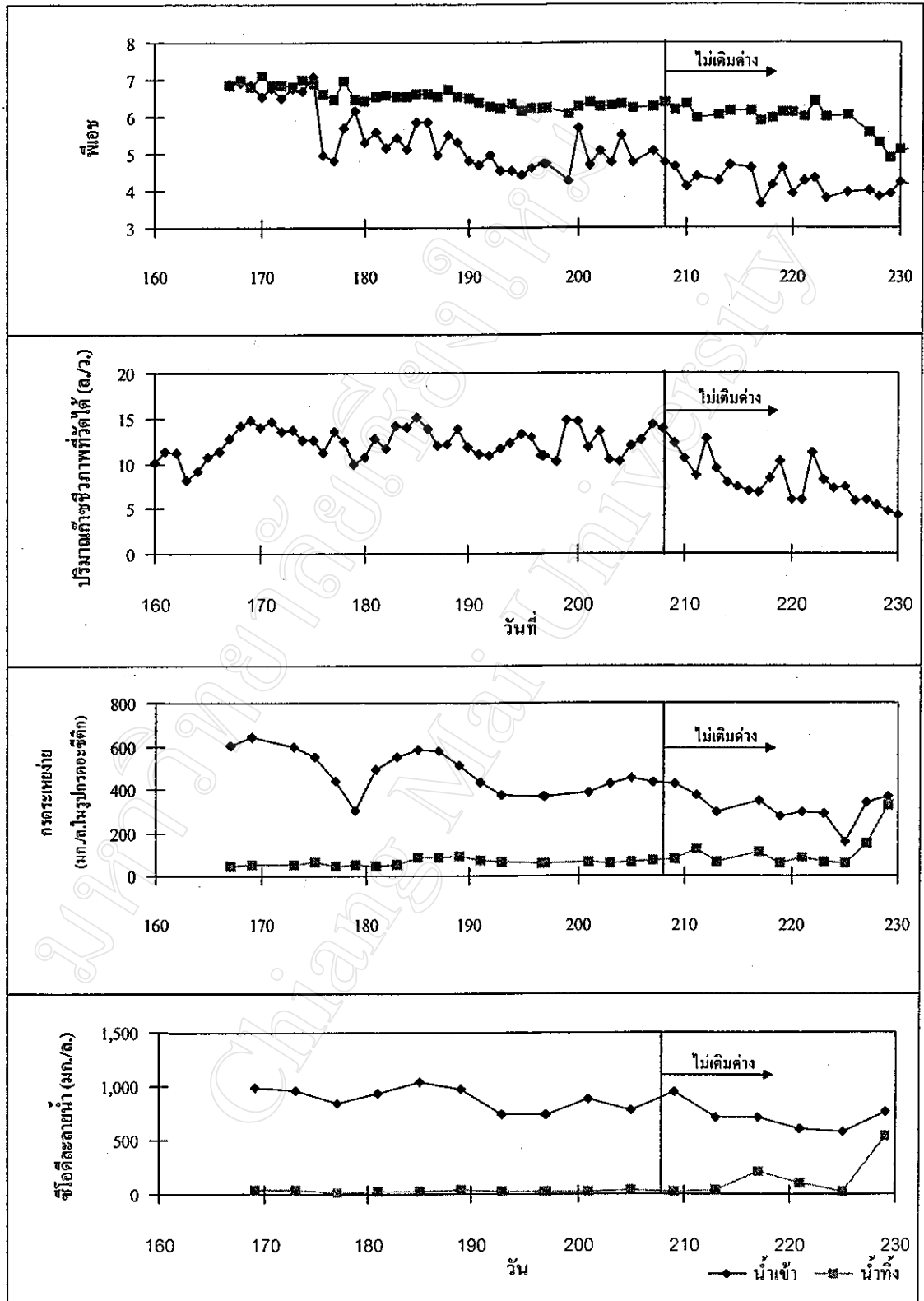
ตารางที่ 4.18 รายละเอียดการทดลองที่ 4

วัน	เวลาเก็บกักน้ำ (ชม.)	ปริมาณโซดาแอส (ก./ล.ของน้ำเสีย)	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ก.ซีโอดี/(ล.ว.))
160-175	25.7	0.5-0.9	1.47
176-190	25.7	0.25-0.30	1.28
191-208	25.7	0.15-0.20	1.02
209-230	25.7	0	1.07

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ สภาพค่างทั้งหมด กรดระเหยง่าย และซีโอดีละลายน้ำ ตลอดจนการทดลองที่ 4 แสดงดังรูปที่ 4.32 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ช่วงวันต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.19 พบว่าระบบยังมีสมรรถนะเป็นที่น่าพอใจแม้ปริมาณโซดาแอชจะลดลงเหลือ 0.15-0.20 ก./ล.ของน้ำเสีย โดยพีเอชของน้ำเข้าและน้ำทิ้งใน ช่วงวันที่ 176-208 มีค่าเฉลี่ย 4.27 และ 6.27 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำมีค่าสูงกว่าร้อยละ 90 เมื่อปริมาณโซดาแอชลดลงแล้ว ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพค่างไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น จาก 0.07 เป็น 0.23 แสดงให้เห็นว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนดังกล่าวยังมีค่าต่ำกว่า 0.4 ดังนั้นกำลังบัฟเฟอร์น่าจะเพียงพอในการดำเนินการแล้ว

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยตัวแปรต่าง ๆ ของการทดลองที่ 4

ตัวแปร	วัน			
	160-175	176-190	191-208	229
สภาพค่างทั้งหมดในน้ำเข้า (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	664	236	132	0
สภาพค่างทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	832	469	324	128
กรดระเหยง่ายในน้ำเข้า (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	600	494	411	366
กรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง (มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก)	54	66	65	323
(กรดระเหยง่าย / สภาพค่างไบคาร์บอเนต) _{น้ำทิ้ง}	0.07	0.16	0.23	∞
ซีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า (มก./ล.)	1470	1279	1020	1275
ซีโอดีทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	100	99	62	632
ซีโอดีละลายน้ำในน้ำเข้า (มก./ล.)	976	949	784	769
ซีโอดีละลายน้ำในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	45	27	28	542
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (ร้อยละ)	93	92	94	50
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายน้ำ (ร้อยละ)	97	98	97	57
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเข้า (มก./ล.)	365	213	206	334
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	45	30	36	60.5
พีเอชน้ำเข้า	6.75	5.21	4.70	3.94
พีเอชน้ำทิ้ง	6.90	6.60	6.27	4.88
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ (ล./ว.)	12.17	12.61	12.29	4.79
องค์ประกอบ (ร้อยละ) - N ₂	4.7	4.9	4.3	6.1
- CH ₄	82.4	79.4	78.9	73.6
- CO ₂	12.9	15.7	16.8	20.3



รูปที่ 4.32 พีเอช ปริมาณก๊าซชีวภาพ กรดอะมโมเนีย และซีโอดีละลายน้ำของการทดลองที่ 4

เมื่อหยุดการเติมโซดาแอซ ในช่วงวันที่ 209-225 พีเอชในน้ำเข้าและน้ำทิ้งมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 และ 6.07 ตามลำดับ พบว่าสมรรถนะของระบบลดค่าลง โดยที่ค่าซีโอดีและกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น พร้อม ๆ กับที่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งในวันที่ 227 พบว่าพีเอชในน้ำทิ้งลดเหลือ 5.56 โดยที่กรดระเหยง่ายมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างเฉียบพลัน ต่อมาในวันที่ 229 พบว่าพีเอชในน้ำทิ้งลดเหลือ 4.88 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเหลือเพียงร้อยละ 50 และปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงจากประมาณ 12 ล./ว. เหลือเพียง 4.79 ล./ว. เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนไม่สามารถทำงานได้แล้ว เพราะว่าพีเอชในระบบมีค่าต่ำเกินไป อันเป็นผลเนื่องมาจากสภาพด่างไม่พอเพียง จากตารางที่ 4.19 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างไบคาร์บอเนตในวันที่ 229 มีค่าสูงมาก แสดงให้เห็นว่าไม่มีสภาพบัฟเฟอร์เลย

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนในก๊าซชีวภาพ พบว่าเมื่อลดปริมาณด่างแล้วทำให้องค์ประกอบคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น พร้อม ๆ กับองค์ประกอบมีเทนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากพีเอชในระบบลดค่าลงย่อมทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (Sawyer et al., 1994)

จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าระบบยังสามารถทำงานได้ที่พีเอช 6.27 (น้ำเข้ามีพีเอชเฉลี่ย 4.70 และสภาพด่างทั้งหมด 132 มก./ล.ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) โดยอยู่นอกช่วงค่าที่ McCarty (1964a) และ Bryant (1984) แนะนำไว้เล็กน้อย (6.5-7.5) ดังนั้นจะเห็นว่าปริมาณด่างที่เติมลงในน้ำเสียที่เวลาเก็บกักน้ำ 25.7 ชม. ในการทดลองที่ 1 นั้นมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามการเติมด่างลงในน้ำเสียเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบแบบปิดฝา เนื่องจากสามารถมีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.3 โดยเมื่อพิจารณาเส้นที่พีเอชเดียวกันแล้ว จะเห็นว่าหากสามารถลดสัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซเหนือผิวน้ำให้เหลือน้อยได้ (เช่นการเปิดฝาดัง) สภาพด่างไบคาร์บอเนตที่ระบบต้องการจะลดต่ำลงด้วย