

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

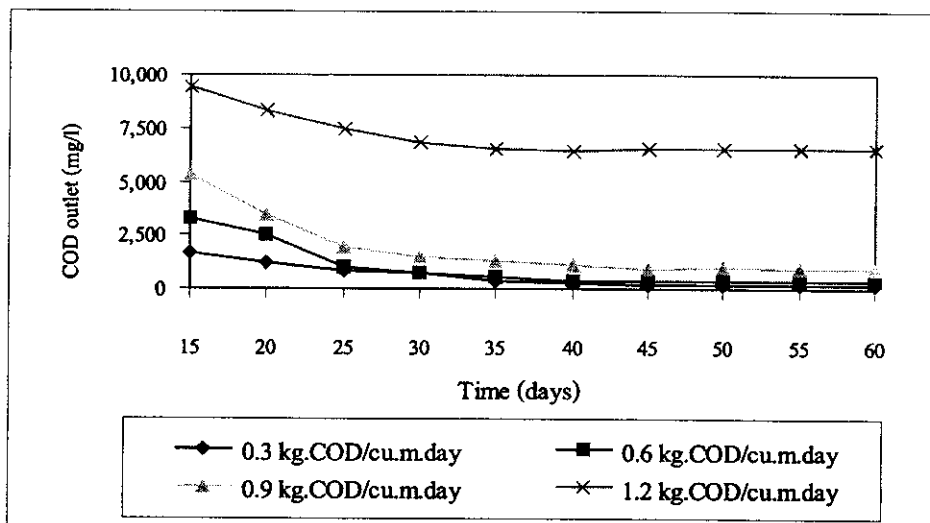
3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ

3.1.1 อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR)

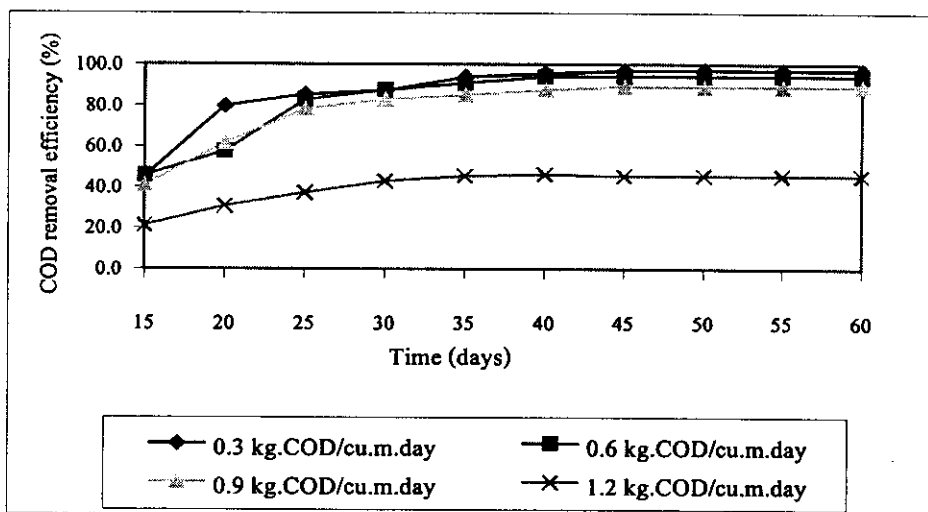
การศึกษาผลของอัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี พบว่า อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง โดยที่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.3 0.6 0.9 และ 1.2 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาที่เก็บ 10 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 94.3 94.3 89.2 และ 44.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ผลการทดลองเฉลี่ยภายใต้สภาวะคงตัวที่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

พารามิเตอร์	อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)				
	0.3	0.6	0.9	1.2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเข้มข้นซีโอดี (มก./ล.)	172	342	975	6,635	4-11
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	94.3	94.3	89.2	44.7	0.1-0.2
ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (มก./ล.)	1,590	1,645	1,845	2,245	3-28
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป CH ₃ COOH)	606	630	1,619	2,084	29-43
สภาพด่าง (มก./ล. ในรูป CaCO ₃)	1,896	2,088	2,249	2,468	51-82
ความเป็นกรด-ด่าง	8.21	8.09	7.61	7.31	0.01-0.08
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (-)	0.32	0.30	0.72	0.84	0.02-0.04
ความหนาฟิล์มชีวะ (ไมครอน)	67.14	68.10	51.43	30.47	5.06-8.49

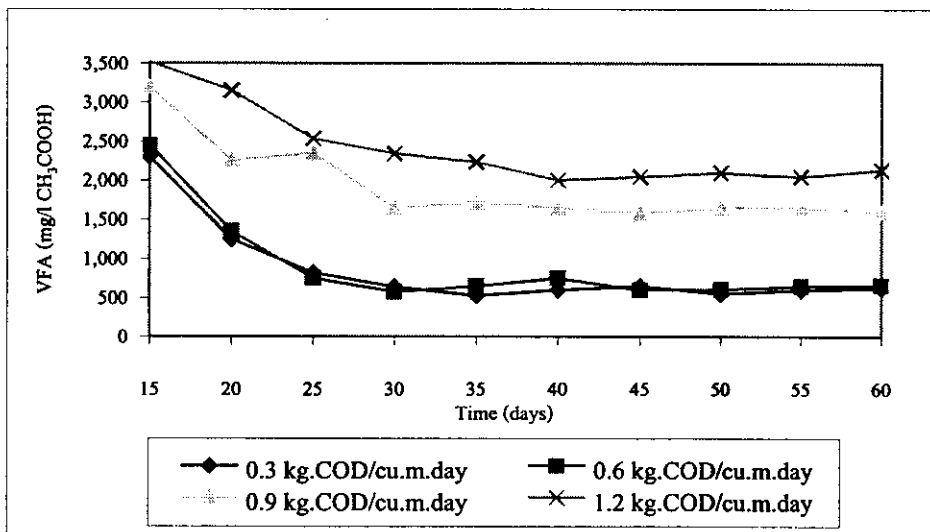


ภาพประกอบ 7 ความเข้มข้นซีโอดีทางออกของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน

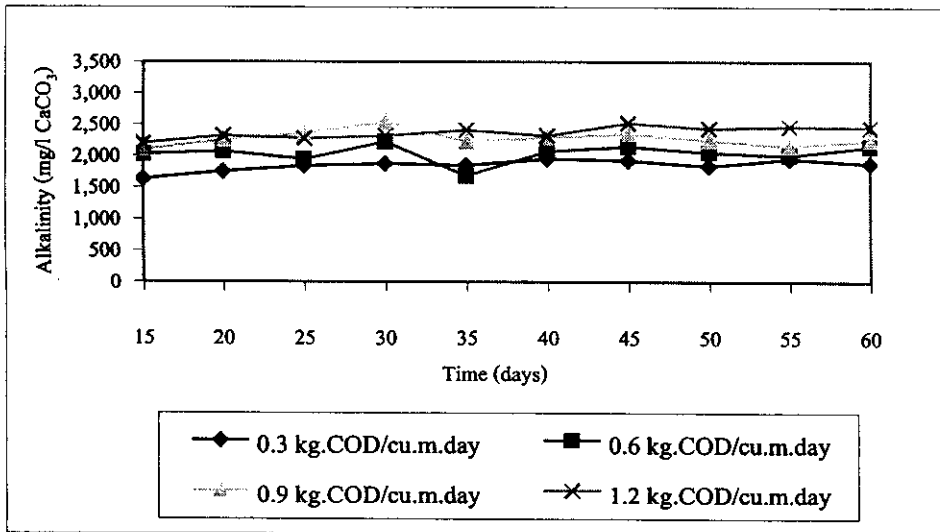


ภาพประกอบ 8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน

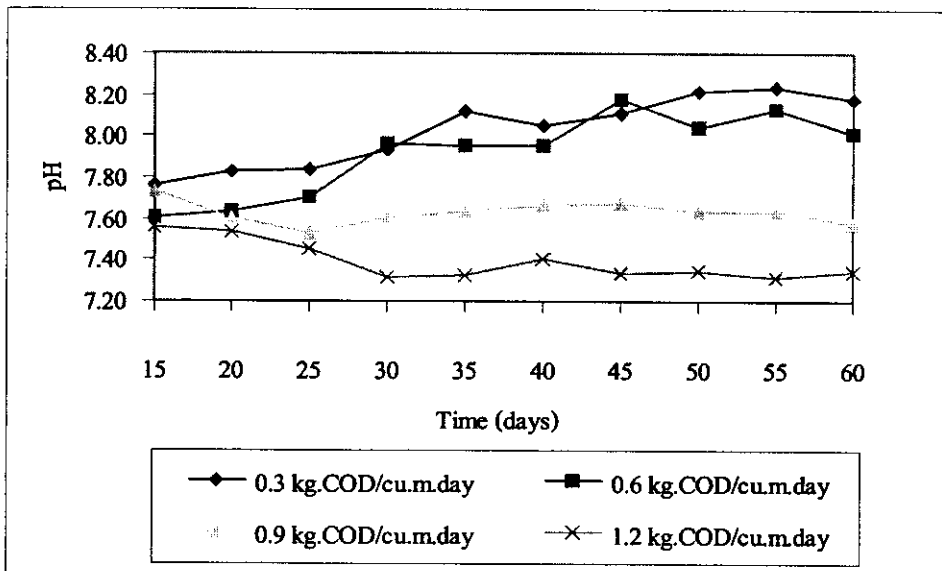
จากภาพประกอบ 7 และ 8 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.3 และ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงกว่าที่ 0.9 และ 1.2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ อภิสัทธี และ ขจรศักดิ์ (2540) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ ซึ่งที่อัตราการระบรทุก 2 2.4 3 4 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ที่อัตราการระบรทุก 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงสุด เนื่องจากเมื่ออัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทนถูกยับยั้ง จึงทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย (Chua *et al.*, 1997) ทำให้กรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 606 630 1,619 และ 2,084 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงภาพประกอบ 9 ในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่าย จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น เมื่อก๊าซนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งไม่เสถียร จากนั้นจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนและไบคาร์บอเนตไอออน ทำให้สภาพด่างเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ดังนี้ 1,896 2,088 2,249 และ 2,468 มก./ล.ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 10 สภาพด่างจะทำหน้าที่รักษาสมดุลของระบบ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นบัฟเฟอร์ของระบบ มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงเป็นกลาง คือที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.2 8.1 7.6 และ 7.3 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 11 และ 12



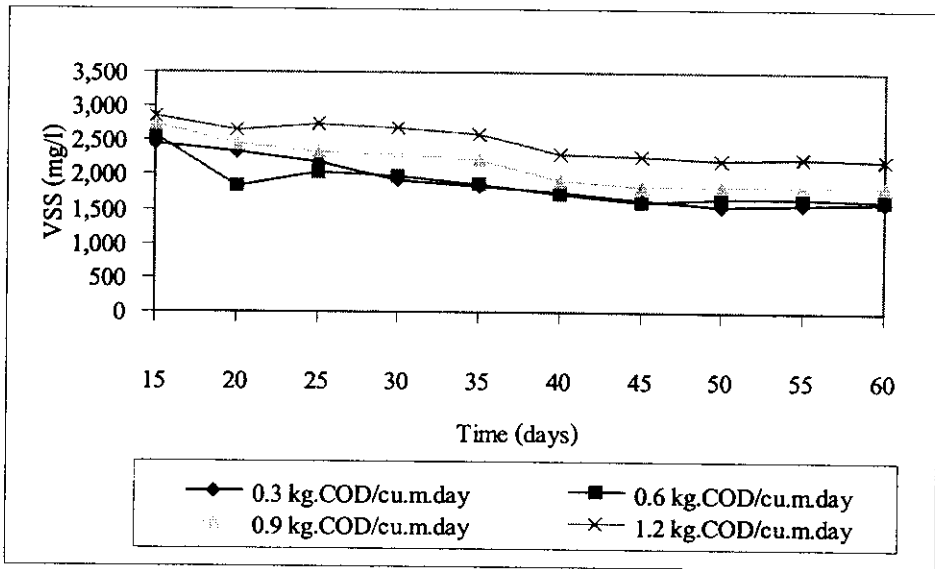
ภาพประกอบ 9 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน



ภาพประกอบ 10 สภาพต่างของดังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน

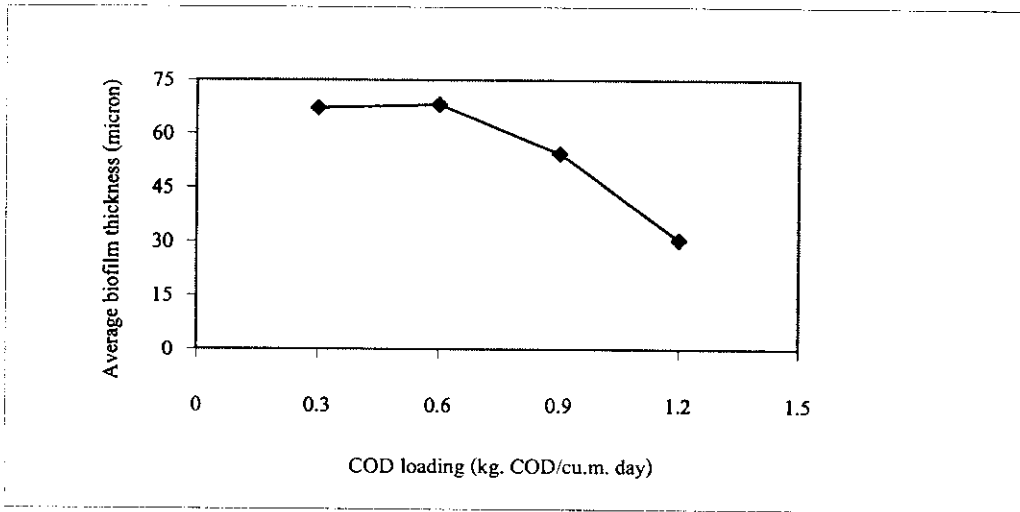


ภาพประกอบ 11 ความเป็นกรด-ด่างของดังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน

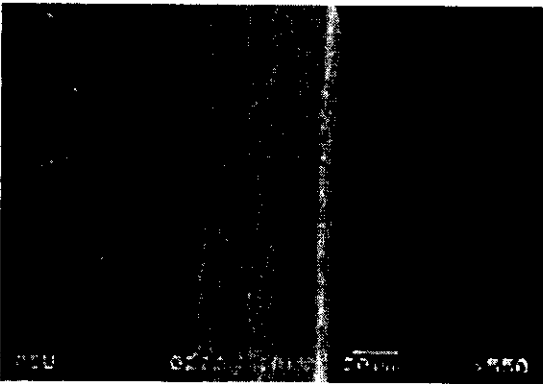


ภาพประกอบ 12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ ที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน

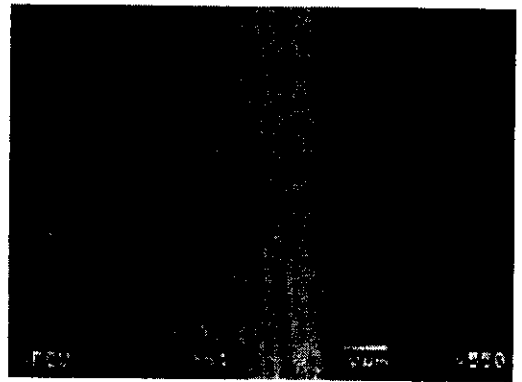
จากภาพประกอบ 12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบสูงขึ้น มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังนี้ 1,590 1,645 1,845 และ 2,246 มก./ล.ตามลำดับ เนื่องจากระบบเริ่มขาดเสถียรภาพ กล่าวคืออัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่าย ต่อสภาพด่าง (VFA:Alkalinity) มากกว่า 0.4 ดังตาราง 6 มีผลทำให้จุลินทรีย์เริ่มตาย (เกรียงศักดิ์, 2543) และหลุดลอกออกมาจากตัวกลางกรอง ดังนั้นจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบจึงเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีแนวโน้มสูงขึ้น ประกอบกับความหนาของฟิล์มชีวะมีแนวโน้มลดลง ดังภาพประกอบ 13 และ 14



ภาพประกอบ 13 ความหนาของฟิล์มชีวะัฒรภาระบรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

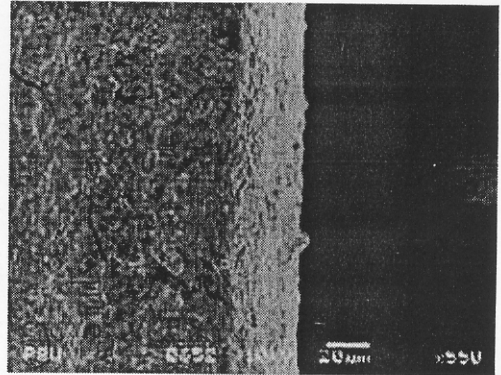
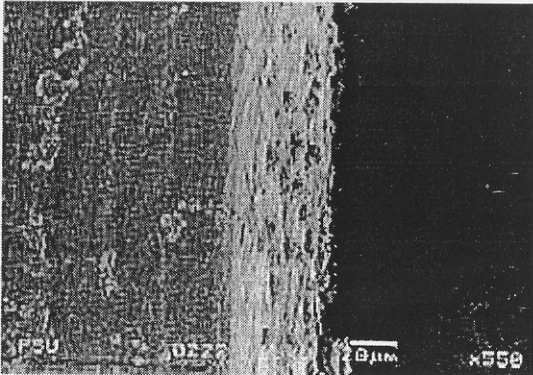


ก. อัฒรภาระบรทุกสารอินทรีย์
0.3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข. อัฒรภาระบรทุกสารอินทรีย์
0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ภาพประกอบ 14 ตัวอย่างความหนาฟิล์มชีวะที่แสดงด้วยเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 550 เท่าที่อัฒรภาระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



ค. อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์
0.9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ง. อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์
1.2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ภาพประกอบ 14 (ต่อ)

3.1.2 ระยะเวลาที่กักเก็บ (Hydraulic retention time, HRT)

การศึกษาผลของระยะเวลาที่กักเก็บต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง เมื่อระยะเวลาที่กักเก็บลดลง โดยที่อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่ระยะเวลาที่กักเก็บ 10 7 5 และ 4 วันเท่ากับ 94.3 78.7 65.0 และ 59.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในตาราง 8

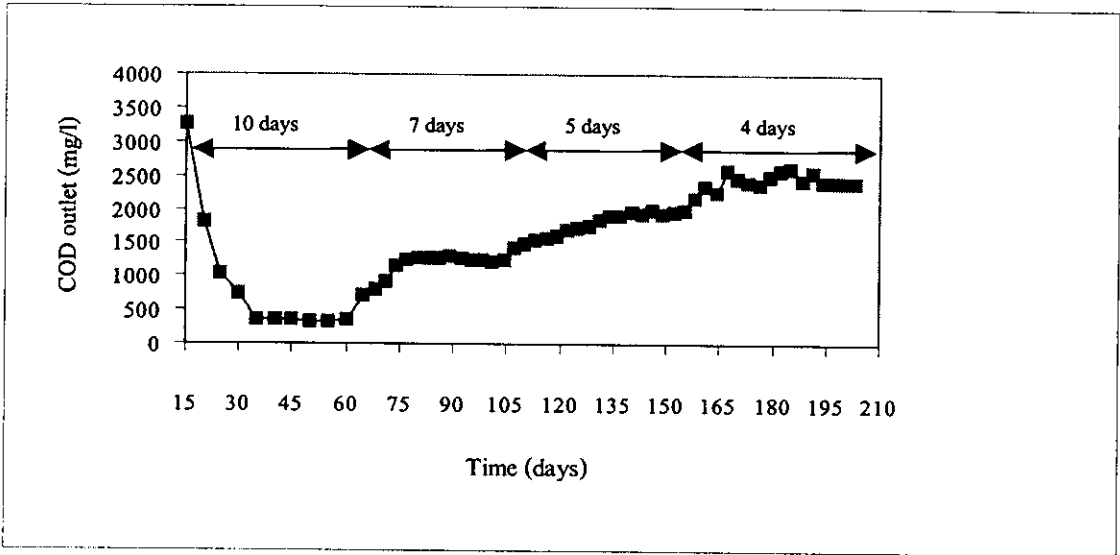
ตาราง 8 ผลการทดลองเฉลี่ยภายใต้สภาวะคงตัวที่ระยะเวลาที่กักเก็บต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ระยะเวลาที่กักเก็บ (วัน)				
	10	7	5	4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเข้มข้นซีโอดี (มก./ล.)	342	1,237	1,964	2,401	4-25
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	94.3	78.7	67.3	59.7	0.1-0.5
ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (มก./ล.)	1,645	1,535	1,433	1,100	20-28
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป CH ₃ COOH)	496	1,312	1,456	1,729	44-84

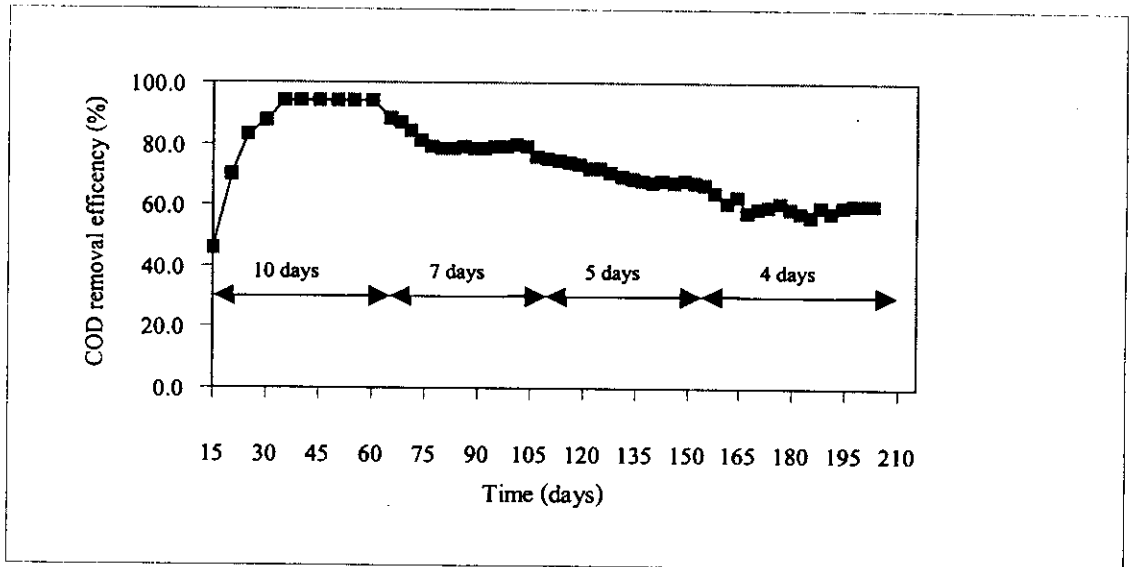
ตาราง 8 ผลการทดลองเฉลี่ยภายใต้สภาวะคงตัวที่ระยะเวลาเก็บต่าง ๆ (ต่อ)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บ (วัน)				
	10	7	5	4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สภาพต่าง (มก./ล. ในรูป CaCO ₃)	2,088	2,355	2,079	1,875	46-75
ความเป็นกรด-ด่าง	8.09	8.13	7.73	7.03	0.03-0.11
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (-)	0.24	0.58	0.70	0.92	0.02-0.07
ความหนาฟิล์มชีวะ (ไมครอน)	68.10	47.71	34.86	20.22	3.43-10.11

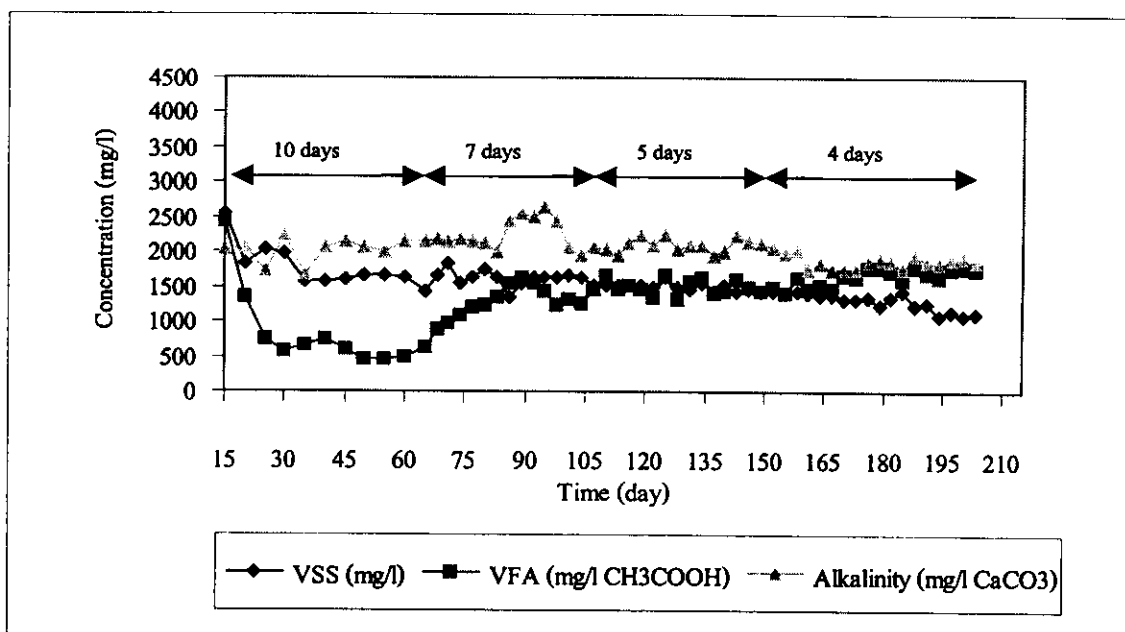
จากภาพประกอบ 15 และ 16 ที่ระยะเวลาเก็บ 10 วัน จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บ 7 5 และ 4 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องผลการทดลองของธงชัย และวิบูลลักษณ์ (2540) พบว่าโดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการบำบัดไม่ควรต่ำกว่า 5 วัน ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 10 วัน ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.8-4.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 84-98 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในการศึกษาอื่นๆ ก็ได้ผลในแนวโน้มนั้นเช่นกันที่แสดงว่าระยะเวลาเก็บที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง Denac และ Dunn (1988) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบ Packed bed และ Fluidized bed ภายใต้อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งสองถังปฏิกรณ์ลดลง เมื่อระยะเวลาเก็บลดลง Grobicki และ Stuckey (1991) พบว่าอัตราการถ่ายโอนมวลจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บลดลง Guiot *et al.*, (1989) พบว่าความเข้มข้นซีโอดีที่ทางออกของถังปฏิกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บลดลงนั้น กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะมีค่าลดลง



ภาพประกอบ 15 ความเข้มข้นซีโอดีทางออกของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาพักเก็บต่าง ๆ

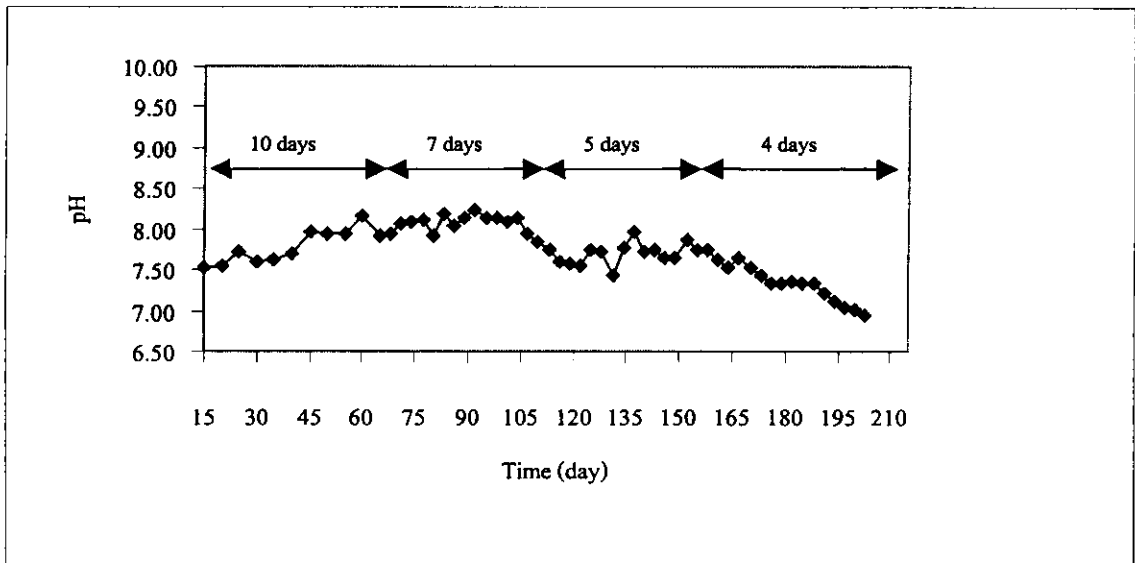


ภาพประกอบ 16 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาพักเก็บต่าง ๆ

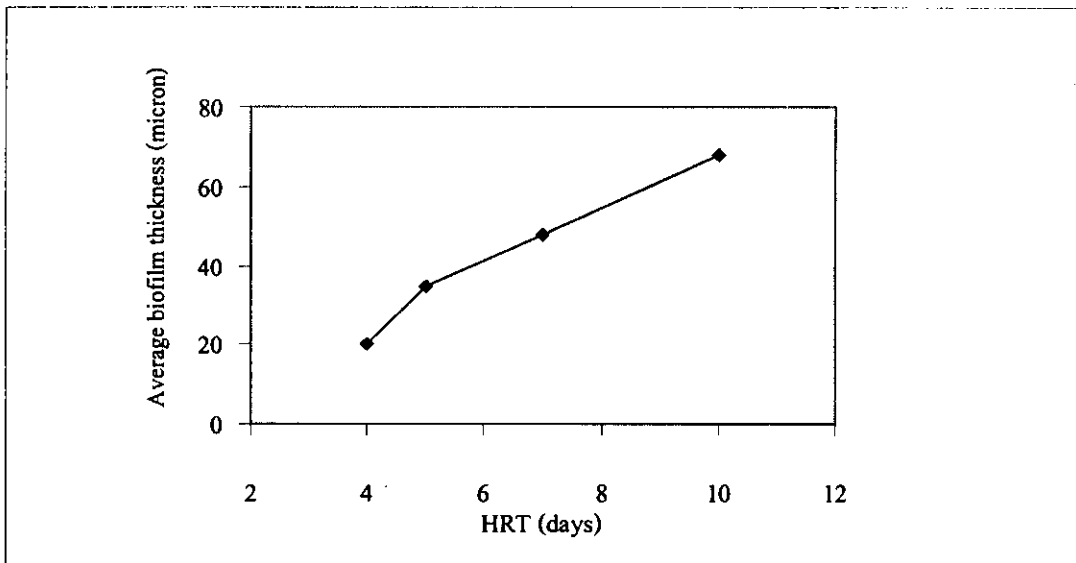


ภาพประกอบ 17 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย สภาพต่าง และปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาพักเก็บต่าง ๆ

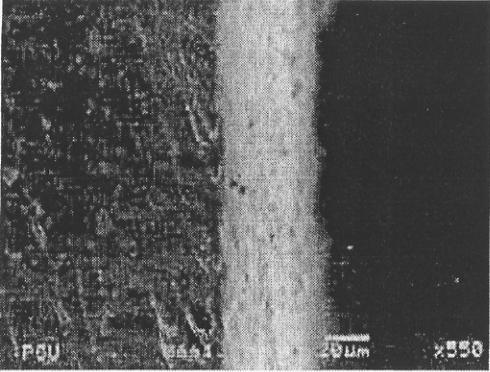
เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนถูกยับยั้ง ทำให้เกิดการสะสมของไขมันระเหยง่ายจำนวนมากเกิดขึ้น (Chua *et al.*, 1997) ทำให้กรดไขมันระเหยง่ายไม่สามารถถูกย่อยสลายให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนได้ ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 496 1,312 1,456 และ 1,729 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงภาพประกอบ 17 มีผลทำให้อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างมากกว่า 0.4 แสดงในตาราง 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาพักเก็บลดลงซึ่งเป็นสภาพที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนลดจำนวนลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงด้วย ประกอบกับค่าสภาพต่างมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากจุลินทรีย์สร้างมีเทนมีจำนวนน้อยทำให้การย่อยสลายกรดไขมันแล้วทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ผลก็คือสภาพต่างจึงมีแนวโน้มคงที่ ประกอบกับค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ดังภาพประกอบ 18



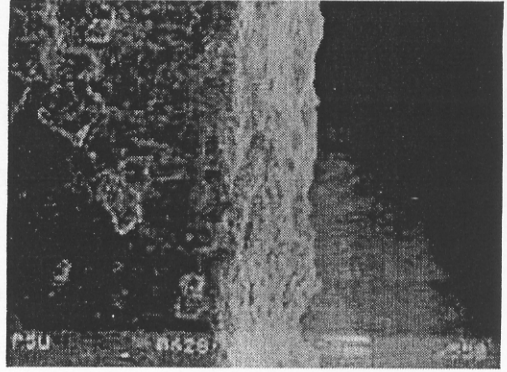
ภาพประกอบ 18 ความเป็นกรด-ด่างของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่ระยะเวลา
กักเก็บต่างๆ



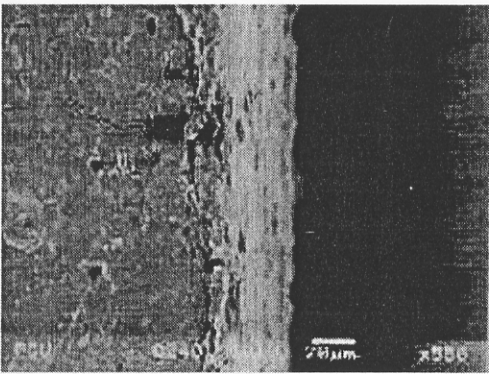
ภาพประกอบ 19 ความหนาของฟิล์มชีวะที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ



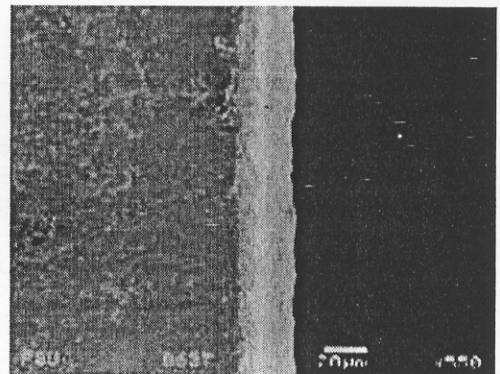
ก. ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน



ข. ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน



ค. ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน



ง. ระยะเวลาพักเก็บ 4 วัน

ภาพประกอบ 20 ความหนาฟิล์มชีวะที่แสดงด้วยเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 550 เท่า
ที่ระยะเวลาพักเก็บต่างๆ

จากภาพประกอบ 17 แสดงปริมาณของแฉ่งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบลดลง เมื่อระยะเวลาพักเก็บลดลง เนื่องจากที่ระยะเวลาพักเก็บต่ำ ความเร็วของน้ำเสียที่ผ่านระบบสูง มีผลทำให้จุลินทรีย์ถูกพัดพาออกจากระบบมากในช่วงแรก แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ปริมาณจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบจะมีแนวโน้มลดลง โดยทั่วไปแล้วลักษณะของระบบ Immobilized cell จุลินทรีย์ที่ออกจากระบบมักจะมีปริมาณของแฉ่งออกจากระบบต่ำ (Chua *et al.*, 1997) ทำให้ของแฉ่งแขวนลอยระเหยง่ายที่วัดได้มีปริมาณลดลง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังนี้ 1,645 1,535 1,433 และ 1,100 มก./ล.ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองของ Faisal *et al.*, (1999) พบว่าที่ระยะเวลาพักเก็บสูงขึ้น ปริมาณของแฉ่งแขวนลอยระเหยง่ายมีค่าลดลง ดังนั้นความหนาของฟิล์มชีวะที่เกาะอยู่บนตัวกลางกรองซึ่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาพักเก็บลดลง ดังภาพประกอบ 19 และ 20

3.1.3 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง (Specific surface area of media)

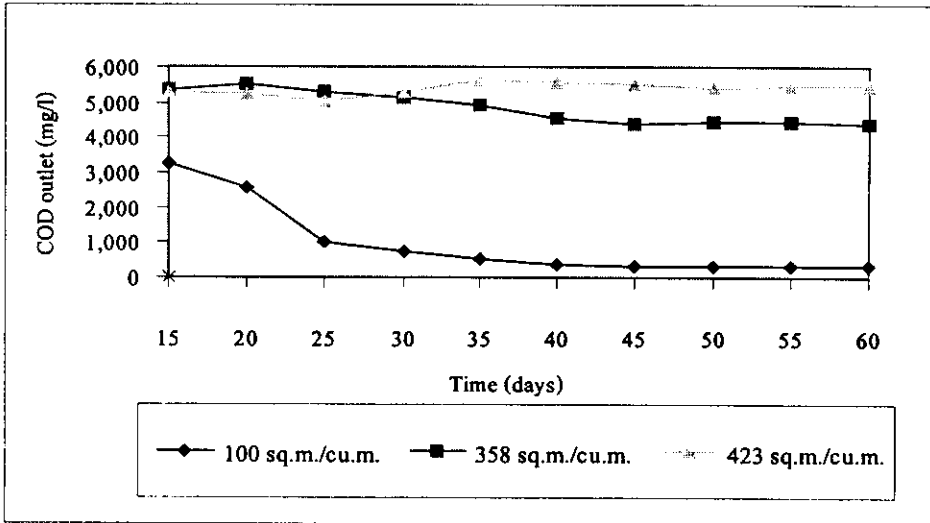
การศึกษาผลของพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี พบว่า ประสิทธิภาพสูงขึ้นตามพื้นที่ผิวพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองที่ลดลง โดยถึงปฏิกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองดังนี้ 100 358 และ 423 m^2/m^3 โดยใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดี 6,000 mg/l . ที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยดังนี้ 94.3 26.3 และ 9.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตาราง 9

ตาราง 9 ผลการทดลองเฉลี่ยภายใต้สภาวะคงตัวที่พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองขนาด ต่างๆ

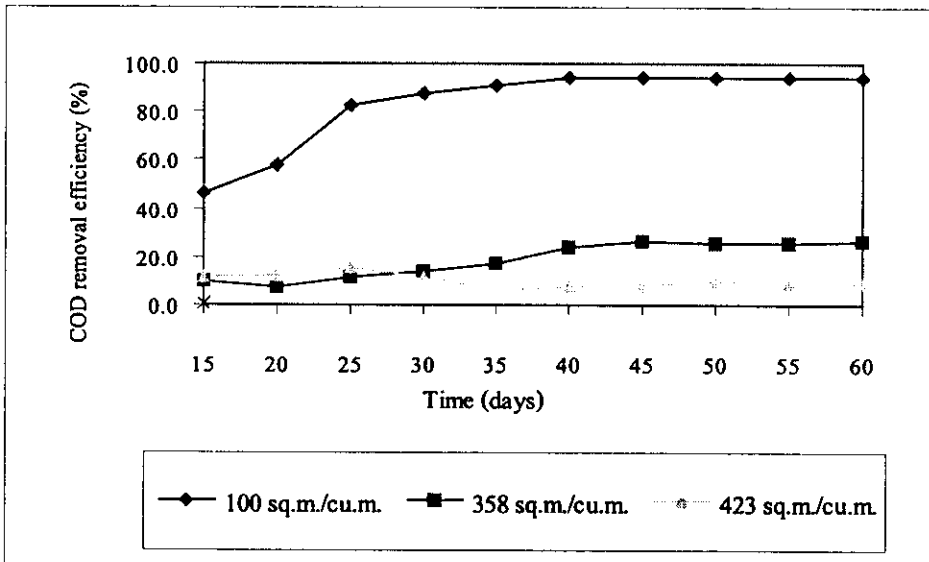
พารามิเตอร์	พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง (m^2/m^3)			
	100	358	423	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเข้มข้นซีโอดี (มก./ล.)	342	4,420	5,460	10.5-55.0
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	94.3	26.3	9.0	0.2-4.8
ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (มก./ล.)	1,645	1,700	1,837	11.1-30.9
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. ในรูป CH_3COOH)	630	3,722	4,190	29.4-76.8
สภาพด่าง (มก./ล. ในรูป CaCO_3)	2,088	2,000	2,025	20.4-75.0
ความเป็นกรด-ด่าง	8.02	7.21	6.92	0.06-0.13
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (-)	0.3	0.9	1.04	0.02-0.06
ความหนาฟิล์มชีวะ (ไมครอน)	68.10	25.36	17.22	3.42-8.49

จากภาพประกอบ 21 และ 22 จากผลของพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองที่เพิ่มขึ้นต่อการลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี จะเห็นว่าถึงปฏิกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 m^2/m^3 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ถึงปฏิกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 358 และ 423 m^2/m^3 สอดคล้องผลการทดลองของ Kuan-Yeow Show *et al.*, (1998) ซึ่งได้ศึกษาอิทธิพลของชีวมวลที่อยู่บนตัวกลางกรอง ในช่วงที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2-4 $\text{g}/\text{l} \cdot \text{วัน}$ พบว่า ปริมาณชีวมวลที่เกาะบนตัวกลางกรองที่มีพื้นที่

ผิวจำเพาะ 132 ม²/ม³ ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองน้อยที่สุดจะมีปริมาณชีวมวลที่อยู่ในระบบมากที่สุด และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด



ภาพประกอบ 21 ความเข้มข้นซีโอดีทางออกของถังปฏิกรณ์แบบกรอง
ไร้อากาศที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

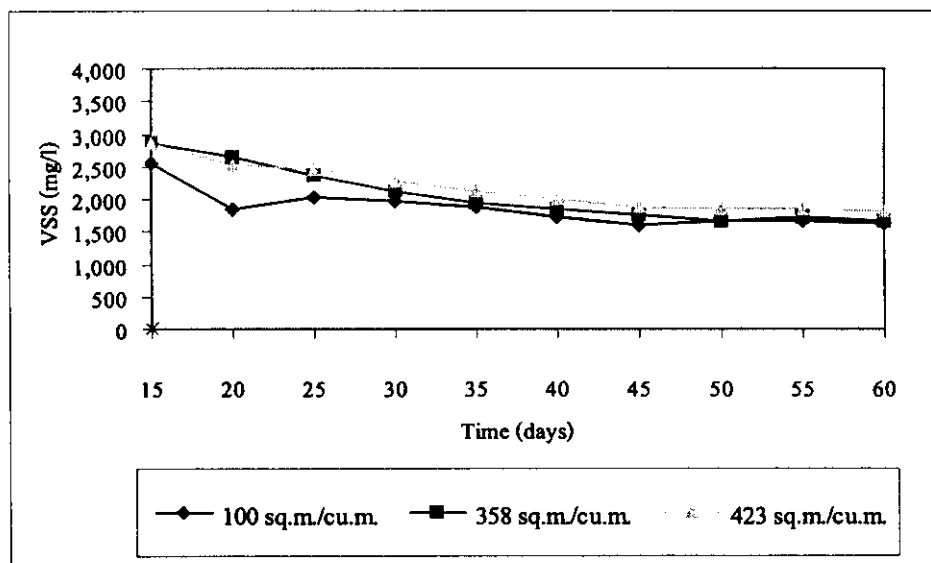


ภาพประกอบ 22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์แบบกรอง
ไร้อากาศที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไหลผ่านตัวกลางกรองที่แตกต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือน (Hydraulic shear) ที่ผิวของตัวกลางกรองที่แตกต่างกัน ในถึงปฏิกรณ์บรรจุตัวกลางกรองที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 423 m^2/m^3 มีแรงเฉือนเกิดขึ้นมากที่สุด เนื่องจากค่าอัตราการหมุนของฟิล์มชีวะ เนื่องจากแรงเฉือนซึ่งคำนวณจากสมการของ Rittman และ McCarty (1982) ดังตาราง 10

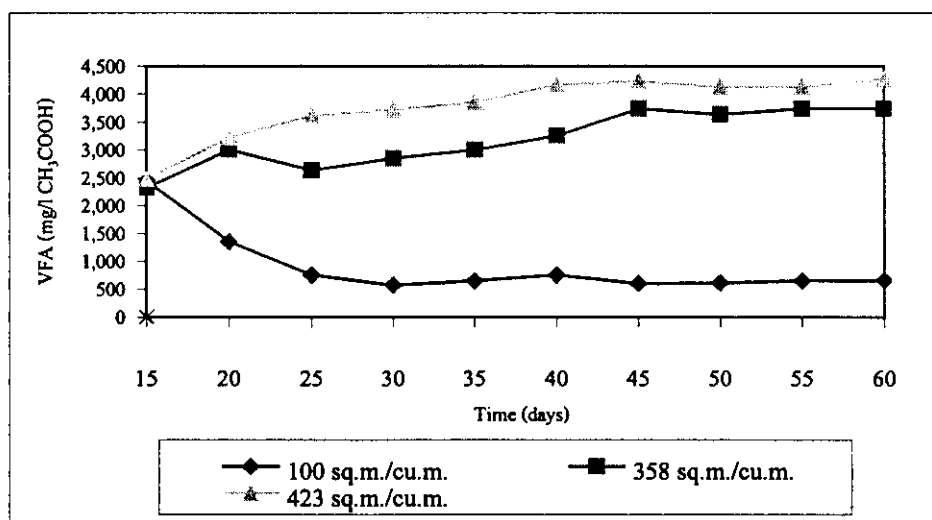
ตาราง 10 อัตราการหมุนของฟิล์มชีวะ ในถึงปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองขนาดต่างๆ

พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง (m^2/m^3)	อัตราการหมุนของฟิล์มชีวะ (วัน^{-1})
100	4.88×10^{-3}
358	4.92×10^{-3}
423	4.94×10^{-3}

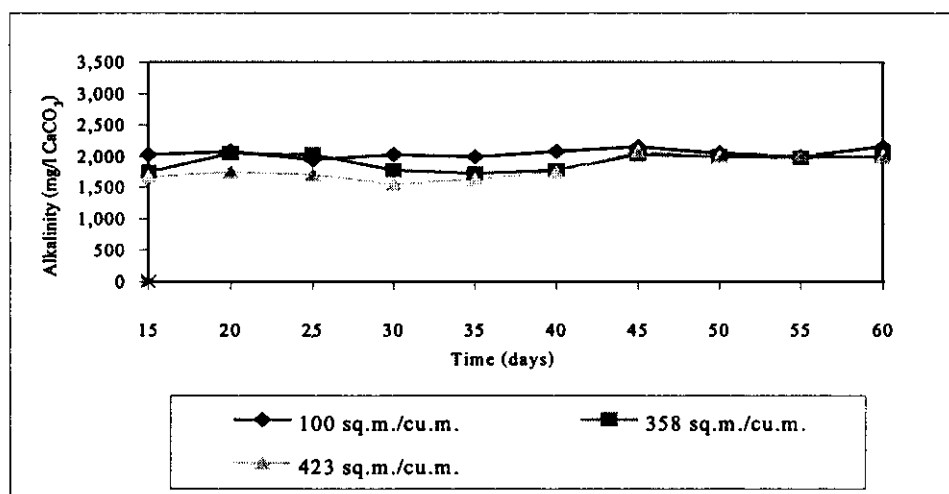


ภาพประกอบ 23 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายของถึงปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

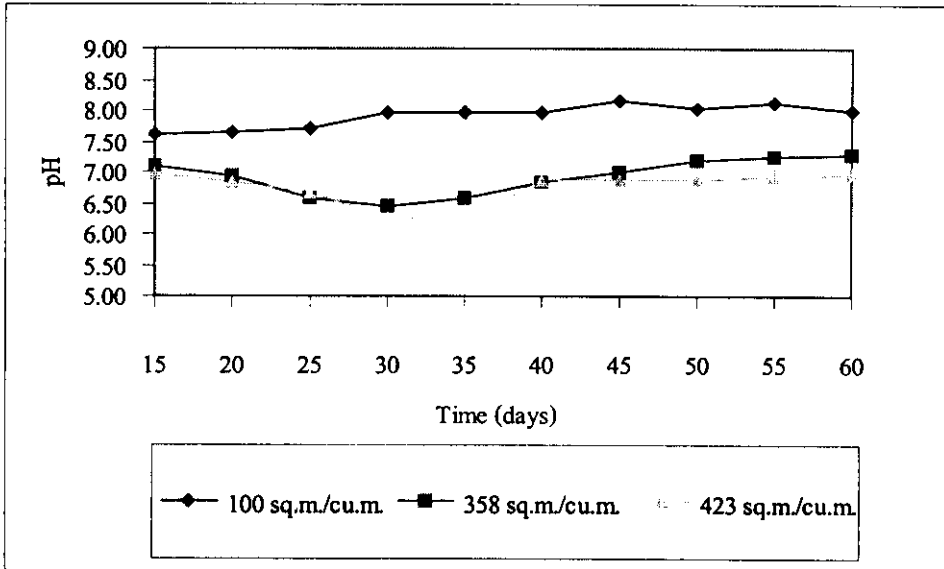
จากการอัตราผุพังของฟิล์มชีวะที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายที่อยู่
ในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,645 1,700 และ 1837 มก./ล. เมื่อพื้นที่ผิวจำเพาะ
ของตัวกลางกรองมากขึ้น ดังภาพประกอบ 23 เนื่องจากระบบเริ่มขาดเสถียรภาพ กล่าวคืออัตรา
ส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFA:Alkalinity) มากกว่า 0.4 ดังตาราง 9 มีผลทำ
ให้จุลินทรีย์เริ่มตาย (เกรียงศักดิ์, 2543) และหลุดออกจากตัวกลางกรอง



ภาพประกอบ 24 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ
ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

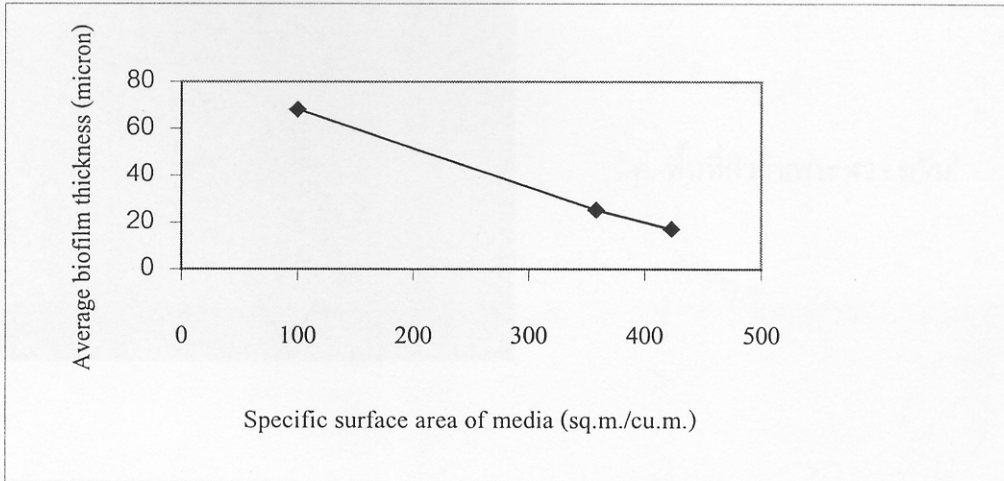


ภาพประกอบ 25 ปริมาณสภาพด่างของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ
ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

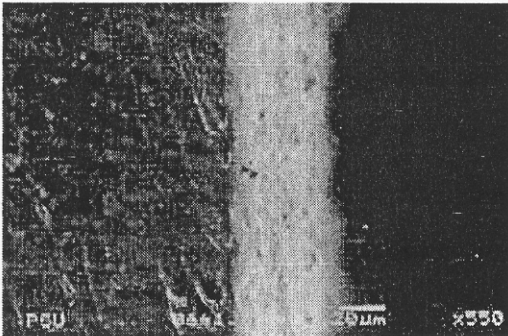


ภาพประกอบ 26 ความเป็นกรด-ด่างของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศที่มีพื้นที่ผิว
จำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

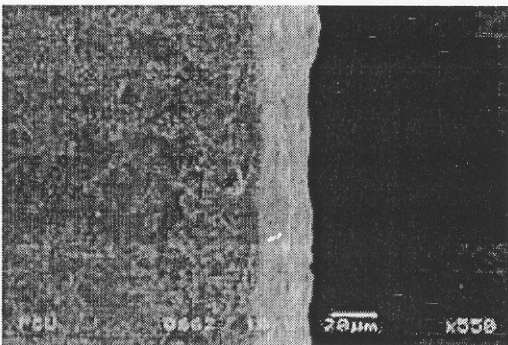
จากภาพประกอบ 24 และ 25 แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย และสภาพต่างพบว่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ $100 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับที่ 358 และ $423 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ขณะที่สภาพต่างมีแนวโน้มคงที่ เนื่องแรงเฉือนทำให้จุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดและมีเทนหลุดออกไปมาก ในขณะที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์คงที่ ดังนั้นจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนจึงมีปริมาณไม่เพียงพอ โดยปกติแล้วจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดจะมีมากกว่าชนิดสร้างมีเทน และทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี (เกรียงศักดิ์, 2543) ที่จะย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านี้ ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ดังภาพประกอบ 26 มีผลทำให้ความหนาของฟิล์มชีวะมีแนวโน้มลดลง ดังภาพประกอบ 27 และ 28



ภาพประกอบ 27 ความหนาของฟิล์มชีวะที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่าง ๆ

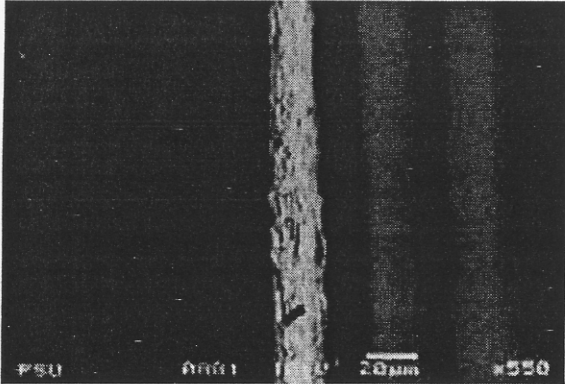


ก. พื้นที่ผิวจำเพาะ 100 m^2/m^3



ข. พื้นที่ผิวจำเพาะ 358 m^2/m^3

ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างความหนาฟิล์มชีวะที่แสดงด้วยเครื่อง SEM ด้วยกำลังขยาย 550 เท่าที่พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรองต่างๆ



ก. พื้นที่ผิวจำเพาะ 423 ม²/ม³

ภาพประกอบ 28 (ต่อ)

3.2 สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากการทดลองเมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทุกการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีทางเข้า (S_i) ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีทางออก (S_c) ระยะเวลาที่เก็บในถังปฏิกรณ์ (HRT) ได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (14)

$$S_c = aS_i^x HRT^y \quad \text{----- (14)}$$

เมื่อ S_c = ความเข้มข้นซีโอดีทางออก (มก./ล.)

S_i = ความเข้มข้นซีโอดีทางเข้า (มก./ล.)

HRT = ระยะเวลาที่เก็บ (วัน)

a,x,y = ค่าคงที่

ในการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง S_c , S_i และ HRT โดยใช้วิธีวิเคราะห์ แบบ Nonlinear – regression โดยใช้โปรแกรม Polymath 5.1 วิเคราะห์ (รายละเอียดการคำนวณดูภาคผนวก) ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (r^2) มีค่า 0.958 จะได้

$$S_c = 8.70 \times 10^{-14} S_i^{4.78} HRT^{-2.65} \quad \text{----- (15)}$$

จากสมการที่ (15) สามารถเพิ่มตัวแปรผลของพื้นที่ผิวของตัวกลางกรอง จะได้สมการที่ (16) เพื่อให้มีความถูกต้องในการทำนายประสิทธิภาพมากขึ้นดังนี้

$$S_e = aS_i^x \text{HRT}^y A_{sp}^z \quad \text{----- (16)}$$

เมื่อ S_e = ความเข้มข้นซีโอดีทางออก (มก./ล.)
 S_i = ความเข้มข้นซีโอดีเข้าออก (มก./ล.)
 HRT = ระยะเวลากักเก็บ (วัน)
 A_{sp} = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง (m^2/m^3)
 a, x, y, z = ค่าคงที่

ในการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง S_e , S_i , HRT และ A_{sp} โดยใช้วิธีวิเคราะห์ แบบ Nonlinear - regression โดยใช้โปรแกรม Polymath 5.1 วิเคราะห์ (รายละเอียดการคำนวณดูภาคผนวก) จะได้

$$S_e = 5.44 \times 10^{-17} S_i^{4.49} \text{HRT}^{-2.43} A_{sp}^{2.08} \quad \text{----- (17)}$$

จากสมการที่ (17) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (R^2) มีค่า 0.968 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบกรองไร้อากาศที่มีลักษณะตัวกลางคล้ายกันคือ Raschig ring ในการบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ดังตาราง 11

จากสมการที่ (15) และ (17) ที่ได้โดยจากใช้วิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ แบบ Nonlinear - regression โดยใช้โปรแกรม Polymath 5.1 นำไปสู่การทดลองเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของสมการ โดยทำการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 8 วัน ซึ่งแสดงดังตาราง 12 และ 13 แสดงผลของการทดสอบสมการทางคณิตศาสตร์และการทดลอง

ตาราง 11 เปรียบเทียบสมการทางคณิตศาสตร์จากการศึกษาทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชนิดต่าง ๆ

Researcher	Wastewater type	OLR (g COD / L. d.)	Relationship	R ²	Obs. No.
Go nzalez (1987)	Tin Stillage	0.51-21.66	$S_c = 0.276S_i^{1.08} HRT^{-1.32}$	0.940	10
Jhung and Choi (1995)	Molasses	0.75-19.33	$S_c = 6.770S_i^{0.28} HRT^{-0.39}$	0.894	9
Francis et al. (1998)	Municipal wastewater	0.2-0.54	$S_c = 0.084S_i^{0.73} HRT^{-0.97}$	0.926	6
Apisit et al. (2001)	SAA paper wastewater	2.37-10.66	$S_c = 0.037S_i^{1.46} HRT^{-0.418}$	0.851	5
This study	Synthetic wastewater	0.3-1.2	$S_c = 8.7 \times 10^{-14} S_i^{4.78} HRT^{-2.65}$	0.958	6
This study (modify)	Synthetic wastewater	0.3-1.2	$S_c = 5.44 \times 10^{-17} S_i^{4.49} HRT^{-2.43} A_{sp}^{2.08}$	0.968	9

ตาราง 12 ผลการทดสอบสมการทางคณิตศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ที่ระยะเวลาพักเก็บ 8 วันโดยใช้สมการ $S_c = 8.7 \times 10^{-14} S_i^{4.78} HRT^{-2.65}$

ความเข้มข้นซีโอดีทางเข้า (มก./ล.)	ความเข้มข้นซีโอดีทางออก (มก./ล.)		
	สมการ	ผลการทดสอบ	ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
6,000	403	450	10.0
9,000	1,552	1,715	11.3
12,000	6,138	5,548	10.6

ตาราง 13 ผลการทดสอบสมการทางคณิตศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ที่ระยะเวลาเก็บ 8 วัน

$$\text{โดยใช้สมการ } S_c = 5.44 \times 10^{-17} S_i^{4.49} \text{HRT}^{-2.43} A_{sp}^{2.08}$$

ความเข้มข้นซีโอดีทางเข้า (มก./ล.)	ความเข้มข้นซีโอดีทางออก (มก./ล.)		
	สมการ	ผลการทดสอบ	ความผิดพลาด (%)
6,000	436	450	3
9,000	1,660	1,715	3.3
12,000	6041	5,548	5.3

จากตาราง 12 และ 13 พบว่าค่าความเข้มข้นซีโอดีที่ทางออกของถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $S_c = 5.44 \times 10^{-17} S_i^{4.49} \text{HRT}^{-2.43} A_{sp}^{2.08}$ มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่าสมการ $S_c = 8.70 \times 10^{-14} S_i^{4.78} \text{HRT}^{-2.65}$ เนื่องจากสมการใช้ตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีมากกว่า และใช้ผลการทดลองมากกว่า จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ดังนั้นสมการนี้สามารถนำมาใช้ในการทำนายผลเบื้องต้นของการบำบัดที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3-1.2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ระยะเวลาเก็บ 4-10 วัน

3.3 แบบจำลองฟิล์มชีวะในถังปฏิกรณ์แบบกรองไร้อากาศ

จากรูปแบบการคำนวณหาความหนาฟิล์มชีวะที่ได้นำเสนอในบทที่ 1 มีความซับซ้อน เนื่องจากสมการคิดในรูปของคิฟเฟอร์เรนเซียล ดังสมการที่(1)-สมการที่(4) และใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ดังสมการที่ (6)-สมการที่ (9) เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆ ดังนั้นการหาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อแทนค่าในสมการความหนาฟิล์มชีวะของ Rittmann และ McCarty (1980a) เพื่อให้ง่ายสำหรับการคำนวณ จึงได้นำสมการทางจลนศาสตร์ของโมนอด คูลมวลสาร และอัตราการผูกพันเนื่องจากแรงเฉือนมาใช้ ดังต่อไปนี้

การหาค่าฟลักซ์ของสารอาหารของจุลินทรีย์ (Substrate flux, J) สามารถคำนวณได้จากสมการดุลมวลสาร(Mass balance) จะได้

$$QS_i - QS_c - JVa = 0 \quad \text{----- (18)}$$

$$J = Q(S_i - S_c)/(Va) \quad \text{----- (19)}$$

- เมื่อ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volumetric flow rate)
 S_i = ความเข้มข้นซีโอดีทางเข้า (Substrate concentration inlet)
 S_e = ความเข้มข้นซีโอดีทางออก (Substrate concentration outlet)
 J = ฟลักซ์ของสารอาหารของจุลินทรีย์ (Substrate flux)
 V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (Volume of the reactor)
 a = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลาง (Specific surface area of media)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การผลิตได้ของชีวมวล (Yield of biomass, Y) กำหนดได้ดังนี้

$$Y = dX/dS = (X_{in} - X_{eff}) / (S_i - S_e) \quad \text{----- (20)}$$

- เมื่อ X_{in} = ปริมาณของแข็งแขวนลอยระยะหยาบเริ่มต้น (Initial volatile suspended solid)
 X_{eff} = ปริมาณของแข็งแขวนลอยระยะหยาบสภาวะคงตัว (Steady-state volatile suspended solid)
 S_i = ความเข้มข้นซีโอดีทางเข้า (Substrate concentration inlet)
 S_e = ความเข้มข้นซีโอดีทางออก (Substrate concentration outlet)

การหาค่าอัตราการผุพังของชีวมวล (Biomass decay and sloughing rate) สามารถหาได้จากผลรวมของอัตราการผุพังของชีวมวลเนื่องจากการตายของชีวมวล โดยใช้สมการทางจลนศาสตร์ของ โมนอด (Monod kinetics) และอัตราการผุพังของชีวมวลเนื่องจากความเค้น ซึ่งนำเสนอโดย Rittman and McCarty (1982) ดังนี้

$$b_s = b_{s1} + b_{s2} \quad \text{----- (21)}$$

- เมื่อ b_s = อัตราการผุพังของชีวมวล (Biomass decay and sloughing rate)
 b_{s1} = อัตราการผุพังของชีวมวลเนื่องจากการตายของชีวมวล (Endogenous decay rate)
 b_{s2} = อัตราการผุพังของชีวมวลเนื่องจากความเค้น (Shear stress decay rate)

จากสมการที่ (21) สามารถหาค่าอัตราการคั่งของชีวมวลเนื่องจากการตายของชีวมวล (b_{s1}) โดยใช้สมการทางจลนศาสตร์ของโมนอด (Monod kinetics) ดังนี้

$$\mu = (\mu_{max} + S)/(K_s + S) \quad \text{-----} \quad (22)$$

คลุมวลจุลินทรีย์ $dX/dt = (Q/V)X_0 - (Q/V)X - \mu X - b_{s1}X \quad \text{-----} \quad (23)$

ที่สภาวะคงตัว $dX/dt = 0$ และ $X_0 = 0 \quad \text{-----} \quad (24)$

ดังนั้น $\mu = (\mu_{max} + S)/(K_s + S) = (1/HRT) + b_{s1} \quad \text{-----} \quad (25)$

คลุมวลสารอาหาร $dS/dt = (Q/V)(S_i - S_e) - (\mu X/Y) \quad \text{-----} \quad (26)$

ที่สภาวะคงตัว $dS/dt = 0 \quad \text{-----} \quad (27)$

ดังนั้น $0 = (Q/V)(S_i - S_e) - (\mu X/Y) \quad \text{-----} \quad (28)$

แทนสมการที่ (25) ใน (28)

$$(1/HRT)(S_i - S_e) = (X/Y)((1/HRT) + b_{s1}) \quad \text{-----} \quad (29)$$

$$(S_i - S_e)/(X * HRT) = (1/Y)(1/HRT) + (1/Y) b_{s1} \quad \text{-----} \quad (30)$$

เมื่อ K_s = ความเข้มข้นสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง เมื่ออัตราการย่อยสลายเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (Monod half-velocity coefficient)

Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volumetric flow rate)

S = ความเข้มข้นซีไอดี (Substrate concentration)

S_i = ความเข้มข้นซีไอดีทางเข้า (Substrate concentration inlet)

S_e = ความเข้มข้นซีไอดีทางออก (Substrate concentration outlet)

V = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (Volume of the reactor)

X = ความเข้มข้นของชีวมวลทางออก (Concentration of biomass outlet)

Y = สัมประสิทธิ์การผลิตได้ (Yield of biomass)

HRT = ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retention time)

μ = อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Specific biomass growth rate)

μ_{max} = อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด (Maximum specific biomass growth rate)

จากสมการที่ (30) สามารถหาค่า b_{s1} โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/HRT$ และ $(S_1 - S_e)/(1 + HRT)$ และ จากสมการที่ (31) สามารถหาค่า b_{s2} อัตราการผุพังของชีวมวลเนื่องจากแรงเฉือน ซึ่งนำเสนอโดย Rittman and McCarty (1982) ดังนี้

$$b_{s2} = 2.29 \times 10^{-6} ((V_w u(1-\epsilon)^3)/(d_p^2 \epsilon^3 a))^{0.58} \quad \text{----- (31)}$$

- เมื่อ b_{s2} = อัตราการผุพังของชีวมวลเนื่องจากแรงเฉือน (day^{-1})
 V_w = ความหนืดของน้ำเสีย (Viscosity, g/cm-day)
 ϵ = ความพรุน (Void, m^3/m^3)
 d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางประสิทธิผลของตัวกลาง (Effective diameter, cm)
 a = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง (Specific surface area of media, cm^2/cm^3)

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางประสิทธิผล (Effective diameter, d_p) สามารถหาได้จากสมการ (Robert E.T, 1980)

$$d_p = 6(1-\epsilon)/a \quad \text{----- (32)}$$

- เมื่อ d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางประสิทธิผล (Effective diameter, cm)
 ϵ = ความพรุน (Void, m^3/m^3)
 a = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง (Specific surface area of media, cm^2/cm^3)

การคำนวณความหนาฟิล์มชีวจะหาได้จากสมการของ Rittman and McCarty (1980a) ดังสมการที่ (5) โดยนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดลองโดยการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการที่ (18)-สมการที่ (32) สามารถคำนวณ ดังตาราง 14 และ 15

ตาราง 14 ผลของฟลักซ์สารอาหาร สัมประสิทธิ์ผลิตได้ของชีวมวล และ ความหนาแน่นของ จุลินทรีย์

พารามิเตอร์		J	Y_t	X_t
อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ *	0.3 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	2.83	0.54	1,690
	0.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	5.66	0.27	1,645
	0.9 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	8.03	0.16	1,279
	1.2 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	5.47	0.17	965
ระยะเวลากักเก็บ **	10 วัน	5.66	0.27	1,645
	7 วัน	4.76	0.20	1,535
	5 วัน	4.04	0.18	1,433
	4 วัน	3.60	0.09	1,100
พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง***	100 ม ² /ม ³	5.66	0.27	1,645
	358 ม ² /ม ³	0.44	0.92	1,700
	423 ม ² /ม ³	0.14	2.33	1,837

หมายเหตุ

* ที่ระยะเวลากักเก็บ 10 วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 ม²/ม³

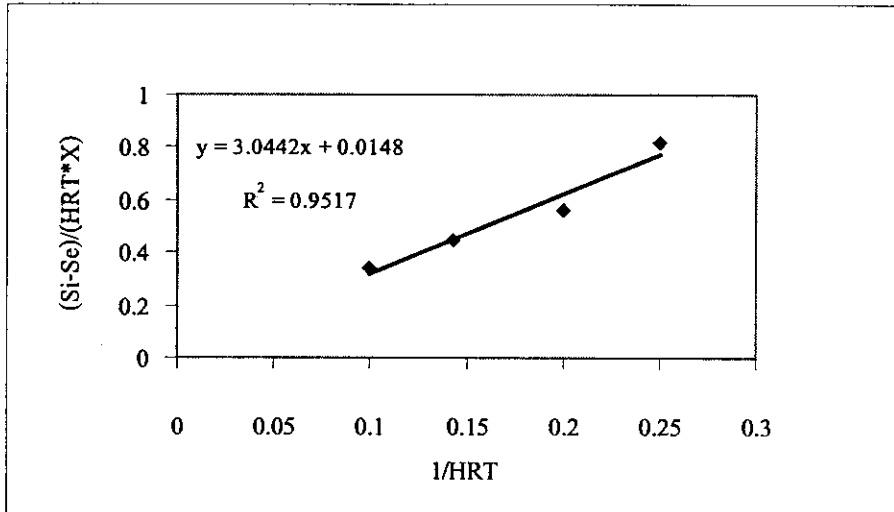
** ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 ม²/ม³

*** ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลากักเก็บ 10 วัน

J = ค่าฟลักซ์ของสารอาหาร (มก.สารอาหารที่ใช้/ตร.ชม.-วัน)

Y_t = ค่าสัมประสิทธิ์การผลิตได้ของชีวมวล (-)

X_t = ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ (มก.ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย/ล.)



ภาพประกอบ 29 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(S_i - S_o)/(HRT \cdot X)$ กับ $(1/HRT)$

จากภาพประกอบ 29 สามารถคำนวณหาอัตราการผลิตของฟิล์มชีวะเนื่องจากการตายของจุลินทรีย์โดยใช้สมการของโมนอด ดังสมการ (17)

$$\text{ความชัน} = 1/Y_1 = 3.0442 \quad \text{----- (29)}$$

$$\text{จุดตัดแกน Y} = (1/Y_1)b_{s1} = 0.0148 \quad \text{----- (30)}$$

แทนค่า $(1/Y_1)$ ใน (30)

$$(1/3.0442)b_{s1} = 0.148$$

$$b_{s1} = 0.000486 \text{ วัน}^{-1}$$

ตาราง 15 ผลการคำนวณอัตราการผลิตของฟิล์มชีวะ

พารามิเตอร์		b_{s1}	b_{s2}	b_s
อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์*	0.3 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	0.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	0.9 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	1.2 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
ระยะเวลาพักเก็บ**	10 วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	7 วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	5 วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	4 วัน	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง***	$100 \text{ ม}^2/\text{ม}^3$	4.86×10^{-3}	2.54×10^{-5}	4.88×10^{-3}
	$358 \text{ ม}^2/\text{ม}^3$	4.86×10^{-3}	6.00×10^{-5}	4.92×10^{-3}
	$423 \text{ ม}^2/\text{ม}^3$	4.86×10^{-3}	7.54×10^{-5}	4.94×10^{-3}

หมายเหตุ

* ที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง $100 \text{ ม}^2/\text{ม}^3$

** ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง $100 \text{ ม}^2/\text{ม}^3$

*** ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน

b_s = อัตราการผลิตของชีวมวล (วัน^{-1})

b_{s1} = อัตราการผลิตของชีวมวลเนื่องจากการตายของชีวมวล (วัน^{-1})

b_{s2} = อัตราการผลิตของชีวมวลเนื่องจากแรงเฉือน (วัน^{-1})

จากการคำนวณความหนาฟิล์มชีวะโดยใช้สมการของ Rittman และ McCarty (1980a) ดังตาราง 16 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์สูง มีผลทำให้ค่าฟลักซ์สารอาหาร (J) เพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การผลิตได้ของชีวมวล (Y) ลดลง และความหนาแน่นจุลินทรีย์ (X_p) เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการผลิตของฟิล์มชีวะ (b_s) คงที่ เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบมีมากเกินไป ความต้องการของจุลินทรีย์ในระบบ จุลินทรีย์เกิดการช็อคและตายเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ฟิล์มชีวะที่

เกาะบนผิวตัวกลางกรองหลุดลอกออกมากขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลางกรองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และความหนาฟิล์มชีวะลดลง

ในกรณีระยะเวลาพักเก็บสูง มีผลทำให้ค่าฟลักซ์สารอาหาร (J) สัมประสิทธิ์การผลิตได้ของชีวมวล (Y) และความหนาแน่นจุลินทรีย์ (X_p) เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการผูกพันของฟิล์มชีวะ (b_p) คงที่ เนื่องจากมีการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น นั่นแสดงว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและความหนาของฟิล์มชีวะเพิ่มขึ้น

ในกรณีพื้นผิวจำเพาะของตัวกลางกรองเพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์สารอาหาร (J) ลดลง สัมประสิทธิ์การผลิตได้ของชีวมวล (Y) ความหนาแน่นจุลินทรีย์ (X_p) และอัตราการผูกพันของฟิล์มชีวะ (b_p) เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการผูกพันของชีวมวลเนื่องจากแรงเสียดทานที่ผ่านตัวกลางกรองเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มชีวะที่เกาะบนผิวตัวกลางกรองหลุดลอกออก มีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลางกรองลดลง แต่ปริมาณจุลินทรีย์ที่หลุดลอกนี้จะเพิ่มในส่วนของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบ ซึ่งสังเกตจากค่าของแข็งแขวนลอยระยะหย่างที่ออกจากระบบที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และความหนาฟิล์มชีวะลดลง

จากผลการทดลองทุกการทดลองดังตาราง 16 จะเห็นว่าฟลักซ์สารอาหาร (J) ค่าสัมประสิทธิ์การผลิตได้ของชีวมวล (Y) อัตราการผูกพันของชีวมวล (b_p) และความหนาแน่นของชีวมวล (X_p) มีความสัมพันธ์กันกับการคำนวณความหนาของฟิล์มชีวะ ซึ่งมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้น และลดลงของแต่ละการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้นความหนาของฟิล์มชีวะจะไม่ขึ้นกับตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง แต่ขึ้นกับทุกตัวแปร และแต่ละตัวแปรจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

ตาราง 16 และ 17 การคำนวณความหนาฟิล์มชีวะที่คำนวณได้กับความหนาของฟิล์มชีวะที่วัดจากเครื่อง SEM พบว่ามีความแตกต่างน้อยกว่า 10 % ดังนั้นรูปแบบแบบจำลองชีวะจึงเหมาะสมใกล้เคียงกับความเป็นจริงในช่วงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3-1.2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ระยะเวลาพักเก็บ 4 – 10 วัน

ตาราง 16 การคำนวณความหนาฟิล์มชีวะโดยสมการ Ritman and McCarty (1980a)

พารามิเตอร์	S_i (mg/l)	S_e (mg/l)	X_t (mg/l)	Biofilm moisture (%)	V (cm ³)	a (cm ² /cm ³)	Q (l/day)	J (mg/cm ² -day)	Y_1	b_s (day ⁻¹)	L_r Calculation wet (um)	L_r Calculation dry (um)	L_r SEM dry (um)	Error (%)
อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์*	3,000	172	1,590	96.3	2,750	1	2.75	2.83	0.541	0.00488	1,973	73.01	67.14	8.74
	6,000	342	1,645	96.3	2,750	1	2.75	5.66	0.275	0.00488	1,939	71.74	68.1	5.35
	9,000	975	1,845	96.2	2,750	1	2.75	8.03	0.159	0.00488	1,418	53.89	51.43	4.78
	12,000	6,535	2,245	96.2	2,750	1	2.75	5.47	0.176	0.00488	879	33.39	30.47	9.59
ระยะเวลาที่เก็บ**	6,000	2,401	1,100	96.2	2,750	1	2.75	3.6	0.086	0.00488	577	21.92	20.22	8.39
	6,000	1,964	1,433	96.4	2,750	1	2.75	4.04	0.177	0.00488	1,023	36.81	34.86	5.60
	6,000	1,237	1,535	96.2	2,750	1	2.75	4.76	0.203	0.00488	1,290	49.02	47.71	2.74
	6,000	342	1,645	96.3	2,750	1	2.75	5.66	0.275	0.00488	1,939	71.74	68.1	5.35
พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง***	6,000	342	1,645	96.3	2,750	1	2.75	5.66	0.275	0.00488	1,939	71.74	68.1	5.35
	6,000	4,420	1,700	96.2	2,450	3.58	2.45	0.44	0.918	0.00492	483	18.35	18.32	0.17
	6,000	5,460	1,837	96.25	2,350	4.23	2.35	0.14	2.339	0.00494	361	13.53	12.54	7.91

หมายเหตุ

a = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลาง

b_s = อัตราการสูญหึ่งของชีวมวล

J = ผลิตภัณฑ์สารอาหารของจุลินทรีย์

L_r = ความหนาฟิล์มชีวะ

S_i = ความเข้มข้นซีโอดีทางเข้า

S_e = ความเข้มข้นซีโอดีทางออก

X_t = ความหนาแน่นของจุลินทรีย์

V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์

Y_1 = สัมประสิทธิ์การผลิได้ของชีวมวล

* ที่ระยะเวลาที่เก็บ 10 วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 ม²/ม³

** ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 ม²/ม³

*** ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลาที่เก็บ 10 วัน

ตาราง 17 ผลความหนาฟิล์มชีวะที่คำนวณได้กับความหนาของฟิล์มชีวะที่วัดจากเครื่อง SEM

พารามิเตอร์	ความหนาฟิล์มชีวะที่ได้จากการคำนวณ (ไมครอน)	ความหนาของฟิล์มชีวะที่ได้จากเครื่อง SEM (ไมครอน)	ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	
อัตรากระบรทุก	0.3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	73.01	67.14	8.58
สารอินทรีย์*	0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	71.74	68.10	5.20
	0.9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	53.89	51.43	4.63
	1.2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	33.39	30.47	9.43
ระยะเวลาักเก็บ**	10 วัน	21.92	20.22	8.24
	7 วัน	36.81	34.86	5.45
	5 วัน	49.02	47.71	2.60
	4 วัน	71.74	68.10	5.20
พื้นที่ผิวจำเพาะของ	100 ม ² /ม ³	71.74	68.10	5.20
ตัวกลางกรอง***	358 ม ² /ม ³	18.35	18.32	0.13
	423 ม ² /ม ³	13.53	12.54	8.00

หมายเหตุ

- * ที่ระยะเวลาักเก็บ 10 วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 ม²/ม³
- ** ที่อัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางกรอง 100 ม²/ม³
- *** ที่อัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และระยะเวลาักเก็บ 10 วัน