บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำยางข้น บริษัท เฟลเท็กซ์ จำกัด อ. รัตภูมิ จ. สงขลา และการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในปัจจุบันของโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา

การศึกษาโรงงาน 9โรงงานพบว่าขั้นตอนการผลิตและตำแหน่งกำเนิดน้ำเสียในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยหลักการแล้วคล้ายคลึงกัน แตกต่างเพียงรายละเอียดของการดำเนินการเท่านั้น (วันชัย แก้วยอด, 2540) น้ำยางสดที่โรงงานต่างๆ ใช้จะรับซื้อจากเกษตรกรโดยตรงและมีการเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางก่อนการปั่นแยกได้แก่

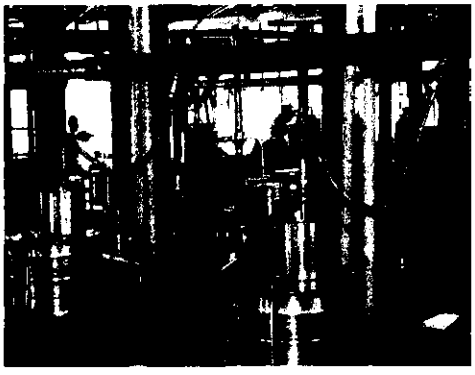
- Tetramethyl triuram disulfide (TMTD) 0.05 % ของปริมาณน้ำยางสด
- Zinc oxide (ZnO) 0.05 % ของปริมาณน้ำยางสด
- Ammonia (ในรูปสารละลาย) 0.5 % ของปริมาณน้ำยางสด
- Diammonium phosphate 0.7-0.8 % ของปริมาณน้ำยางสด เพื่อช่วยตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยก

บริษัท เฟลเท็กซ์ จำกัด ผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นแยกด้วยเครื่อง ขั้นตอนของกระบวนการคือ น้ำยางจะไหลเข้าส่วนบนสุดของเครื่องปั่น ระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่ น้ำยางจะไหลตามแรงโน้มถ่วงไปที่จุดศูนย์กลางของถังปั่นดังภาพประกอบ 8-ก แรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลตามรูของชุดจานแยก น้ำยางถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนดังภาพประกอบ 8-ข คือ

1. ส่วนข้นของน้ำยาง เป็นส่วนที่มีเนื้อยางซึ่งจะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำยาง การเก็บน้ำยางข้นเพื่อรอถ่ายหรือขนส่งไปจำหน่ายต้องมีการกวนตลอดเวลา
2. ส่วนที่มีน้ำหนัก คือ หางน้ำยาง ไหลออกสู่รอบนอกของถังปั่นและไหลตามทางด้านบนของถังผ่านสกรูปรับเข้าสู่ถังเก็บแยกหางน้ำยางก่อนเข้าสู่กระบวนการสกิม

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการปั่นแยกเนื้อยางได้แก่

- น้ำทิ้งจากการล้างพื้นและเครื่องปั่นยาง ดังภาพประกอบ 8-ค
- น้ำล้างถังบรรจุน้ำยางข้น การล้างบ่อพักน้ำยางภาชนะบรรจุน้ำยาง ดังภาพประกอบ 8-ง



ก. เครื่องปั่นแยกน้ำยาง

ข. ส่วนของน้ำยางข้นและหางน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่น

ค. น้ำล้างจากการล้างพื้นและเครื่องปั่นยาง

ง. น้ำล้างถังบรรจุน้ำยางข้น การล้างบ่อพักน้ำยาง

ภาพประกอบ 8 แสดงการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการปั่นแยก

หลังจากการปั่นแยก น้ำยางข้นจะเติมสารเคมีเพื่อรักษาสภาพน้ำยางดังนี้

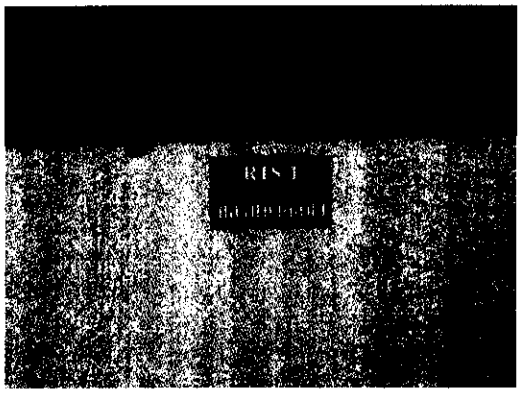
- Lauric acid 0.045 % ของปริมาณน้ำยาง
- Sodium sulfide 0.5 % ของปริมาณน้ำยาง
- Ammonia (ในรูปแก๊ส) 0.7-0.8 % ของปริมาณน้ำยาง

ส่วนของหางน้ำยางจะถูกนำไปผลิตยางสกิม โดยเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นประมาณ 60 % ของปริมาณหางน้ำยาง เพื่อให้เกิดการจับตัวของเนื้อยางดังภาพประกอบ 9-ก 9-ข และ 9-ค

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางสกิมดังภาพประกอบ 9-ค และ 9-ง คือ

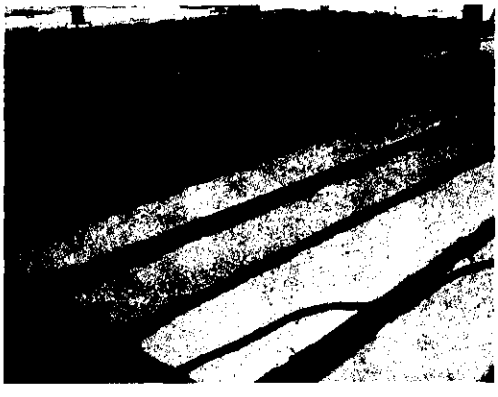
1. น้ำเสียในบ่อภายหลังคัดแยกเนื้อยางออกแล้ว (น้ำซีรั่ม)
2. น้ำล้างบ่อจับตัวของเนื้อยางหลังปล่อยน้ำซีรั่มทิ้ง น้ำล้างพื้นรวมถึงน้ำล้างเนื้อยางสกิม

น้ำทิ้งส่วนใหญ่เกิดแบบไม่ต่อเนื่อง แต่เป็นแบบเททิ้งเป็นครั้งคราวและครั้งละมากๆ



ก. บ่อรับหางน้ำยางเพื่อผลิตยางสกิม

ข. กรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการผลิตยางสกิม



ค. ยางที่จับตัวเป็นก้อนหลังเติมกรดซัลฟิวริก

ง. ยางสกิมและน้ำที่เกิดจากการล้างบ่อจับยางและจากการล้างพื้น

ภาพประกอบ 9 แสดงการผลิตยางสกิมและน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตยางสกิม

วันชัย แก้วยอด (2540) แสดงปริมาณผลิตของน้ำเสียทีเกิดขึ้นจากกระบวนการจากกลุ่มโรงงาน 9 โรงในเขตจังหวัดสงขลาแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณผลผลิตและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของกลุ่มโรงงานยาง 9 โรง ที่ศึกษา

ประเภทกรรมวิธีการผลิต	ปริมาณผลผลิตยางพารา	ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (ลบ.ม/วัน)	อัตราการเกิดน้ำเสียต่อผลผลิต 1 ตัน (ลบ.ม./วัน)	อัตราการเกิดของเสียในรูปของแข็งทั้งหมด (ตันของเสีย/ตันน้ำยางสด)
น้ำยางข้น	15.56-52.74	55.76-215.30	2.71-5.46 หรือประมาณ 0.97-5.52 ตัน/วัน	0.025-0.035 หรือประมาณ 0.58-3.94 ตัน/วัน
ยางสกิมเครฟ	0.78-3.56	26.63-206.18	24.91-65.33	-

1.1 การจัดการน้ำเสีย

จากการรวบรวมข้อมูลของ วันชัย แก้วยอด (2540) พบว่าโรงงานยางจำนวน 9 โรงงาน มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นโดยใช้บ่อดักยาง 8 โรงงาน เนื่องจากสามารถลดค่า BOD_5 ได้ระหว่าง 19.30-64.01 % คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.98 % และสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ระหว่าง 19.30-93.22% คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.48 % ความแตกต่างของประสิทธิภาพบ่อดักยางนอกจากขึ้นอยู่กับการออกแบบที่เหมาะสมแล้ว ควรปรับ pH ให้เหมาะสมก่อนเข้าบ่อดักยาง

วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2531) กล่าวว่าอนุภาคเนื้อยางจะจับตัวกันและแยกตัวออกมาจากส่วนของเหลวเมื่อ pH อยู่ระหว่าง 4.6-4.9 โดยเมื่อเก็บน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่างๆ น้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียมีคุณสมบัติดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงสมบัติของน้ำเสียและน้ำทิ้งโรงงานยางที่ตรวจสอบ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	BOD_5 (mg/l)		SS (mg/l)		pH	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
น้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้น	1,825-3,766	2,390	1,082-3,130	2,412	8.56-9.40	8.88
น้ำเสียจากการผลิตยางสกิม	6,533-14,566	10,489	456-933	728	1.87-6.87	4.47
น้ำเสียหลังผ่านบ่อดักยาง	1,933-4,850	3,171	187-635	433	4.21-8.15	6.11
น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดน้ำเสีย	28-1,270	248	82-357	188	7.55-9.48	8.49

โดยแบ่งระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองเป็น 2 ประเภทคือ

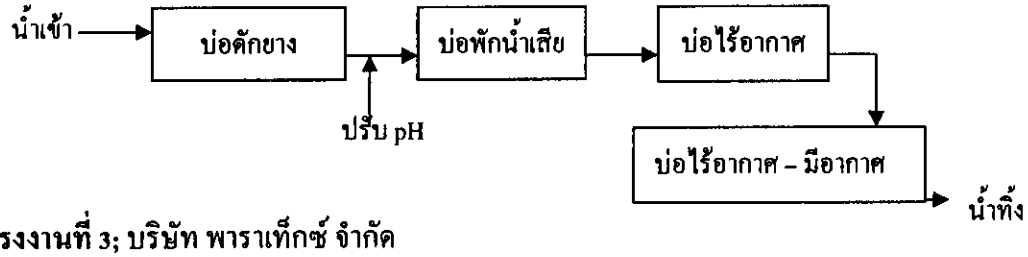
- ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization ponds) ที่ไม่มีบ่อเติมอากาศ
- ระบบบ่อปรับเสถียรที่มีบ่อเติมอากาศ (Aerated ponds)

สรุปรูปแบบการบำบัดน้ำเสียจาก 8 โรงงานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นและรายละเอียดการจัดการน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 10

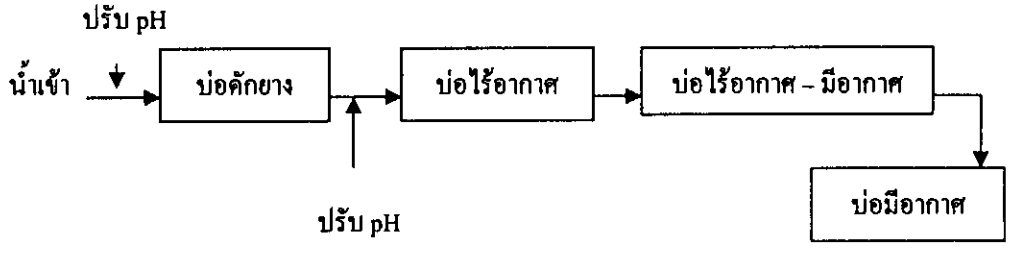
- ระบบบ่อปรับเสถียรที่ไม่มีบ่อเติมอากาศ

โรงงานที่ 1; บริษัท ไชยาพรลาเท็กซ์ จำกัด

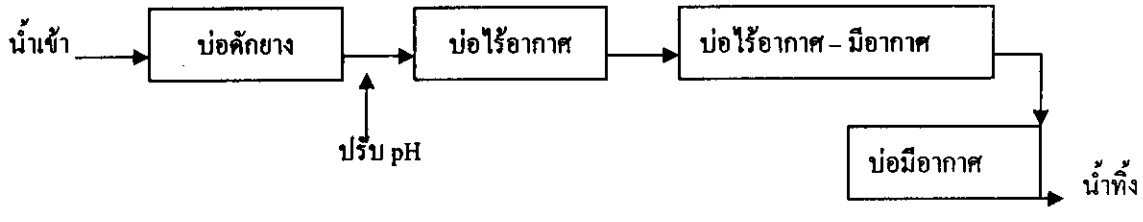
โรงงานที่ 2; บริษัท ไทยฮั้วยางพารา จำกัด



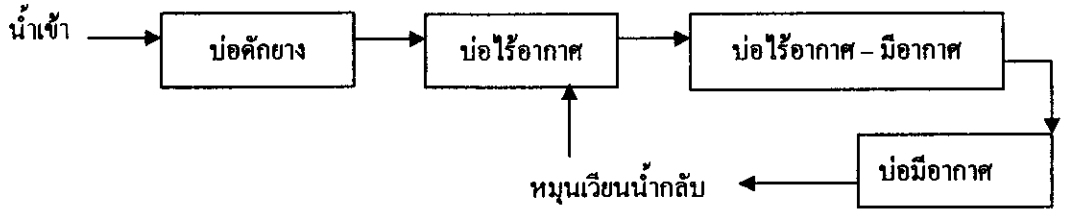
โรงงานที่ 3; บริษัท พาราเท็กซ์ จำกัด



โรงงานที่ 4; บริษัท เอ็กซ์เซลรับเบอร์ จำกัด

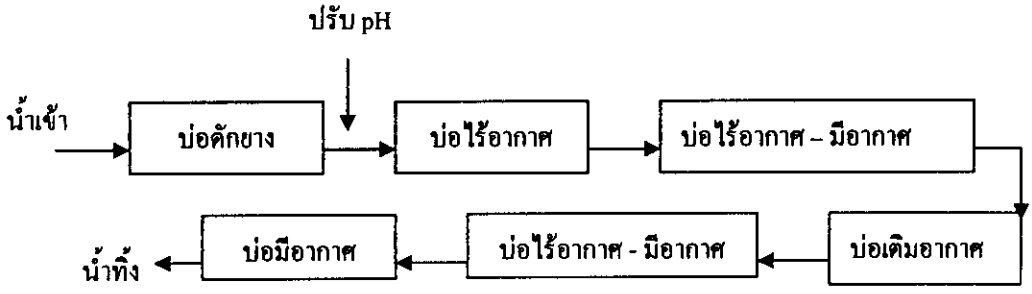


โรงงานที่ 5; บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด

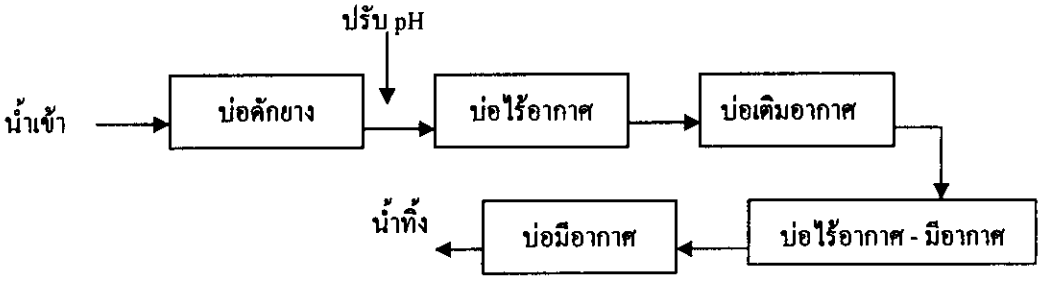


- **ระบบบ่อปรับเสถียรที่มีบ่อเติมอากาศ**

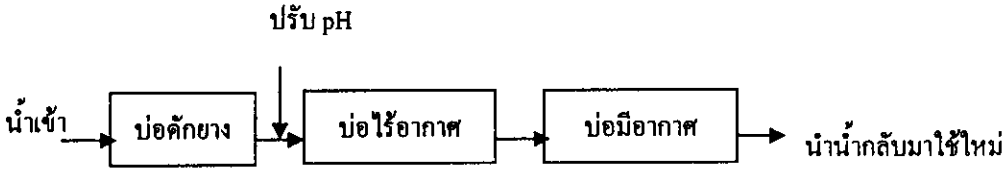
โรงงานที่ 6; บริษัท จะนะน้ำยาง จำกัด



โรงงานที่ 7; บริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด



โรงงานที่ 8; บริษัท สะเดาอุตสาหกรรมยางพารา (1988) จำกัด



การกำจัดน้ำเสียของ บริษัท เฟลเท็กซ์ จำกัด ทำโดยการผสมกันระหว่างน้ำซีรั่มและน้ำล้างก่อนเข้าบ่อดักยาง ซึ่ง pH หลังการผสมอยู่ในช่วงค่าดังกล่าวข้างต้นประมาณ 4.9 จากนั้นจะเข้าสู่บ่อดักยาง หลังจากน้ำเสียรวมออกจากบ่อดักยางจะทำการปรับ pH น้ำเสียดังกล่าวด้วยปูนขาว ให้ pHเป็นกลาง เพื่อความเหมาะสมในการทำงานของบ่อเติมอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 10

ก. ทางเดินของน้ำล้างเพื่อรวมกับน้ำซีรั่มก่อนเข้าบ่อดักยาง

ข. น้ำซีรั่มที่ผสมกับน้ำล้างก่อนเข้าบ่อดักยาง

ค. น้ำเสียรวมก่อนเข้าบ่อดักยาง

ง. น้ำเสียรวมที่ออกจากบ่อดักยาง

จ. การปรับสภาพ pH ก่อนเข้าบ่อเติมอากาศ

ฉ. ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon)

ภาพประกอบ 10 แสดงการบำบัดน้ำเสีย บริษัท เฟลเท็กซ์ จำกัด อ.รัตภูมิ จ.สงขลา

ตาราง 10 แสดงรายละเอียดการจัดการน้ำเสียกลุ่มโรงงานยาง 9 โรงที่ศึกษา (วันชัย แก้วยอด, 2540)

โรงงาน	ระยะเวลาเก็บกักน้ำในบ่อประเภทต่างๆ ทุกบ่อรวมกัน (วัน)				กำลัง Aerators	ประสิทธิภาพในการลดความสกปรกของบ่อดักยาง (%)		ประสิทธิภาพการลดความสกปรกของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด (%)	
	บ่อไร้อากาศ	บ่อไร้อากาศ-มีอากาศ	บ่อมีอากาศ	บ่อเติมอากาศ	รวม (แรงม้า)	BOD	SS	BOD	SS
1*	107.46	126.21	77.44	–	–	–	–	97.91	82.66
2	78.8	48.81	–	–	–	49.46	82.56	75.44	87.09
3**	–	–	–	–	–	29.42	47.54	–	–
4	68.27	53.51	91.53	–	–	37.65	93.22	96.82	92.06
5	21.03	101.41	891.4	14.56	22	64.01	79.31	99.53	96.08
6	7.11	61.49	63.57	–	–	24.43	19.3	98.93	72.17
7***	8.22	70.4	92.05	37.66	40/2	48.77	57.74	96.53	75.2
8	5.31	–	–	25.6	230	44.58	90.84	95.48	74.23
9	84.82	28.62	16.92	–	–	32.77	72.56	98.03	95.61
เฉลี่ย	47.63	70.06	205.49	25.94		41.39	67.88	94.83	84.38

* ไม่มีการใช้บ่อดักยาง
** มีการใช้บ่อดักยางแต่บ่อบำบัดน้ำเสียอยู่นอกความรับผิดชอบโรงงาน
*** มี Aerators ขนาด 10 แรงม้า 4 เครื่อง แต่เดินเครื่องสลับกันครั้งละ 2 เครื่อง

2. ผลการศึกษาองค์ประกอบของน้ำเสียรวม น้ำซีรั่มและน้ำล้างเครื่องปั่นแยก บริษัท เฟลเท็กซ์ จำกัด อ.รัตภูมิ จ.สงขลา

จากการเก็บน้ำเสียรวม น้ำซีรั่มและน้ำล้างเครื่องปั่นแยกและน้ำล้างต่างๆจาก บริษัท เฟลเท็กซ์ จำกัด เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 11-13

ตารางที่ 11 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียรวมที่ผ่านบ่อดักยาง (N=14)

พารามิเตอร์	ช่วง	เฉลี่ย
BOD_5, mg/l	3,150-4,032	3,664
COD, mg/l	4,719-7,138	6,777
SS, mg/l	300-560	420
TKN, mg/l	152-361	201
TP, mg/l	46.7-77.8	54.8
Sulfate, mg/l	644-1,688	795
pH	4.7-5.1	4.9

ตารางที่ 12 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำล้างเครื่องปั่นแยกและน้ำล้างต่างๆ (N=14)

พารามิเตอร์	ช่วง	เฉลี่ย
BOD_5, mg/l	1,200-2,080	1,852
COD, mg/l	3,180-5,680	4,256
SS , mg/l	420-620	580
TKN, mg/l	47.6-118	65.3
TP , mg/l	392-515	436
Sulfate, mg/l	156-1,919	929
pH	7.1-8.3	7.9

ตารางที่ 13 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำซีรั่ม (N=14)

พารามิเตอร์	ช่วง	เฉลี่ย
BOD_5, mg/l	11,282-18,520	15,247
COD, mg/l	28,756-38,150	32,560
SS , mg/l	300-520	440
TKN , mg/l	4,900-5,992	5,371
TP , mg/l	399-597	533
Sulfate, mg/l	4,924-6,091	5,411
pH	3.2-4.9	4.5

หมายเหตุ N= จำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานดังกล่าวพบว่าอัตราส่วนระหว่าง BOD_5:N:P เท่ากับ 100:5.49:1.50 ซึ่งถือว่าเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่ง

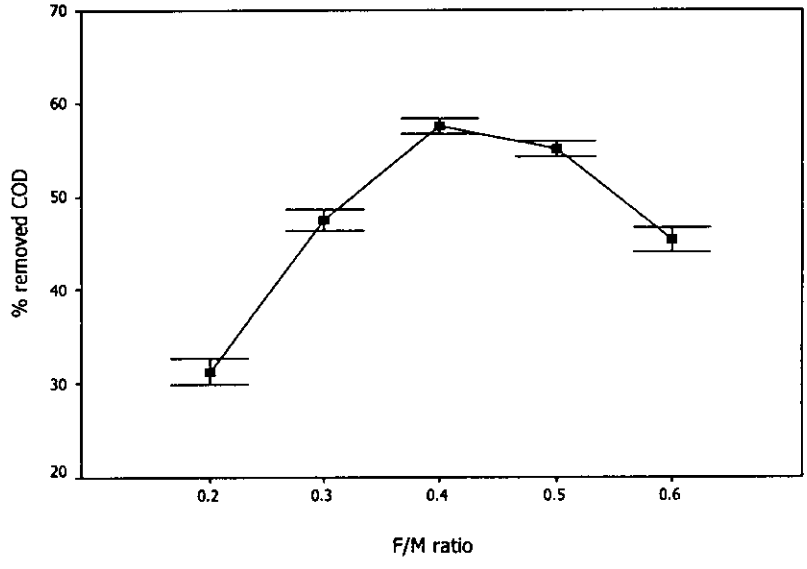
3. ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นระบบตะกอนเร่งแบบทีละเทและแบบต่อเนื่องในสภาวะต่างๆ

3.1 การศึกษา F/M ratio ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท

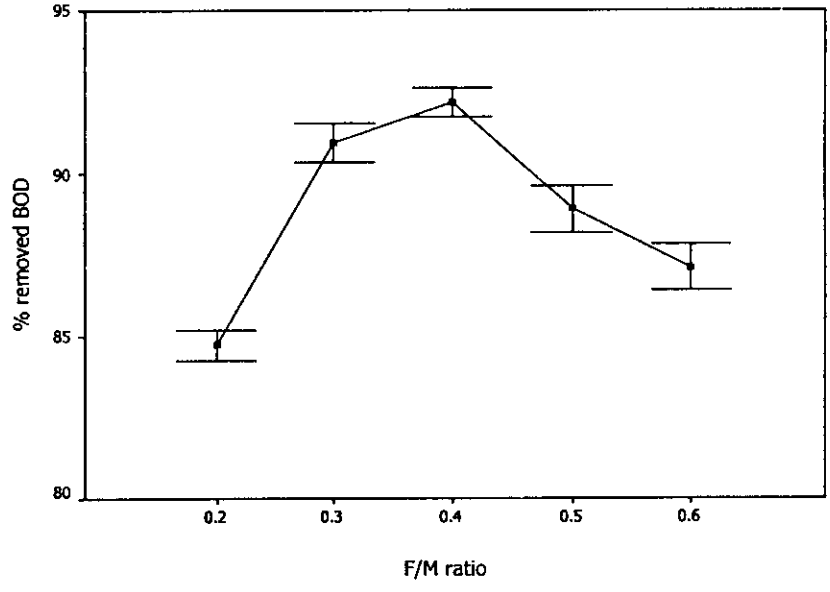
จากการศึกษาผลของ F/M ratio ต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท ผลการทดลองแสดงดังแสดงในตารางที่ 14-17 ภาพประกอบ 11-18

ตารางที่ 14 แสดงผลของ F/M ratio ต่อค่า BOD_5 COD (เฉลี่ย N=14) ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ HRT 4 ชั่วโมง

F/M ratio	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
0.2	195	292	29.8	84.7	201	31.3
0.3	195	292	17.6	91.0	153	47.5
0.4	195	292	15.2	92.2	124	57.5
0.5	195	292	21.6	88.9	131	55.0
0.6	195	292	25.1	87.1	160	45.4



ภาพประกอบ 11 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 4 ชั่วโมง

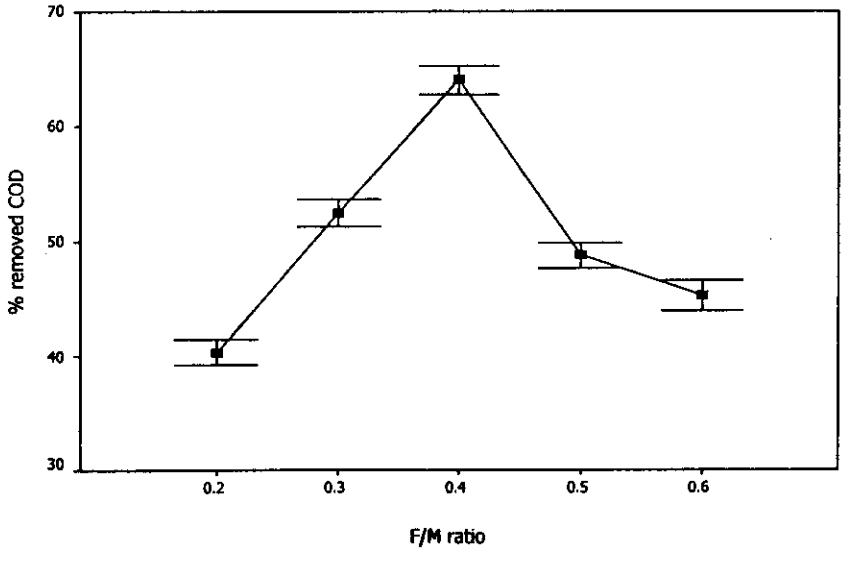


ภาพประกอบ 12 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด BOD_5 ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 4 ชั่วโมง

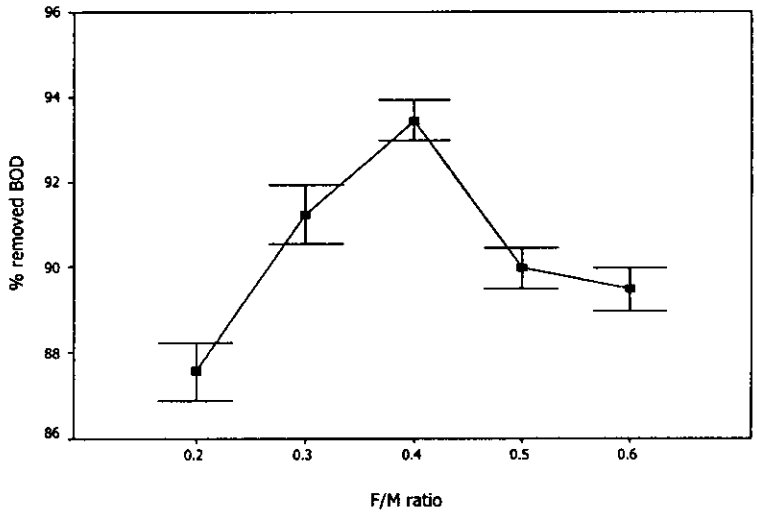
การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.9 $kgBOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ ที่ HRT 4 ชั่วโมง ผลการทดลองดังตารางที่ 14 ภาพประกอบ 11 และ 12 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 COD เพิ่มขึ้นจาก F/M ratio 0.2 วัน$^{-1}$ ถึง 0.4 วัน$^{-1}$ จากนั้นจะลดลงเมื่อดำเนินการที่ F/M ratio สูงขึ้น (F/M ratio เท่ากับ 0.5 และ 0.6 วัน$^{-1}$) ที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด หลังผ่านกระบวนการบำบัดแล้วให้เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 92.2 และ 57.5 ตามลำดับ ในขณะที่ F/M ratio 0.2 วัน$^{-1}$ ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 และ COD ต่ำสุดคือ 84.7 และ 31.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 แสดงผลของ F/M ratio ต่อค่า BOD_5 COD (เฉลี่ย N=14) ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ HRT 6 ชั่วโมง

F/M ratio	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
0.2	286	429	35.6	87.6	256	40.3
0.3	286	429	25.1	91.2	204	52.6
0.4	286	429	18.7	93.5	154	64.0
0.5	286	429	28.7	90.0	220	48.8
0.6	286	429	30.1	89.5	235	45.2



ภาพประกอบ 13 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 6 ชั่วโมง

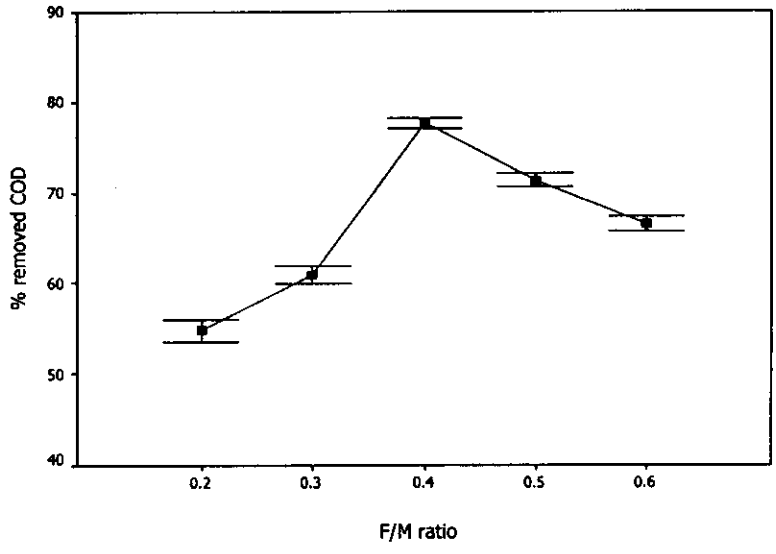


ภาพประกอบ 14 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด BOD_5 ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 6 ชั่วโมง

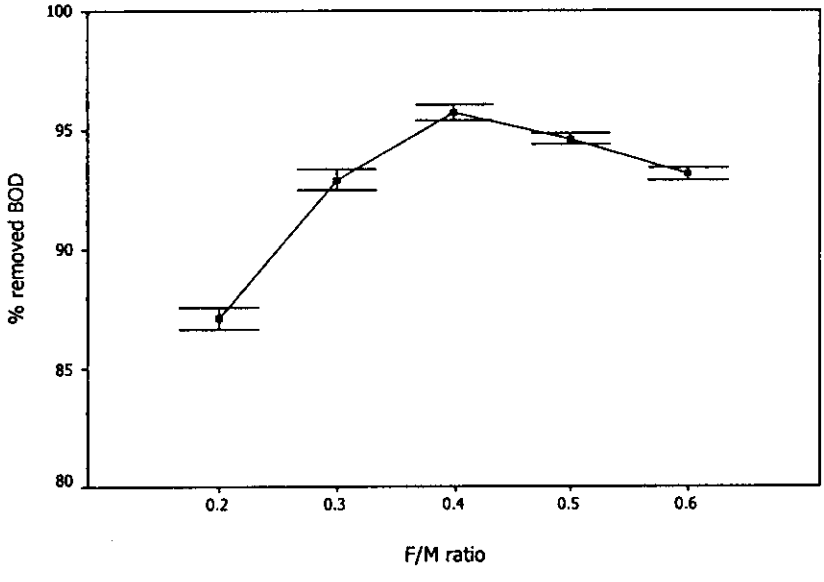
การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.9 kg $BOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ ที่ HRT 6 ชั่วโมง ผลการทดลองดังตารางที่ 15 ภาพประกอบ 13 และ 14 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 COD เพิ่มขึ้นจาก F/M ratio 0.2 วัน$^{-1}$ ถึง 0.4 วัน$^{-1}$ จากนั้นจะลดลงเมื่อดำเนินการที่ F/M ratio เพิ่มขึ้น (F/M ratio = 0.5 และ 0.6 วัน$^{-1}$) ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำเสียที่ HRT เท่ากับ 4 ชั่วโมง โดยที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรียสารสูงสุด หลังผ่านกระบวนการบำบัดแล้วให้เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 93.5 และ 64.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 แสดงผลของ F/M ratio ต่อค่า BOD_5 COD (เฉลี่ย N=14) ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ HRT 8 ชั่วโมง

F/M ratio	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
0.2	425	578	54.8	87.1	262	54.8
0.3	425	578	30.1	92.9	226	60.8
0.4	425	578	18.2	95.7	130	77.6
0.5	425	578	22.8	94.7	166	71.3
0.6	425	578	29.0	93.2	194	66.5



ภาพประกอบ 15 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 8 ชั่วโมง



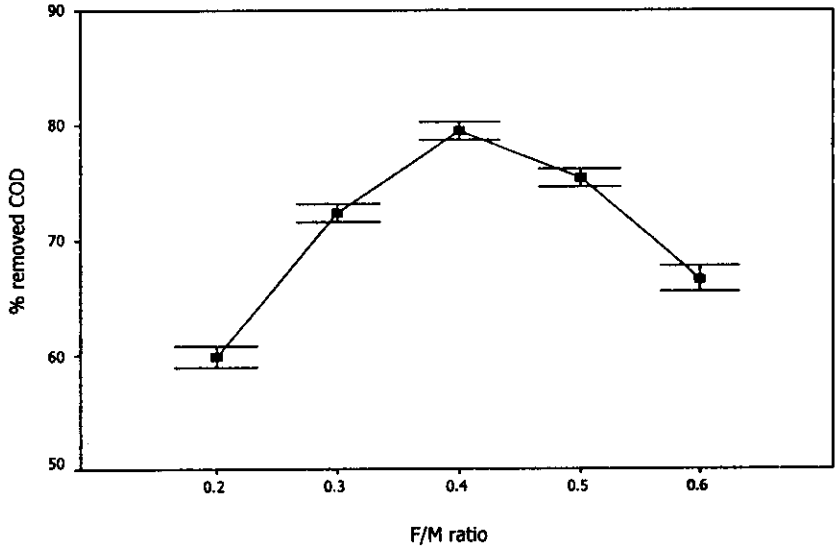
ภาพประกอบ 16 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด BOD_5 ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 8 ชั่วโมง

การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.028 $kgBOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ HRT เท่ากับ 8 ชั่วโมง ผลการทดลองดังตารางที่ 16 ภาพประกอบ 15 และ 16 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 COD เพิ่มขึ้นจาก F/M ratio 0.2 วัน$^{-1}$ ถึง 0.4 วัน$^{-1}$ จากนั้นจะลดลงเมื่อดำเนินการที่ F/M ratio เพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำเสียที่ HRT เท่ากับ 4 และ 6 ชั่วโมง โดยที่

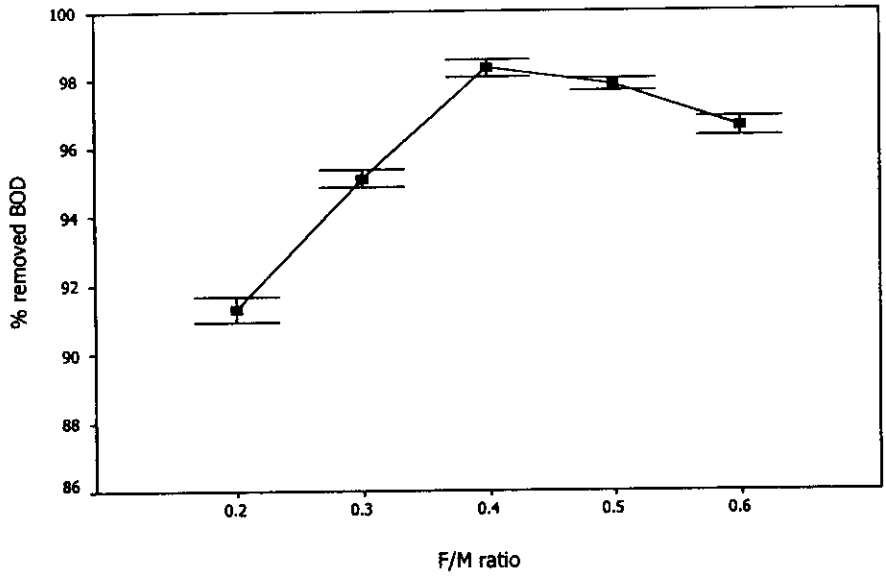
F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด หลังผ่านกระบวนการบำบัดแล้วให้เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 95.7 และ 77.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 แสดงผลของ F/M ratio ต่อค่า BOD_5 COD (เฉลี่ย N=14) ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ HRT 10 ชั่วโมง

F/M ratio	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
0.2	523	711	45.5	91.3	285	59.9
0.3	523	711	25.7	95.1	197	72.3
0.4	523	711	8.80	98.3	146	79.5
0.5	523	711	11.4	97.8	175	75.4
0.6	523	711	17.7	96.6	237	66.7



ภาพประกอบ 17 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 10 ชั่วโมง

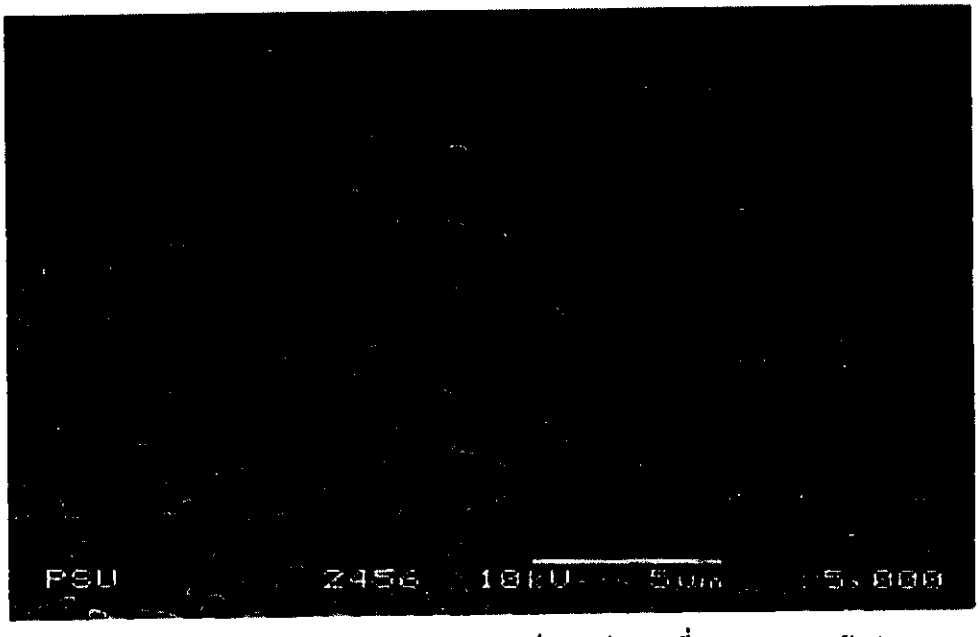


ภาพประกอบ 18 ผลของ F/M ratio ต่อการกำจัด BOD_5 ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ HRT 10 ชั่วโมง

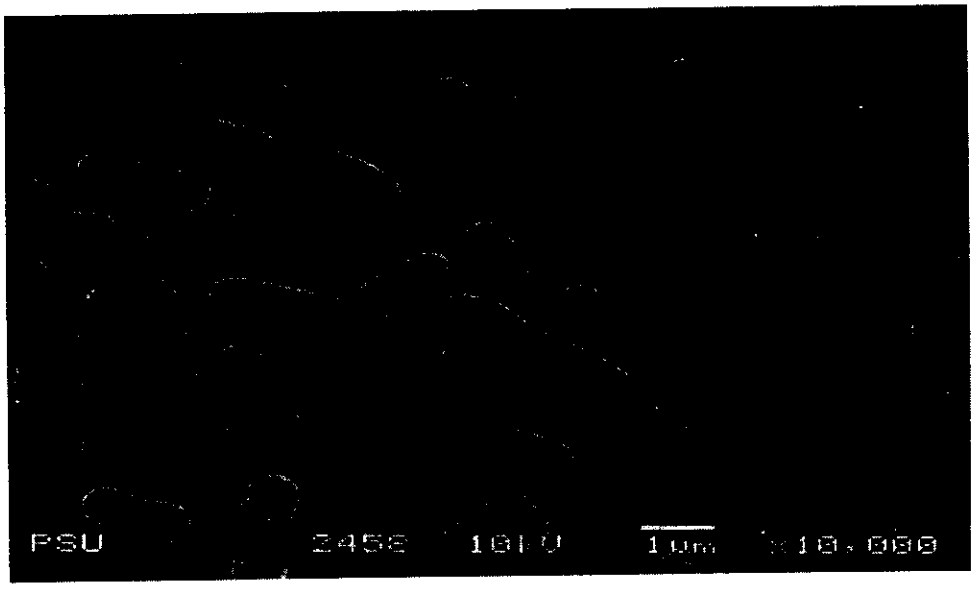
การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.028 $kgBOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ HRT เท่ากับ 10 ชั่วโมง ผลการทดลองดังตารางที่ 17 ภาพประกอบ 17 และ 18 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 COD เพิ่มขึ้นจาก F/M ratio 0.2 วัน$^{-1}$ ถึง 0.4 วัน$^{-1}$ จากนั้นจะลดลงเมื่อดำเนินการที่ F/M ratio เพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำเสียที่ HRT เท่ากับ 4 6 และ 8 ชั่วโมง โดยที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด หลังผ่านกระบวนการบำบัดแล้วให้เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 98.3 และ 79.5 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS ดังแสดงที่ภาคผนวก ค. กล่าวได้ว่า F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุด ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดแตกต่างจาก F/M ratio 0.2 0.3 0.5 และ 0.6 วัน$^{-1}$ อย่างมีนัยสำคัญ และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-580 LV,JEOL) ในถังเติมอากาศที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 10 ชั่วโมง พบว่าเป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะกลม และแบบแท่ง แสดงดังภาพประกอบ 19-20

จากการสังเกตที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 4 6 8 และ 10 ชั่วโมง น้ำออกจากระบบมีลักษณะสีเหลืองใส แตกต่างกับที่ F/M ratio สูงๆ (0.6 วัน$^{-1}$) น้ำออกจะขุ่นเนื่องจากมีจุลินทรีย์บางส่วนที่ไม่ตกจม จากการวิเคราะห์ลักษณะแบคทีเรียที่ F/M ratio 0.6 วัน$^{-1}$ HRT 10 ชั่วโมง พบว่าลักษณะจุลินทรีย์ เป็นแบบกลม แท่งและมีลักษณะเป็นเส้นใยจำนวนมาก ดังแสดงในภาพประกอบ 21 แบคทีเรียที่มีรูปร่างคล้าย

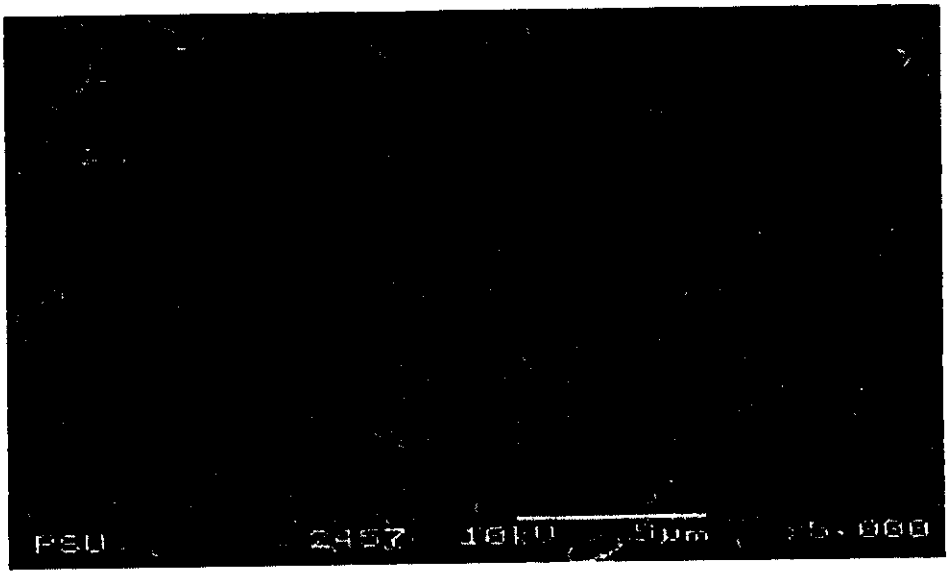
เส้นใยจัดเป็นจุลินทรีย์ชนิดก่อกวน เนื่องจากทำให้เกิดการไม่จมตัวของตะกอนที่เรียกว่า บัลกิง (Bulking) (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542)



ภาพประกอบ 19 ลักษณะแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์แบบทีละเทที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 10 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-580 LV,JEOL) กำลังขยาย x 5,000 เท่า

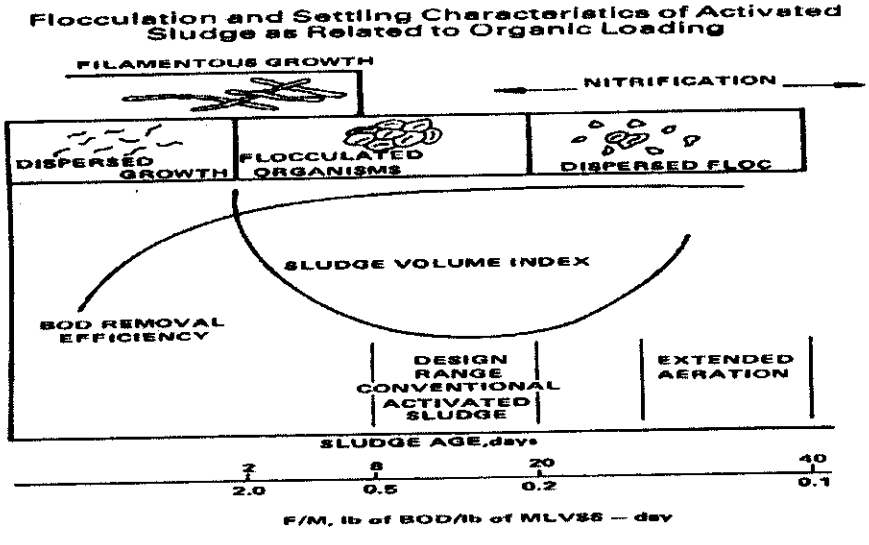


ภาพประกอบ 20 ลักษณะแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์แบบทีละเทที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 10 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-580 LV,JEOL) กำลังขยาย x 10,000 เท่า



ภาพประกอบ 21 ลักษณะแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์แบบทีละเทที่ F/M ratio 0.6 วัน$^{-1}$ HRT 10 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-580 LV,JEOL) กำลังขยาย x 5,000 เท่า

F/M ratio ถูกใช้ในการควบคุมการดำเนินการระบบตะกอนเร่ง โดยมีความสัมพันธ์กับการควบคุม Settling Volumn index (SVI) และลักษณะของตะกอนดังภาพประกอบ 22 นอกจากนั้น Organic loading หรือ F/M ratio มีความสัมพันธ์กับสลัดจ์บัลกิง ซึ่งแสดงว่าเกิดบัลกิงเมื่อ F/M ratio มากกว่า 0.5 kg BOD_5/(day.kg of MLSS) (Ford, 1996)



ภาพประกอบ 22 Flocculation and settling characteristics of activated sludge as related to organic loading (Eckenfelder, 1980)

จากการทดลองบ่งชี้ว่าที่ F/M ratio ต่ำ (น้อยกว่า 0.4 วัน$^{-1}$) ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 และ COD ต่ำ แสดงให้เห็นว่า F/M ratio ดังกล่าวไม่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น กัลยา ศรีสุวรรณ (2543) อธิบายว่าที่ F/M ratio ต่ำ ปริมาณอาหารไม่เพียงพอที่ทำให้จุลชีพเพิ่มขึ้นและจะเกิดการย่อยสลายพวกเดียวกัน ซึ่งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการย่อยลักษณะนี้เป็นพวกที่มีโปรตีนและ RNA (Ribonucleic acid) สูงและผลพลอยได้จากการย่อยสลายแบบนี้จะเป็นพวกเซลล์ที่มีลักษณะเป็นแคปซูล (Capsults) ซึ่งเบาและตกจมยาก ดังนั้น F/M ratio ต่ำจะได้การตกจมที่ไม่ดี

นอกจากนั้นยังพบว่า F/M ratio สูง (มากกว่า 0.4 วัน$^{-1}$) ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ เนื่องจากเป็นสภาวะที่ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยเป็นตัวหลักในการบำบัด ซึ่งเป็นตะกอนแขวนลอยที่ไม่ตกจม ลักษณะตะกอนประเภทนี้เรียกว่า ตะกอนอืด (Bulking) จากการดำเนินการทดลองชี้ให้เห็นว่า F/M ratio ที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Diez *et a.*, (2001) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยเปลี่ยนแปลง F/M ratio ในช่วง 0.05-0.43 $gBOD_5$ /(gMLVSS.d) พบว่าเมื่อใช้ F/M ratio ในการดำเนินการอยู่ในช่วง 0.12-0.23 ให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ดีที่สุดคือ 96% อย่างไรก็ตาม ระบบตะกอนเร่งทั่วไป F/M ratio อยู่ในช่วง 0.15-0.4 $kgBOD_5$/(kgMLVSS.d) โดย F/M ratio สัมพันธ์กับการควบคุม SVI และลักษณะตะกอน ที่ F/M ratio ต่ำ ปริมาณอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้เกิดการหายใจภายในเซลล์ โดยสิ่งที่เหลือ (Residue) จากการย่อยสลายภายในเซลล์จะอยู่ในรูปแคปซูลภายในเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์เบามากและยากในการตกจม แต่ที่ F/M ratio สูง ทำให้ยากแก่การควบคุมการเจริญเติบโตและทำให้เกิดสลัดจ์บัลกิง (Ramalho, 1983; Wanner *et al.*, 1988)

Michael Richard *et al.*, (2002) อธิบายว่าการควบคุม Low F/M bulking ทำได้โดยการลดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ แต่การลดตะกอนจุลินทรีย์อาจไม่เหมาะสมกับกระบวนการบำบัดโดยจะลดการเกิด nitrification และเป็นการเพิ่ม waste excess sludge ดังนั้นการเพิ่ม F/M ratio ทำโดยการเพิ่มความเข้มข้นสารอินทรีย์ในถังเติมอากาศให้มีค่าเพียงพอสำหรับการบำบัดระบบตะกอนเร่ง ซึ่งสามารถควบคุม low F/M bulking ได้ กระบวนการที่ใช้โดยทั่วไปเพื่อไม่ให้ลดค่า MLSS คือมีถังผสมระหว่างตะกอนที่เวียนกลับเข้าระบบ (Recycle activated sludge) กับน้ำเสียก่อนเข้าถังเติมอากาศ

Casey *et al.*, (1992) ศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิด Low F/M filament bulking ในระบบตะกอนเร่งกระบวนการ ND (nitrification-denitrification) และ NDBEPR (nitrification-denitrification biological excess phosphorus removal) ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างจุลินทรีย์เส้นใยและจุลินทรีย์ที่เกิดฟล็อก (floc-forming organism) ซึ่ง denitrification pathways ที่แตกต่างกัน โดย ND และ NDBEPR เป็นระบบที่สับเปลี่ยนกันระหว่างสภาวะ anoxic-aerobic ทำให้ floc-foaming organism ย่อยสลาย COD อย่างช้าๆ (SBCOD) ดังนั้น การเกิด nitrite (NO_2) และ nitric oxide (NO) ของกระบวนการ denitrification ภายใต้

สภาวะ anoxic ทำให้เกิด Low F/M filament bulking เนื่องจาก intermediate (NO) ยับยั้งการย่อยสลาย COD โดย Floc ภายใต้สภาวะ aerobic และถ้าเป็นสภาวะที่มี NO_2^- สูงจะมีผลทำให้เกิด Filamentous อย่างรุนแรง

3.2 ผลการศึกษา HRT ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท

ผลการทดลองการศึกษา HRT ที่เหมาะสมในการกำจัด BOD_5 และ COD แสดงดังตารางที่ 18-21 ภาพประกอบ 23-24

ตารางที่ 18 แสดงผลของ HRT ต่อค่า BOD_5 COD ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 12 ชั่วโมง (N = 9)

ครั้งที่	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
1	525	789	9.00	98.3	90.7	88.5
2	525	789	7.20	98.6	87.2	89.0
3	525	789	6.30	98.8	80.2	89.8
4	525	789	6.80	98.7	76.1	90.3
5	525	789	7.20	98.6	80.2	89.8
6	525	789	7.10	98.7	76.7	90.3
7	525	789	7.00	98.7	91.7	88.4
8	525	789	7.50	98.6	89.1	88.7
9	525	789	7.10	98.6	89.5	88.7
เฉลี่ย	525	789	7.24	98.6	84.6	89.3

ตารางที่ 19 แสดงผลของ F/M ratio ต่อค่า BOD_5 COD ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 15 ชั่วโมง (N=8)

ครั้งที่	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
1	764	1,147	14.7	98.1	94.3	91.8
2	764	1,147	8.25	98.9	102	91.1
3	764	1,147	12.0	98.4	112	90.3
4	764	1,147	8.70	98.9	102	91.1
5	764	1,147	9.60	98.7	91.0	92.1
6	764	1,147	9.65	98.7	89.7	92.2
7	764	1,147	11.1	98.5	90.4	92.1
8	764	1,147	10.3	98.7	90.0	92.1
เฉลี่ย	764	1,147	7.24	98.6	96.4	91.6

ตารางที่ 20 แสดงผลของ HRT ต่อค่า BOD_5 COD ของน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นหลังผ่านการบำบัดที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 24 ชั่วโมง (N=8)

ครั้งที่	Influent		Effluent			
	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	%removed BOD_5	COD (mg/l)	%removed COD
1	900	1,352	16.8	98.1	99.7	92.3
2	900	1,352	15.60	98.3	99.7	92.6
3	900	1,352	12.7	98.6	95.8	92.9
4	900	1,352	11.30	98.7	83.8	93.8
5	900	1,352	13.80	98.5	106.0	92.2
6	900	1,352	15.10	98.3	95.7	92.9
7	900	1,352	12.3	98.6	99.7	92.6
8	900	1,352	12.3	98.6	98.7	92.7
เฉลี่ย	900	1,352	13.7	98.5	97.3	92.8

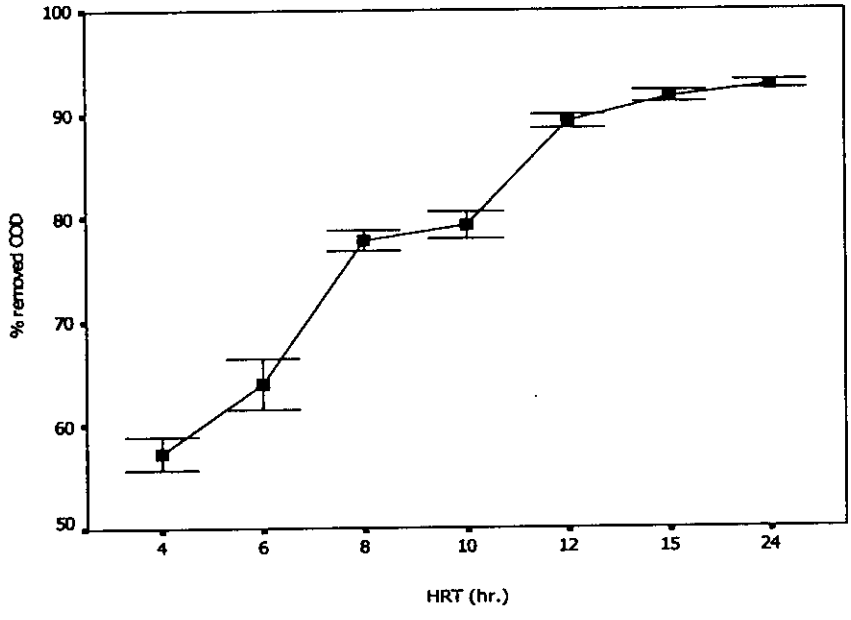
เมื่อ N= ตัวอย่างที่วิเคราะห์

ตารางที่ 21 แสดงระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง ที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$

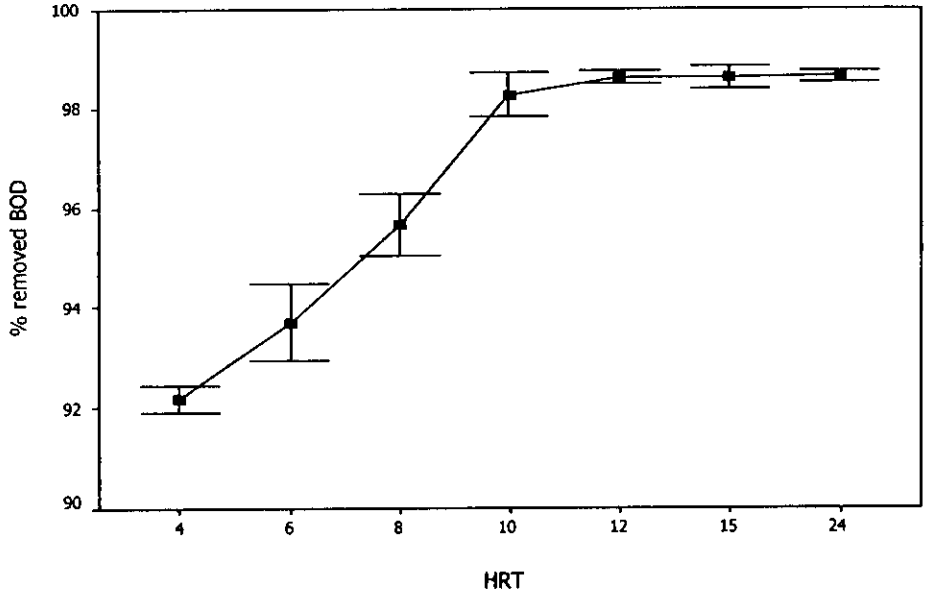
HRT (hr)	Eff BOD_5 (mg/l)	% removed BOD_5	Eff COD (mg/l)	% removed COD
4	15.2	92.2	124	57.5
6	18.7	93.5	154	64.0
8	18.2	95.7	130	77.6
10	8.85	98.3	146	79.5
12	7.24	98.6	84.6	89.3
15	7.24	98.6	96.4	91.6
24	13.7	98.5	97.4	92.8

Eff BOD_5 = Effluent BOD_5 (mg/l)

Eff COD = Effluent COD (mg/l)



ภาพประกอบ 23 ผลของ HRT ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$



ภาพประกอบ 24 ผลของ HRT ต่อการกำจัด BOD_5 ของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$

การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.028 $kgBOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT เท่ากับ 12 15 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองดังตารางที่ 18 19 20 และ 21 ภาพประกอบ 23 และ 24 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 COD เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเติมอากาศเพิ่มขึ้น จากการทดลองที่สภาวะ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT ที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 12 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 98.6 และ 89.3 % ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบำบัดเป็น 15 และ 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เริ่มคงที่ เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS ดังแสดงที่ภาคผนวก ค. กล่าวได้ว่า F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ ที่ HRT เท่ากับ 12 ชั่วโมงเหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์โรงงานน้ำยางข้นเนื่องจาก ที่ HRT 12 ชั่วโมงให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ไม่แตกต่างจากที่ HRT 15 และ 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ที่ HRT ต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจุดมุ่งหมายการบำบัดระบบตะกอนเร่งคือให้ประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาในการบำบัดน้อยที่สุด จึงกล่าวได้ว่า HRT ที่เหมาะสมเท่ากับ 12 ชั่วโมง

Ritchelita *et al.*, (1999) ศึกษาผลของ HRT และ MLSS ในการกำจัด trihalomethane (THM) precursor พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด THM precursor สูงสุดที่ MLSS ประมาณ 2,500 mg/l HRT 24 h. เมื่อเพิ่ม HRT เป็น 72 h และเพิ่ม MLSS (4,000 mg/l) ไม่ให้การกำจัด DOC หรือ trihalomethane formation potential (THMFP) ที่ดีกว่า อาจเป็นไปได้ว่าเนื่องจากผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียซึ่งเพิ่ม THM precursor ในกระบวนการบำบัดตะกอนเร่ง

กัลยา ศรีสุวรรณ (2543) แสดงสมการการคำนวณระยะเวลากักเก็บน้ำที่ให้สภาวะการตกจมดีที่สุดจากสมการ

$$t_h = \frac{S_0}{X_{v,a}(\frac{F}{M}_{optimum})}$$

t_h = ระยะเวลากักเก็บน้ำ (วัน)

S_0 = ความเข้มข้น BOD เข้าระบบ (mg/l)

F/M = food to microorganism ($วัน^{-1}$)

$X_{v,a}$ = ความเข้มข้นจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (mg/l) โดยทั่วไปในน้ำเสียโรงงาน เท่ากับ 2,000-4,000 mg/l

Diez *et al.*, (2001) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยเปลี่ยนแปลงค่า HRT ในช่วง 4.5-48 ชั่วโมง และเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสารอาหารแก่จุลินทรีย์เพื่อลดค่า BOD_5 COD TSS VSS Phenol compound tannin lignin และสารพิษต่างๆ โดย BOD_5 COD ลดลงมากกว่า 90 และ 60 % ตามลำดับ เมื่อ HRT อยู่ในช่วง 6-16 ชั่วโมง แต่ประสิทธิภาพลดลงเมื่อ HRT น้อยกว่า 6 ชั่วโมง และพบว่าระบบไม่มีเสถียรภาพในการดำเนินการ

สุชาติ เหลืองประเสริฐ (2538) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยระบบ SBR ค่าความสกปรก BOD_5 COD และของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 3,319 4,767.63 และ 1,234 mg/l ในการทดลองนี้มีช่วงเวลาเติมน้ำเสีย 12 ชั่วโมง ช่วงเวลาเติมอากาศ 20 ชั่วโมง ช่วงเวลาตกตะกอนและรินน้ำ 3 และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ โดยเริ่มเติมน้ำเสียและเติมอากาศพร้อมกัน จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า ระยะเวลาเก็บกัก ค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตร F/M ratio อัตราการจับใช้ออกซิเจนและดัชนีปริมาตรสลัดจ์มีค่าเป็น 5.0 วัน 0.929 $kgBOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ 0.226 $kgBOD_5/(kgMLVSS.d)$ 11.45 $mgO_2/(MLVSS.hr.)$ และ 155.3 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD_5 SS TKN และ TP คิดเป็นร้อยละ 99.33 99.89 99.78 95.89 และ 81.63 ตามลำดับ

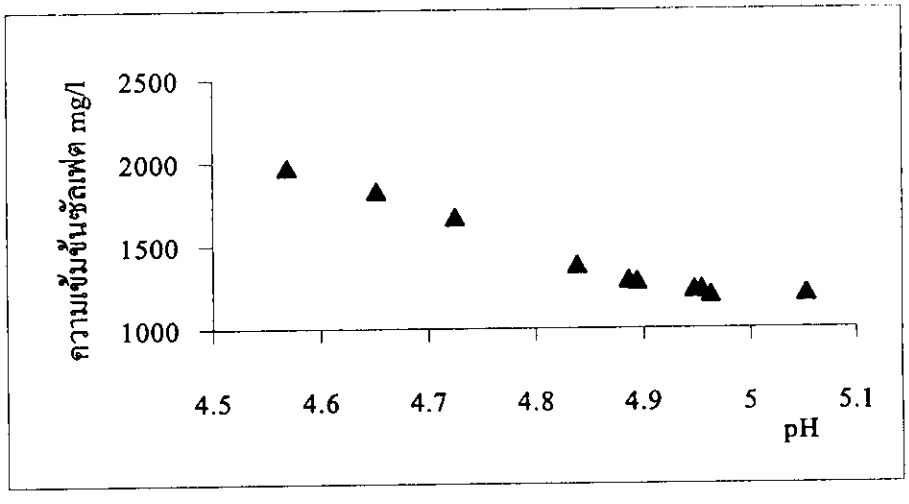
Tanya A.Barr *et al.*, (1996) ศึกษาผลของ HRT SRT และอุณหภูมิในการดำเนินการบำบัดน้ำเสียโรงงาน Bleached kraft mill ระบบตะกอนเร่งพบว่า HRT มีอิทธิพลต่อการกำจัด BOD_5 มากกว่า SRT ในแต่ละการเปลี่ยนแปลง SRT และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ลดลงเมื่อ HRT ลดลง จากข้อมูลพบว่าที่ SRT น้อยกว่า เมื่อลด HRT การกำจัด BOD_5 ลดลงมากกว่าที่ SRT สูงกว่า ยกตัวอย่างเช่น ที่ SRT 15 วัน HRT 12 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 87.3 ± 2.9 แต่เมื่อลด HRT เป็น 4 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 เท่ากับ 68 ± 17.5 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเท่ากับ 22 % เมื่อลด SRT เป็น 10 วัน HRT

12 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 90.9 ± 3.2 แต่เมื่อลด HRT เป็น 4 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 เท่ากับ 58.0 ± 2.2 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเท่ากับ 36 %

Nazareth (1990) อธิบายถึงศักยภาพของเซลล์ที่ยึดรวมกันในระบบเอสบีอาร์ในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน การทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า COD 800 400 และ 200 mg/l ซึ่งพบว่าระยะเวลาการเติมอากาศมีผลกับการออกซิไดซ์คาร์บอนและการกำจัดไนโตรเจน โดยการเติมอากาศที่เหมาะสมคือ 2 ชม. โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงกว่า 90 %

3.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นซัลเฟตในส่วนที่เป็นน้ำใสพบว่าเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นความเข้มข้นซัลเฟตลดลงดังแสดงในภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นซัลเฟตดังสมการ

$$y = 11890x^3 - 16921x^2 + 800291x - 1E+06$$

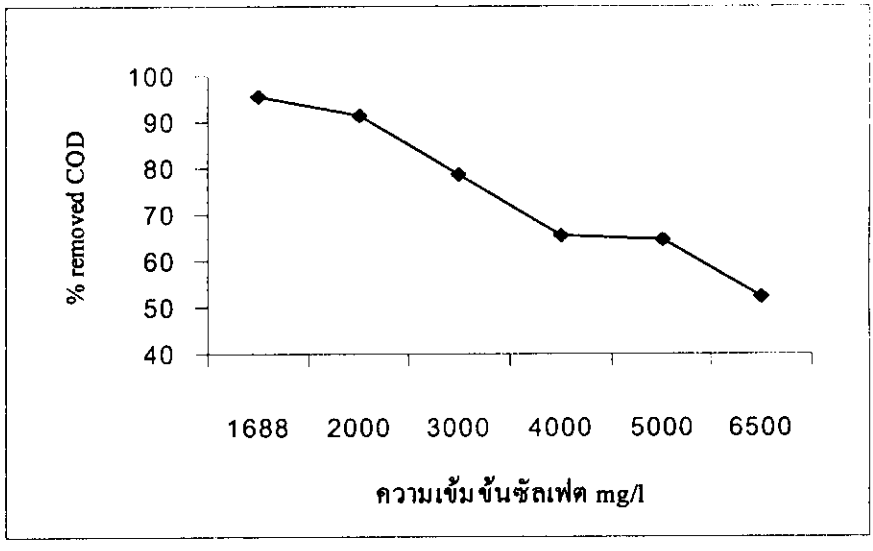
เมื่อ y = ความเข้มข้นของซัลเฟต, mg/l

X = pH

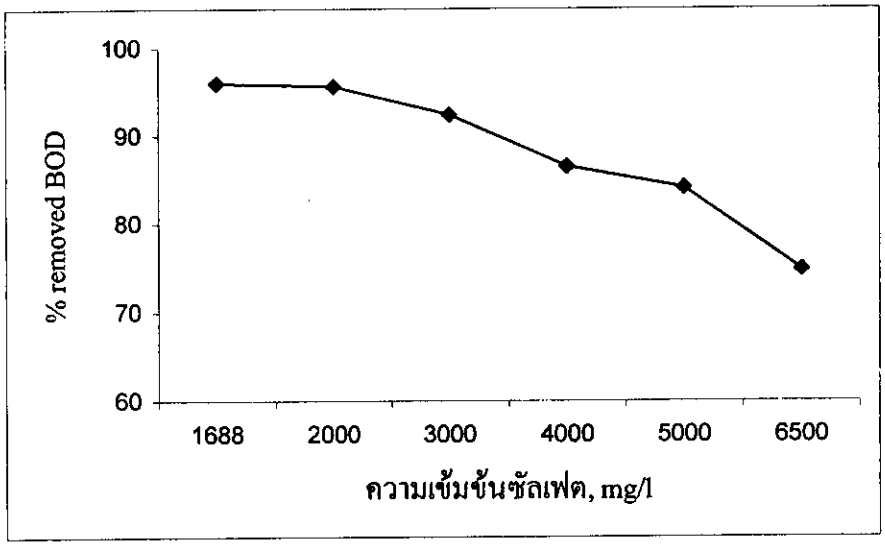
ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นข้อมูลพื้นฐานในการดำเนินการระบบให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด และสามารถแก้ไขปัญหาการดำเนินการได้ทันท่วงที จากการศึกษาปริมาณซัลเฟตที่มีผลต่อการกำจัด BOD_5 และ COD ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 แสดงผลของความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ในน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง

ความเข้มข้นซัลเฟต ที่เข้าระบบ (mg/l)	Eff.BOD_5 (mg/l)	% removed BOD_5	Eff.COD (mg/l)	% removed COD	ความเข้มข้นซัลเฟต ที่ออกจากระบบ (mg/l)
1,688	30.0	96.0	56.1	95.6	1,556
2,000	33.5	95.6	108.4	91.4	1,982
3,000	57.5	92.4	266	78.8	2,740
4,000	103	86.5	435	65.7	3,866
5,000	120	84.2	449	64.4	4,912
6,500	191	74.9	605	52.1	6,504



ภาพประกอบ 26 ผลของความเข้มข้นซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด COD ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นระบบตะกอนเร่ง



ภาพประกอบ 27 ผลของความเข้มข้นซัลเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นระบบตะกอนเร่ง

ซัลเฟอร์หรือกัมมะถันเป็นส่วนประกอบสำคัญในกรดอะมิโน โคแฟกเตอร์ (เช่น โคเอนไซม์-เอ) และเอนไซม์ (เช่น กลุ่ม -SH) โดยสามารถอยู่ได้ทั้งรูปรีดิวซ์และออกซิไดส์ ในชีวภาพเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปซัลเฟต โดยจุลินทรีย์นำเอาซัลเฟตใช้สร้างโปรโตพลาสซึมในลักษณะเดียวกับการใช้ไนเตรตกล่าวคือต้องรีดิวซ์ก่อนนำไปสร้างเป็นสารประกอบภายในเซลล์และจุลินทรีย์จะเอาซัลเฟตในปริมาณที่จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาชีวสังเคราะห์เท่านั้น ไม่มีการสะสมซัลเฟอร์เหมือนการสะสมคาร์บอน ดังนั้นจึงไม่มี Reduced product ถูกขับออกมา

เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นของโรงงานน้ำยางข้นใช้ rubber trap ซึ่งเป็นสภาวะ แอนแอโรบิก (Anaerobic condition) ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sufide) ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + 8H^+ \Longrightarrow H_2S + 2H_2O + 2OH^-$$

ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ รูปแบบของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำซึ่งปรากฏอยู่ในสภาพแวดล้อมจะขึ้นกับค่าพีเอช

$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$$

$$HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-}$$

ในสภาพที่พีเอชสูงส่วนมากจะอยู่ในรูปซัลไฟด์ (S^{2-}) ในสภาพที่พีเอชเป็นกลางส่วนมากจะอยู่ในรูป HS^- และที่พีเอชเป็นกรดมักอยู่ในรูป H_2S เป็นส่วนใหญ่ (Brock *et al.*, 1984) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีกลิ่นเหม็นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปที่

ไม่แตกตัวผ่านผนังเซลล์แล้วเปลี่ยนโปรตีนหรือ key metabolic(co)enzyme โดยการเกิดพันธะ (Cross-link) ระหว่าง disulfides และ polypeptide โดยไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจยับยั้งการย่อยสลายและดูดซึมซัลเฟอร์ (Vogels *et al.*, 1988) แต่ถ้าอยู่ในรูปแตกตัวเช่น HS^- และ S^{2-} จะไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (สิริทุกข์วินาท, 2528) ดังนั้นน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากระบบแบบแอนแอโรบิกซึ่งมีซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบต่ำ เนื่องจากซัลไฟด์อยู่ในรูปของ COD ในน้ำเสีย (1 โมลของซัลไฟด์ต้องการ 2 โมลออกซิเจนในการออกซิเดชันเป็นซัลเฟตอย่างสมบูรณ์) ยิ่งกว่านั้นซัลไฟด์ทำให้ระบบแบบเติมอากาศซึ่งเป็นระบบบำบัดขั้นต่อไปล้มเหลวตัวอย่างเช่น เกิดการ bloom ของสาหร่ายในระบบ lagoon หรือเกิดสลัดจ์บัลกิงในระบบตะกอนเร่งเมื่อระบบมีซัลไฟด์ในน้ำเสีย จะเกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยพวก filamentous sulfide-oxidizing organism เช่น Thiothrix sp. และ Beggiatoa sp. (Eikelboom, 1975)

Boisman and Sopjes (1991) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ต่ำ (41%) ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษด้วยระบบตะกอนเร่งซึ่งน้ำเสียประกอบด้วย 50 mg COD/mg sulfide ถ้ามีการกำจัดซัลไฟด์ก่อนการบำบัดน้ำเสียประสิทธิภาพการกำจัด COD เพิ่มขึ้นเป็น 78 % ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการกำจัดซัลไฟด์ โดยทั่วไปน้ำเสียที่มีองค์ประกอบซัลเฟอร์สูงจะบำบัดโดยการเติมอากาศ ซึ่งองค์ประกอบของซัลเฟอร์จะเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟตในถังเติมอากาศ ซึ่งมีซึ่งเป็นผลทำให้ด่าง (Alkalinity) ถูกนำไปใช้ ทำให้ pH ลดลงและมีซัลเฟตในน้ำออกปริมาณสูง (Pavlostathis and Morrison, 1994) ดังนั้นการบำบัดแบบเติมอากาศไม่ลดเกลือและองค์ประกอบของซัลเฟอร์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ เนื่องจากเกิดการรวมตัวกับจุลชีพ (Klaus Hanel, 1988) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งพบว่าระบบลดปริมาณซัลเฟตเพียง 0.51-7.80 %

Smet *et al.*, (1998) กล่าวว่าสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไนเตรต sulfur bacteria จะออกซิไดส์ซัลไฟด์เป็นซัลเฟต อิเลกตรอนของซัลไฟด์ถูกใช้ในการเปลี่ยนออกซิเจนหรือไนเตรตเป็น H_2O และ N_2 ตามลำดับ โดยมี C_2O เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) การออกซิเดชันของซัลไฟด์เป็นซัลเฟตอย่างสมบูรณ์แสดงดังสมการ

$$2HS^- + 4O_2 \Rightarrow 2SO_4^{2-} + 2H^+ \quad \Delta G^\circ = -772.4 \text{ KJ/ mol } HS^-$$

จากตารางที่ 22 ภาพประกอบ 26 และ 27 ความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นประมาณ 1688 mg/l ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 96.0 และ 95.6 % ตามลำดับ เมื่อเติมเกลือ Na_2S,O_4 เพื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟตทำให้แนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ลดลง

Ventz (1971) แสดงค่าความเข้มข้นซัลเฟตในปริมาณจำกัดที่มีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่งแสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ค่าความเข้มข้นเกลือซัลเฟตในปริมาณจำกัดที่มีผลกระทบต่อการบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่ง

Ion	Salt	Max tolerable concentration (g/l)	
		Under Steady conditions	Under shock loading
SO_4^{2-}	Na_2SO_4	40	34
	$CaSO_4$	33	27

เกลือมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระบบตะกอนเร่งเนื่องจากแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 23 พบว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 6 mg/l ไม่มีผลต่อระบบ ที่ความเข้มข้น 6-34 g/l เริ่มยับยั้งการเกิดไนเตรตและลดการกำจัด COD และจากความเข้มข้น 34-54 mg/l เห็นการยับยั้งการเกิดไนเตรตได้อย่างชัดเจนและลดการกำจัด BOD_5 และ COD

Vendrup and Sund (1994) เห็นได้ว่าปริมาณซัลเฟตที่ความเข้มข้นสูงมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดซัลเฟตก่อนป้อนเข้าระบบตะกอนเร่ง การใช้กระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์-เคมีสำหรับการกำจัดซัลเฟตเช่น osmosis, electrodialysis หรือ nanofiltration (Bilstad, 1992) ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นจึงใช้การตกตะกอนของ $BaSO_4$ ซึ่งความสามารถในการละลายต่ำ โดยใช้เกลือของแบเรี่ยมเช่น $BaCO_3$ หรือ BaS ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตสูงขึ้นเมื่อมี Ca^+ ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + BaCO_3 + Ca^+ \Rightarrow BaSO_4 + CaCO_3$$

ซึ่ง $BaCO_3$ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตาม Ba^{2+} เป็นพิษต่อมนุษย์ซึ่งกระบวนการกำจัดซัลเฟตโดยใช้ $BaCO_3$ เสี่ยงต่อการมีความเข้มข้นของ Ba^{2+} สูง ดังนั้นจึงใช้ Ca^+ ในการตกตะกอนแทน Ba^{2+}

Kabdasli และ Tunay (1993) ได้ศึกษาการดึงซัลเฟตออกจากน้ำเสียโดยใช้ปูนขาวตกตะกอนร่วมกับเกลือแบเรี่ยม พบว่าการใช้ปูนขาวตกตะกอนเพียงอย่างเดียวประสิทธิภาพของการตกตะกอนจะขึ้นกับความเข้มข้นของซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ และปริมาณแคลเซียม ($CaSO_4$) ในการตกตะกอนโดยใช้ปูนขาวร่วมกับเกลือแบเรี่ยมจะให้ผลที่ดีกว่าแต่ค่าใช้จ่ายจะสูงและต้องอาศัยเวลาสำหรับการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 24 Effect of increasing salt content on the elimination of organic substrates on nitrification in activated sludges from the petroleum industry (Klaus Hanel, 1988)

Salt content	Sludge loading rate	BOD_{20} (mg/l)		COD (mg/l)		NO_2^-% of inorg N		NO_3^-% of inorg N		Petroleum products (mg/l)	
In inflow (g/l)	BOD_{20} kg/kg.d	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
0.2	0.42	625*	10	1230	75	0	8.6	0	71.8	58	9
6.3	0.43	645*	14	1280	86	0	5.8	0	57.2	58	9
23.0	0.42	625*	14	1260	90	0	12.4	0	56.6	58	13
34.3	0.30	460*	13	975	97	0	13.6	0	50.4	58	9
54.3	0.21	218	19	848	288	0	21.9	0	31.5	54	14
54.4	0.14	233	18	976	342	0	19.5	0	36.4	50	12
62.2	0.17	209	63	790	577	0	4.2	0	0	57	31

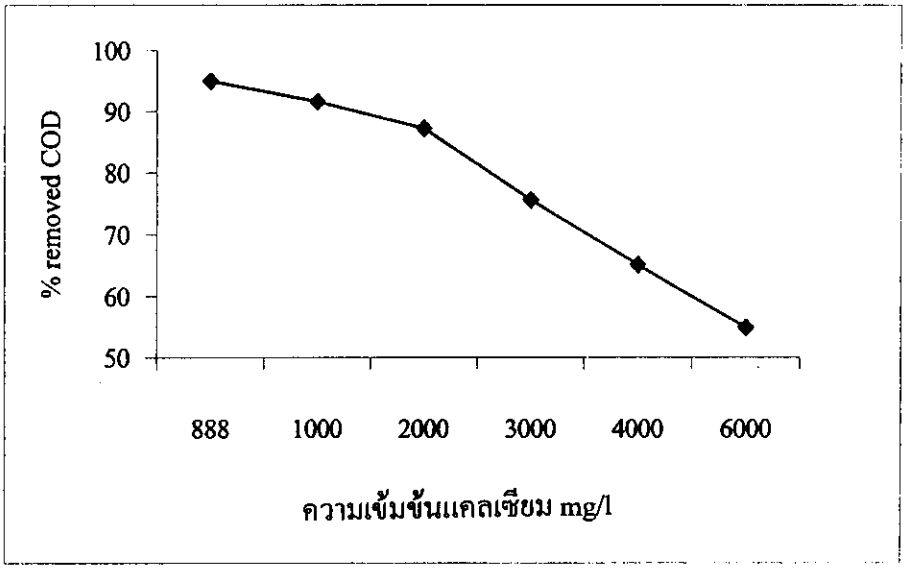
* Denotes inlet values raised by addition of 350 or 500 mg/l phenol

3.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียม (Ca^{2+}) ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท

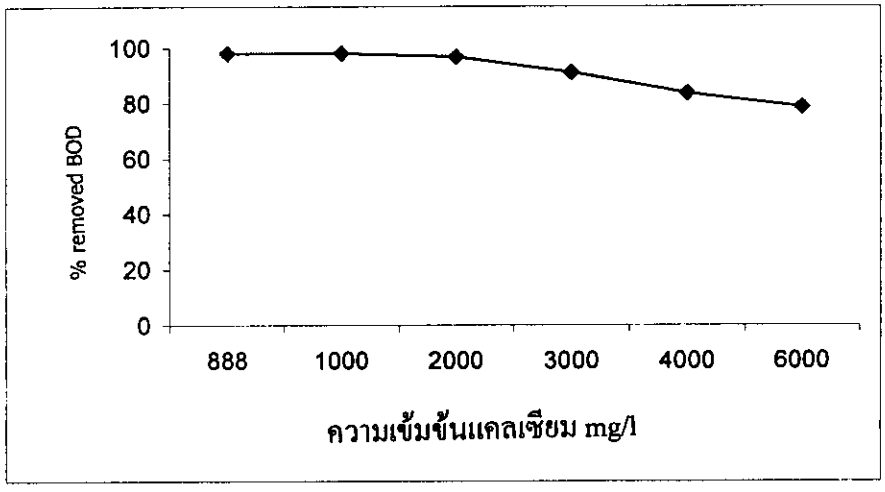
จากการศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมที่มีผลต่อการกำจัด BOD_5 COD ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท แสดงดังตารางที่ 25 ภาพประกอบ 28-29

ตารางที่ 25 แสดงผลของความเข้มข้นของแคลเซียม (Ca^{2+}) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ CODในน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง

ความเข้มข้นแคลเซียมที่เข้าระบบ (mg/l)	Eff.BOD_5 (mg/l)	% removed BOD_5	Eff.COD (mg/l)	% removed COD	ความเข้มข้นแคลเซียมที่ออกจากระบบ (mg/l)
888	15.5	98.0	68.2	95.0	758
1,000	15.9	98.0	114	91.6	985
2,000	25.0	96.8	173	87.2	1,786
3,000	68.0	91.3	330	75.6	2,659
4,000	130	83.5	472	65.1	4,121
6,000	168	78.6	611	54.8	5,743



ภาพประกอบ 28 ผลของความเข้มข้นแคลเซียมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด COD ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง



ภาพประกอบ 29 ผลของความเข้มข้นแคลเซียมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นระบบตะกอนเร่ง

แคทอิออน (Cation) มีความสำคัญต่อคุณสมบัติการตกจมของฟล็อก ในระบบตะกอนเร่ง การเติมแคลเซียมหรือแมกนีเซียม (Magnesium) มีผลทำให้การตกจมของตะกอนจุลินทรีย์ดีขึ้น (Higgins and Novak, 1997) บทบาทของแคทอิออนในการเกิดฟล็อกคือ แคทอิออนลดระยะห่างระหว่างแบคทีเรีย ซึ่งมีประจุเป็นลบ (negative charge) เป็นตัวส่งเสริมการเกิดฟล็อก (Zita and Hermansson, 1994)และยังพบว่าทั้ง monovalent และ divalent cations มีความสามารถในการเพิ่มการเกิดฟล็อกได้เหมือนกัน ผลการวิจัยสอดคล้องกับ Biggs *et al.*, (2000) ศึกษาผลของแคลเซียมต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนจุลินทรีย์ในการเกิดฟล็อกในระบบตะกอนเร่ง พบว่าหากความเข้มข้นแคลเซียมน้อยกว่า 4 meq/l ไม่เพิ่มขนาดของฟล็อกอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองสนับสนุนทฤษฎีการเกิด Cationic bridging

Cousin and Ganezarczyk (1997) พบว่าการเติมแคลเซียมมากกว่า 4 meq/l ทำให้ขนาดของฟล็อกเพิ่มขึ้นและลดความเป็นรูพรุน (porosity) การเติมแคลเซียมอย่างน้อย 4 meq/l เพื่อชนะการแข่งขันกับ competing ions เช่น โซเดียม (Na^+) การเพิ่มขนาดของฟล็อกเนื่องจากการเกิด calcium bridges ซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวของจุลชีพและอนุภาคต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวไม่กล่าวถึงความเข้มข้นที่มากกว่า 4 meq/l มีผลต่อการกำจัด BOD_5 และ COD อย่างไร

งานวิจัยของ Lens *et al.*, (1998) พบว่าแคลเซียมอิออนไม่ได้ส่งผลความเป็นพิษโดยตรงต่อระบบ แต่พบว่าตะกอนแคลเซียมในรูป carbonate และ phosphate เป็นตัวที่ส่งผลความเป็นพิษต่อการดำเนินการของระบบขึ้นกับความเข้มข้นของตะกอน โดยตะกอนของแคลเซียมจะยึดเกาะกับจุลินทรีย์ในระบบบำบัด (Biomass) การสะสมของตะกอนดังกล่าวส่งผลให้ลดกิจกรรม (Activity) ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เนื่องจากเกิด Ca-layer ซึ่งเป็นตัวกีดขวางการถ่ายเท (Transport) มวลสารผ่าน

เซลล์ (Suardal, 1991) ความเข้มข้นของตะกอนแคลเซียมที่มีผลต่อเซลล์จุลินทรีย์เท่ากับ 4,000 mg/l ยิ่งกว่านั้นตะกอนของแคลเซียมยังเป็นสาเหตุให้ระบบบำบัดขาดแคลนฟอสเฟต (Callander and Barford, 1983 ; Lettinga, 1995) ซึ่งถือว่าเป็นอาหารของจุลินทรีย์ใช้สำหรับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกและฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการถ่ายเทพลังงาน ฟอสฟอรัสที่มีไม่เพียงพอจะจำกัดการเติบโตและการกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์

จากตารางที่ 25 ภาพประกอบ 28 และ 29 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 และ COD จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นแคลเซียมเริ่มต้นในน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นเมื่อปรับพีเอชด้วยปูนขาว $Ca(OH)_2$ เท่ากับ 888 mg/l ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD เท่ากับ 98.0 และ 95.0 % ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตตะกอนจุลินทรีย์มีการจับตัวและตกจมได้ดี ประสิทธิภาพจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมในถังปฏิกรณ์ดพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อทิ้งให้ตะกอนตกจม 30 นาทีมีตะกอนบางส่วนลอยขึ้นอยู่บนผิวของถังปฏิกรณ์ และน้ำทิ้งมีลักษณะขุ่น มีตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lens *et al.*, (1998)

ผลความเข้มข้นคลอไรด์ที่เป็นพิษกับระบบอยู่ในระดับที่ไม่เกิน 15,000 mg/l (Wesley Eekenfelder, 1980) จากความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เติมลงไปถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่เป็นพิษ การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของคลอไรด์ต่อระบบตะกอนเร่งพบว่าคลอรีนเป็นสารพิษที่สามารถควบคุมจุลินทรีย์แบบเส้นใย การเติมคลอรีนที่เพียงพอสามารถทำลายจุลินทรีย์เส้นใยที่อยู่บนผิวฟล็อกได้โดยไม่สัมผัสหรือทำลายจุลินทรีย์ที่เหลือภายในฟล็อก แต่การเติมคลอรีนในปริมาณมากจะทำให้จุลินทรีย์แบบเส้นใยตายและทำให้ฟล็อกตายด้วยเช่นกัน เนื่องจากคลอรีนแพร่เข้าสู่ฟล็อก ซึ่งเรียกว่า " peeling an orange" ซึ่งกล่าวได้ว่าในการทดลองดังกล่าวไม่มีผลจากความเข้มข้นของคลอไรด์ภายในระบบที่เพิ่มขึ้น

Ventz (1971) แสดงค่าความเข้มข้นคลอไรด์อิออนในปริมาณจำกัดที่มีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่งแสดงดังตารางที่ 26

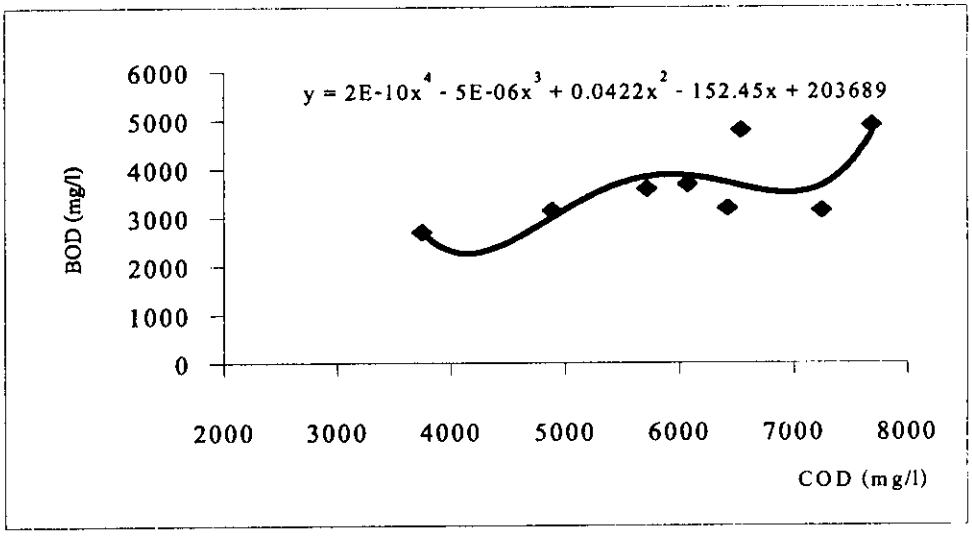
ตารางที่ 26 แสดงความเข้มข้นของคลอไรด์อิออนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่ง

Ion	Salt	Max tolerable concentration (g/l)	
		Under Steady conditions	Under shock loading
Cl^-	NaCl	18	9
	$CaCl_2$	13	6

3.5 ผลการศึกษา HRT ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องยางข้นที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$

การทดลองหัวข้อ 3.3 และ 3.4 เห็นได้ว่าความเข้มข้นของซัลเฟตและแคลเซียมเริ่มต้นก่อนเข้าระบบตะกอนเร่งต่ำกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD

จากการดำเนินการจำเป็นต้องควบคุมภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (BOD_5 loading) และ F/M ratio ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวต้องควบคุมด้วยค่า BOD_5 ซึ่งต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ 5 วันจึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่าง BOD_5 และ COD เพื่อให้ทราบ BOD_5 อย่างคร่าวๆในการดำเนินการ ดังแสดงในภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 ความสัมพันธ์ระหว่าง BOD_5 : COD ของน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้น

จากการทดลองสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง BOD_5 และ COD ได้เป็นสมการ

$$y = 2E\text{-}10x^4 - 5E\text{-}10x^3 + 0.0422x^2 - 152.45x + 203689$$

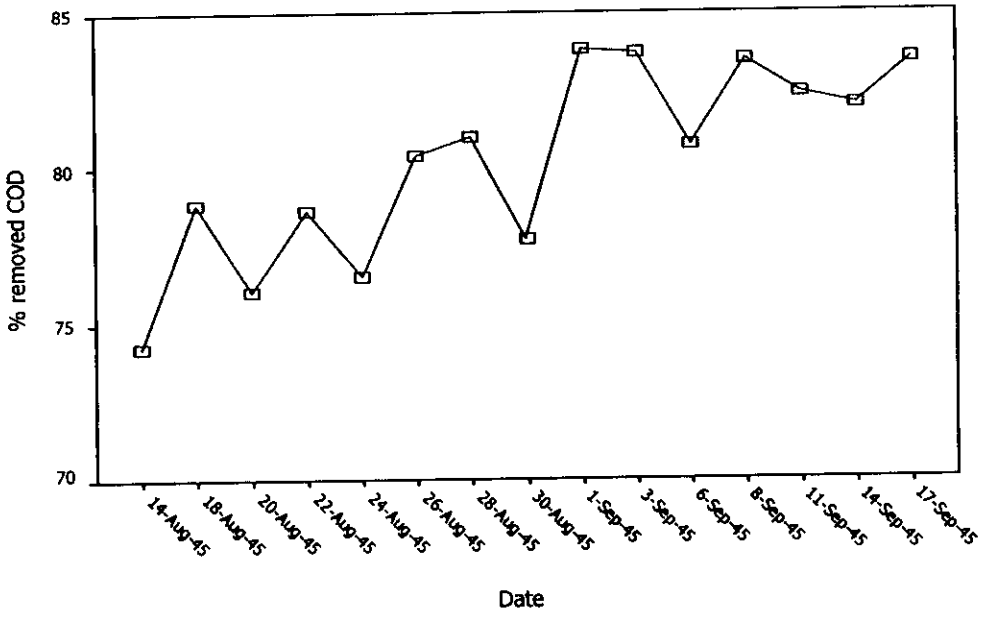
เมื่อ y = ความเข้มข้นของ BOD_5, mg/l

X = ความเข้มข้นของ COD, mg/l

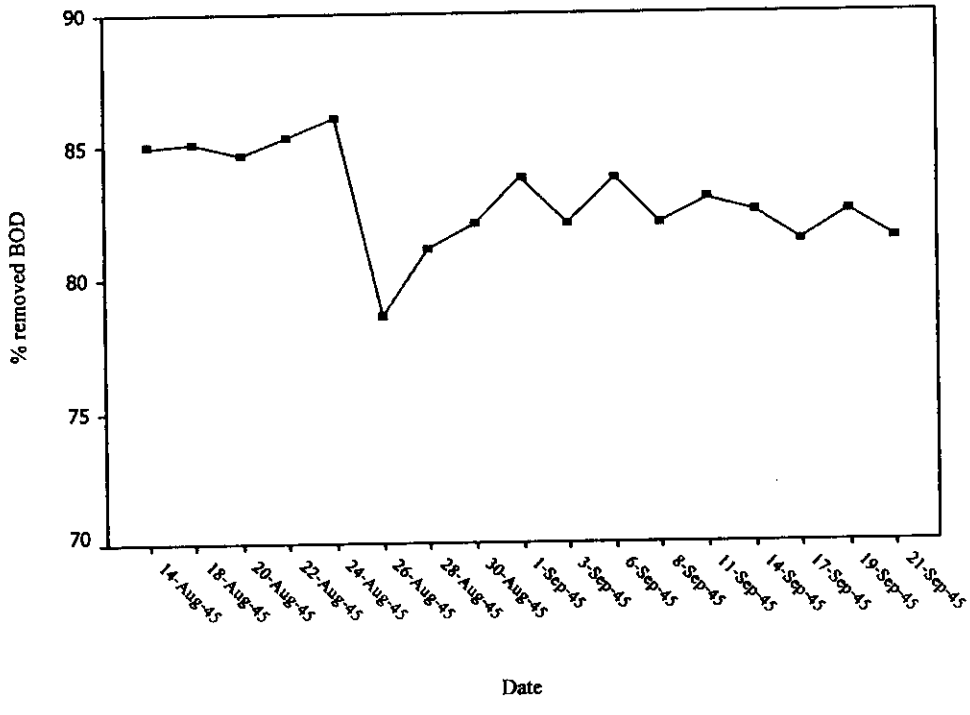
ผลการศึกษา HRT ที่เหมาะสมในการกำจัด BOD_5 และ COD แสดงดังตารางที่ 27-28 ภาพประกอบ 31-34

ตารางที่ 27 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 1 วัน

DATE	BOD_5 (mg/l)		%removed	COD (mg/l)		%removed	SS(mg/l)		pH	
	influent	effluent	BOD_5	influent	effluent	COD	influent	effluent	influent	effluent
14-Aug-45	3990	600	85	6758	1741	74.2	250	280	6.26	7.70
18-Aug-45	4032	600	85.1	6512	1381	78.8	310	330	6.51	7.67
20-Aug-45	4032	618	84.7	6512	1560	76	300	310	6.59	8.12
22-Aug-45	3812	560	85.3	7139	1528	78.6	300	310	6.71	7.92
24-Aug-45	3812	530	86.1	7139	1680	76.5	280	300	6.50	7.87
26-Aug-45	3150	675	78.6	6734	1320	80.4	280	300	6.81	7.83
28-Aug-45	3150	596	81.1	6734	1280	81	300	290	6.99	7.89
30-Aug-45	3150	565	82.1	6734	1502	77.7	300	270	6.52	7.86
28-Aug-45	3640	590	83.8	6746	1091	83.8	310	330	6.81	7.82
10-Aug-11	3640	650	82.1	6746	1099	83.7	300	330	6.93	7.63
3-Sep-45	3640	619	83	6746	1302	80.7	250	280	6.57	7.65
6-Sep-45	3640	635	82.5	6746	1112	83.5	250	250	7.59	7.68
9-Sep-45	3760	700	81.4	6960	1225	82.4	210	230	7.12	7.79
12-Sep-45	3760	658	82.5	6960	1250	82	210	250	7.00	7.55
15-Sep-45	3760	695	81.5	6960	1151	83.5	210	240	7.39	7.64



ภาพประกอบ 31 ผลของ HRT ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 1 วัน

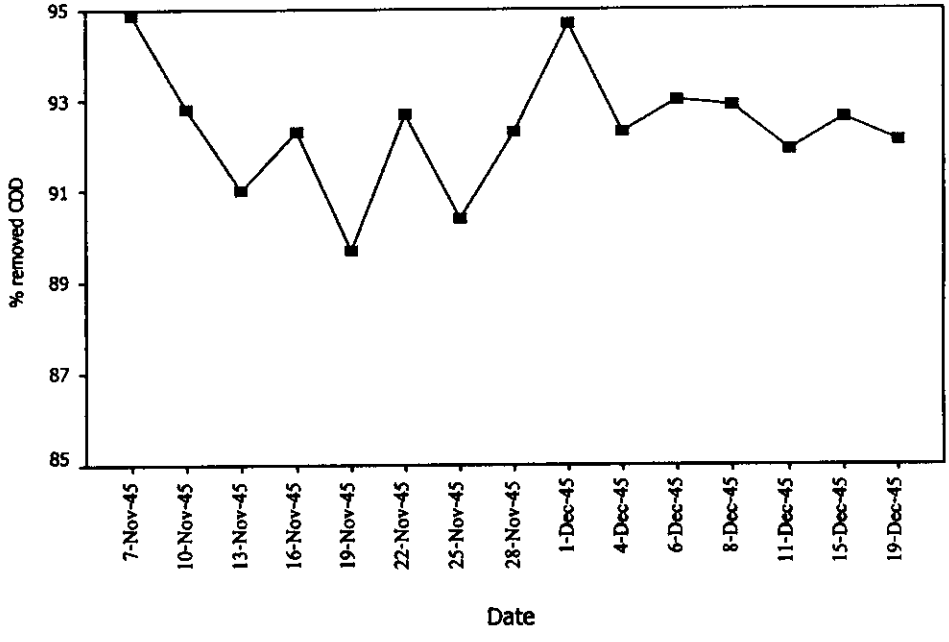


ภาพประกอบ 32 ผลของ HRT ต่อการกำจัด BOD$_5$ ของระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 1 วัน

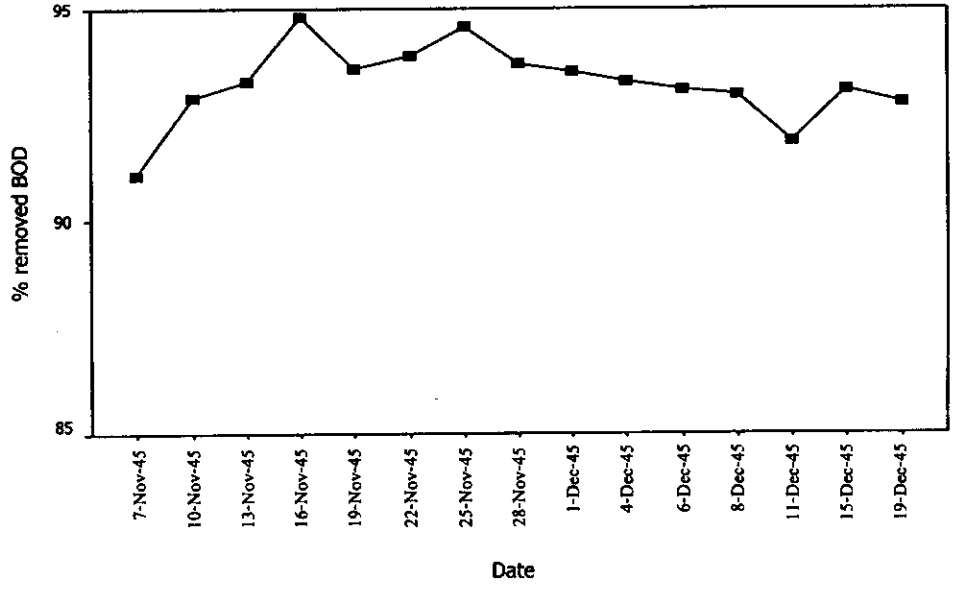
การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 4.66 kg $BOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ ซึ่งอยู่ในช่วง high treatment rate (Hawkes, 1983) ที่ HRT เท่ากับ 1 วัน ผลการทดลองดังตารางที่ 27 ภาพประกอบ 31 และ 32 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD อยู่ในช่วง 78.6-86.1 และ 74.2-83.8% หรือโดยเฉลี่ย 85.7 และ 81.6 % ตามลำดับ ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์จะจมตัวและแยกชั้นไม่ดี น้ำมีลักษณะขุ่น การควบคุมการทำงานยาก

ตารางที่ 28 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 2 วัน

DATE	BOD_5 (mg/l)		% removed BOD_5	COD (mg/l)		%removed COD	SS (mg/l)		pH	
	Influent	effluent		influent	effluent		influent	effluent	influent	effluent
7-Nov-45	3140	280	91.1	5556	285	94.9	250	280	7.12	7.31
10-Nov-45	3140	222	92.9	5556	399	92.8	250	280	6.95	7.13
13-Nov-45	3140	210	93.3	5556	499	91	280	290	7.57	7.60
16-Nov-45	3915	204	94.8	6838	524	92.3	280	300	7.02	7.06
19-Nov-45	3915	250	93.6	6838	706	89.7	290	310	7.54	7.59
22-Nov-45	3915	240	93.9	6838	501	92.7	280	310	7.08	7.10
25-Nov-45	3915	211	94.6	6838	655	90.4	280	310	7.12	7.28
28-Nov-45	3700	232	93.7	7572	581	92.3	290	300	7.01	7.26
1-Dec-45	3700	240	93.5	7572	402	94.7	290	300	7.08	7.87
4-Dec-45	3700	247	93.3	7572	580	92.3	300	330	7.65	7.76
6-Dec-45	3700	255	93.1	7572	530	93	310	330	7.50	7.87
8-Dec-45	3561	250	93	7582	542	92.9	310	350	7.62	7.87
11-Dec-45	3561	290	91.9	7582	618	91.9	300	310	6.59	7.75
15-Dec-45	3561	245	93.1	7582	564	92.6	300	310	7.18	7.98
19-Dec-45	3561	255	92.8	7582	600	92.1	300	320	7.43	7.75

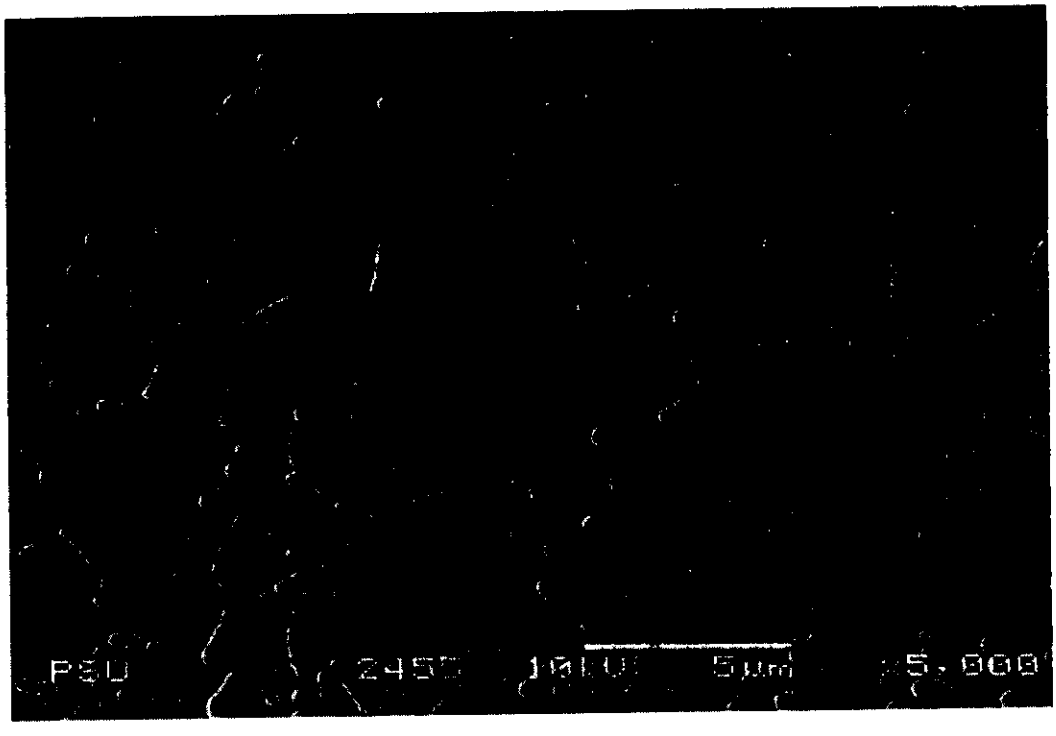


ภาพประกอบ 33 ผลของ HRT ต่อการกำจัด COD ของระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 2 วัน

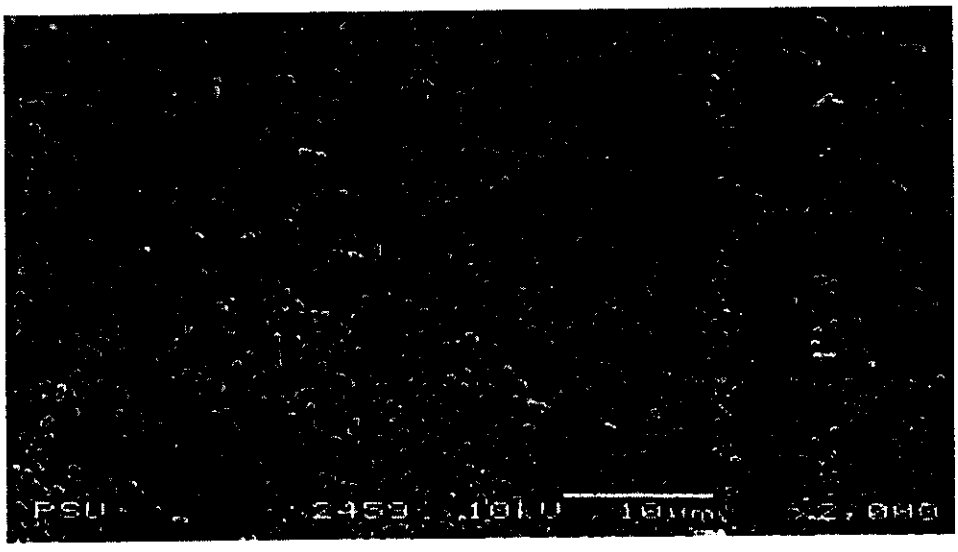


ภาพประกอบ 34 ผลของ HRT ต่อการกำจัด BOD_5 ของระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องใน การบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 2 วัน

การดำเนินการทดลองภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 kg $BOD_5.m^{-3}.d^{-1}$ ซึ่งอยู่ในช่วง high treatment rate (Hawkes, 1983) ที่ HRT เท่ากับ 2 วัน ผลการทดลองดังตารางที่ 28 ภาพประกอบ 33 และ 34 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD อยู่ในช่วง 91.1 - 94.6 และ 89.7-94.7 % หรือโดยเฉลี่ย เท่ากับ 93.2 และ 92.4 % ตามลำดับ ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์จะจมตัวและแยกชั้นได้ดี น้ำมีลักษณะเหลืองใส จากการดูลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศ พบว่ามีแบคทีเรียทั้งแบบกลม แบบแท่ง และแบบเส้น ซึ่งแบบเส้นมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับแบบกลมและแท่ง แสดงดังภาพประกอบ 35 และ 36



ภาพประกอบ 35 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 2 วัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-580 LV, JEOL) กำลังขยาย x 5,000 เท่า



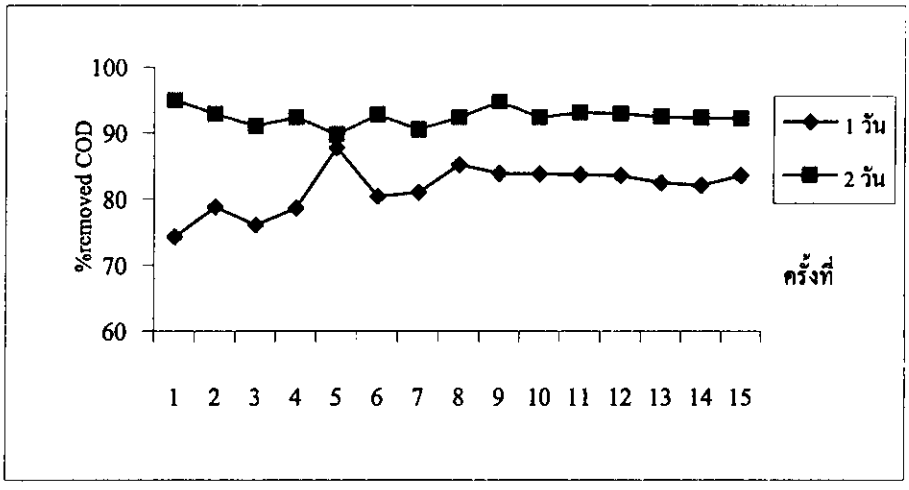
ภาพประกอบ 36 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องที่ F/M ratio 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 2 วัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-580 LV, JEOL) กำลังขยาย x 2,000 เท่า

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hong Chua *al et.*, (2000) ศึกษาผลของ food to microorganism ratio ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง เพื่อควบคุมการเกิด foam ซึ่งเป็นปัญหาในการดำเนินการ เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบเส้นใย (เช่น Norcardia spp.) เป็นตัวบ่งชี้ในการเกิด foaming งานวิจัยดังกล่าวดำเนินงานดังตาราง 28 ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 94 %

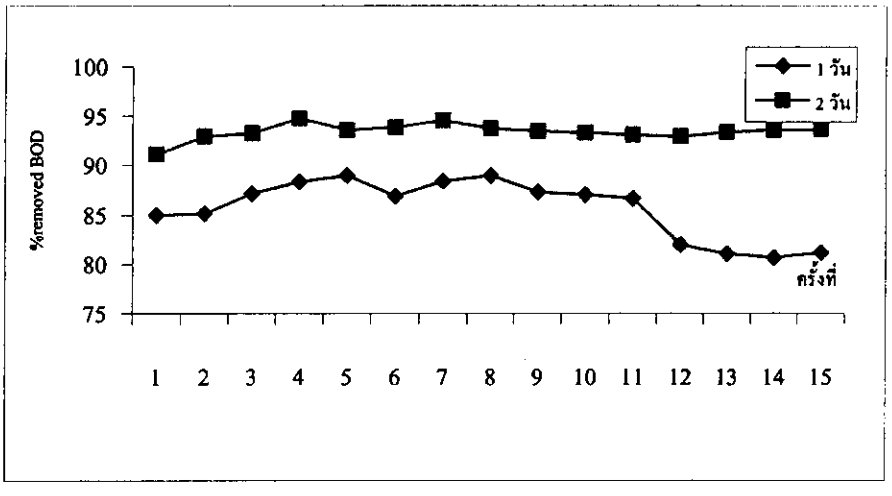
ตารางที่ 29 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดำเนินการระบบตะกอนเร่ง Hong Chua *al et.*, (2000)

Parameter	Conventional operation
Effective volume (l)	6
HRT (h)	10.0
SRT (d)	15
pH	6-8
Temperature (^{0}C)	26-28
Dissolved oxygen (mg/l)	2-4
Influent flow rate (l/h)	0.60
RAS (l/h)	0.25
F:M ratio (g BOD_5 /[g MLSS.d])	0.44
Sludge wastage rate (l/d)	0.4
BOD_5 loading (kg BOD_5/m^3.day)	1.128

ภาพประกอบ 37-38 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$, HRT เท่ากับ 1-2 วัน



ภาพประกอบ 37 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด COD ที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 1-2 วัน



ภาพประกอบ 38 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 วัน$^{-1}$ HRT 1-2 วัน

จากภาพประกอบ 37-38 เห็นได้ว่า HRT เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD เพิ่มขึ้น ที่ HRT เพิ่มจาก 1 วันเป็น 2 วัน ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 เพิ่มจาก 85.7% เป็น 93.2 % และ

ประสิทธิภาพการกำจัด COD เพิ่มจาก 81.6% เป็น 92.4% เมื่อวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม SPSS กล่าวได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ HRT 2 วันแตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญดังนั้น HRT ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องคือ 2 วัน

Volumetric loading คือการไหลของน้ำเสียซึ่งสัมพันธ์กับปริมาตรถังเติมอากาศ ซึ่งก็คือ hydraulic retention time จากสมการ

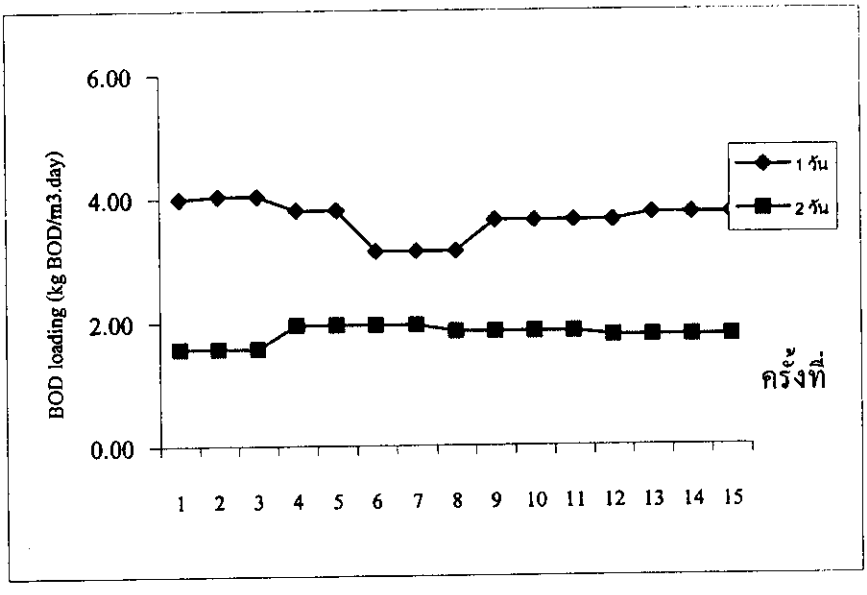
$$HRT = V \times 24/Q$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรรวมของน้ำในถังเติมอากาศ (m^3)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียไปยังถังเติมอากาศ ($m^3.day^{-1}$)

งานวิจัยนี้เปลี่ยนแปลง HRT โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรรวมของน้ำสลัดจ์ในถังเติมอากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ดังกล่าวทำให้เปลี่ยนแปลง organic loading ดังภาพประกอบ 39 เนื่องจากเปลี่ยนค่าปริมาตร V ดังสมการ

$$\text{Organic loading} = Q \times BOD_5 / (V \times 1{,}000) \quad kg\ BOD_5\ m^{-3}\ day^{-1}$$



ภาพประกอบ 39 แสดงความแตกต่างของ BOD_5 loading ที่ HRT 1 และ 2 วัน

จากภาพประกอบ 39 เห็นได้ว่า HRT มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งกล่าวได้ว่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD ซึ่งมีอัตราการไหลเท่ากันคือ 5 l/h Unido (1992) กล่าวว่าเมื่อน้ำเสียมีสารอินทรีย์ที่โหลดเข้าระบบสูง การบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งมักเกิดสลัดจ์บัลกิง เมื่อเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของอัตราการโหลดสารอินทรีย์เข้าระบบบำบัดตะกอนเร่งแสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของอัตราการโหลดสารอินทรีย์เข้าระบบบำบัดตะกอนเร่ง

High load process	Low load process
-ข้อดี	-ข้อดี
1. ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนมีขนาดเล็กกว่า	1. ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 สูง
2. เงินลงทุนต่ำ	2. เกิด nitrification สูง
3. ใช้พลังงานในการเติมอากาศต่ำกว่า	3. ผลกระทบต่อระบบมีน้อยเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบเนื่องจากขนาดของถังเติมอากาศใหญ่กว่า
-ข้อเสีย	-ข้อเสีย
1. ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ต่ำ	1. HRT สูงเนื่องจากขนาดถังเติมอากาศใหญ่กว่า
2. เกิด nitrification ไม่สมบูรณ์	2. ความเข้มข้นสลัดจ์สูง คุณภาพของสลัดจ์ตกจมต่ำกว่า ดังนั้นจำเป็นต้องสร้างถังตกจมมีขนาดใหญ่กว่า
3. สลัดจ์ไม่เสถียร ซึ่งจำเป็นอย่างมากในระบบตะกอนเร่ง	3. ต้องการออกซิเจนสูงกว่าดังนั้นจึงสิ้นเปลืองพลังงาน