

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมดประมาณ 15 เดือน โดยเริ่มจากเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2545 โดยในช่วง 6 เดือนแรกเป็นการสำรวจสถานที่ ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมดรวมทั้งเริ่มต้นเดินระบบ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองและ วิเคราะห์ผลตามลำดับ

4.2 การเริ่มต้นเดินระบบ

ในระยะเริ่มต้นเดินระบบ ได้สูญเสียจ่ายน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่องจากบ่อกักน้ำเสียรวมเข้า สู่ถังพักน้ำเสียเพื่อปรับความดัน เมื่อเดินระบบทดลองได้ประมาณ 7 วัน ปรากฏว่าเกิดการอุดตัน ขึ้นที่ตะแกรงของเครื่องสูบน้ำเนื่องจากมีเศษขยะอุดตันโดยรอบ

สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

1. มีขยะอุดตันโดยรอบตะแกรงเครื่องสูบน้ำ เช่น เศษใบไม้ เศษถุงพลาสติก ยางวง แก้ไข โดยการเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องสูบน้ำ และติดตั้งลูกกลอยไฟฟ้าเพื่อตัดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ เมื่อระดับน้ำในถังพักน้ำมีความสูงเพียงพอ

2. สารกรองมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการอุดตันในชั้นตัวกลาง แก้ไขโดยการนำตัว กลางออกจากถังกรองมาคัดขนาดใหม่

3. เกิดการอุดตันในท่อจ่ายน้ำเสียเข้าถังกรองบริเวณวาล์วจ่ายน้ำเสีย สาเหตุของปัญหา คือขนาดของวาล์วและท่อน้ำไม่สัมพันธ์กับอัตราการไหล แก้ไขปัญหาโดยเปลี่ยนขนาดท่อน้ำ และ วาล์วจ่ายน้ำเสียใหม่ พบว่าการเดินระบบดีขึ้น

จากการทดลองเดินระบบเริ่มต้น ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 4.32 ลบ.ม./วัน ซึ่งมีค่าภาระ บรรทุกสารอินทรีย์ 0.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ใกล้เคียงกับการทดลองชุดที่ 1 พบว่าเมื่อดำเนิน ระบบเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน จะพบปัญหาการอุดตันขึ้นในชั้นกรอง ดังนั้นจึงควรทำการ ล้างย้อนระบบทุกระยะเวลาประมาณ 2-3 เดือน สำหรับการทดลองชุดที่ 1 และทุกระยะเวลา ประมาณ 1 เดือน สำหรับการทดลองชุดที่ 2 และ 3 เพื่อลดปัญหาการอุดตันของระบบ

4.3 ลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง

ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของตัวกลางที่สำคัญคือ พื้นที่ผิว (Surface Area) ปริมาตรโพรง (Pore Volumn) และความถ่วงจำเพาะ (Density) ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Specific Surface Area Analyzer โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของตัวกลาง

ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ โคโคแชน	เปลือกหอย	ถ่านไม้
Surface Area (m ² /g.)	1.02	1724.78	0.88	4.90
Pore Volumn (ml./g.)	3.34x10 ⁻³	0.6431	0.71	6.1x10 ⁻³
Density (kg./m ³)	1.84x10 ³	0.32x10 ³	1.06x10 ³	0.85x10 ³
Effective Size (mm.)	62.75	2.36	43.92	56.67

วิธีคำนวณคุณสมบัติตัวกลางแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. ในขณะที่ค่า EBDT (ระยะเวลาที่น้ำในชั้นกรองแบบถึงเปล่า) AOLR (ภาวะบรรจุเทียบกับพื้นที่ผิวตัวกลาง) และ VOLR (ภาวะบรรจุเทียบกับปริมาตรชั้นกรอง) แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.4

การวัดพื้นที่ผิวโดยวิธี BET เป็นการหาพื้นที่ผิวของวัสดุจริง แต่เมื่อนำวัสดุตัวกลางมาใช้งานจริง การเรียงตัวของตัวกลางจะซ้อนทับกันทำให้พื้นที่ผิวบางส่วนมิได้ถูกใช้งาน และตัวกลางบางชนิดเช่น คอนกรีต ถ่านไม้ และเปลือกหอย มีขนาดใช้งานจริงใหญ่เกินกว่าจะวัดพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET อีกทั้งตัวกลางบางชนิดเช่น เศษไม้ และเศษพลาสติก ไม่สามารถวัดพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET ได้เนื่องจากไม่สามารถทนความร้อนจากกระบวนการวัดพื้นที่ผิวได้ ดังนั้นการคำนวณ AOLR จึงเป็นตัวเลขที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ในการวิเคราะห์จึงใช้ VOLR ในการวิเคราะห์แทน

4.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก โดยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.) ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการทดลองทั้ง 3 ชุด ในช่วงสภาวะคงตัว (Stedy State) แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ถึงตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วพารามิเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเบี่ยงเบนต่ำ

ส่วนผลการทดลองที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 ถึง 3 แสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 จนถึงรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองทั้งหมด

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวตัวกลาง และค่าภาระบรรทุกในแต่ละตำแหน่งของระบบ
การทดลองชุดที่ 1 ความเข้มข้นซีไอดีเฉลี่ยน้ำเสียเข้าระบบ = 190.69 มก./ล.

ตัวกลาง	Tank 1	Tank 2			Tank 3		Tank 4		Tank 5			รวม
		พลาสติก	คอนกรีต	เศษไม้	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ ไคโตแซน	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ ไคโตแซน	เปลือกหอย	คอนกรีต	ถ่านไม้	
ปริมาตรบรรจุตัวกลาง (ลบ.ม.)	-	0.15	0.15	0.35	0.27	0.27	0.225	0.27	0.105	0.15	0.245	2.185
นน. ตัวกลางทั้งหมด (กก.)	-	3.23	130.62	60.58	266.09	91.10	207.51	112.42	31.08	147.68	93.30	1143.62
Surface Area (ตร.ม./กรัม)	-	-	1.03	-	1.03	1724.78	1.03	1724.78	0.89	1.03	4.90	-
พื้นที่ผิวสัมผัส (ตร.ม.)	-	-	1.34E+05	-	2.73E+05	1.57E+08	2.13E+05	1.94E+08	2.77E+04	1.51E+05	4.57E+05	-
พื้นที่หน้าตัดตั้งกรอง (ตร.ม.)	0.50	0.30	0.70	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	0.30	0.70	0.70	-
ความสูงชั้นตัวกลาง (ม.)	-	0.65	0.15	0.50	0.30	0.30	0.25	0.30	0.50	0.15	0.35	-
อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)	4.32											
อัตราการไหล (ลบ.ม./ชม.)	0.18											
ภาระบรรทุกชลศาสตร์ (ลบ.ม./ ตร.ม.-ชม.)	0.36	0.60	0.26	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.60	0.26	0.26	
ระยะเวลาที่น้ำในชั้นกรองแบบ ตั้งกรองเปล่า (ชม.)	-	1.08	0.58	1.94	1.50	1.50	1.25	1.50	0.83	0.58	1.36	12.14
ภาระบรรทุกอินทรีย์เทียบปริมาตร บรรจุตัวกลาง (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	-	5.49	5.49	2.35	3.05	3.05	3.66	3.05	7.85	5.49	3.36	0.38
ภาระบรรทุกอินทรีย์เทียบพื้นที่ผิว สัมผัสตัวกลาง (กก.ซีไอดี/ตร.ม.-วัน)	-	-	6.15E-06	-	3.02E-06	5.24E-09	3.87E-06	4.25E-09	2.98E-05	5.44E-06	1.80E-06	-

ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวตัวกลาง และค่าการบรรทุกในแต่ละตำแหน่งของระบบ
การทดลองชุดที่ 2 ความเข้มข้นซีไอดีเฉลี่ยน้ำเสียเข้าระบบ = 169.82 มก./ล.

ตัวกลาง	Tank 1	Tank 2			Tank 3		Tank 4		Tank 5			รวม
		พลาสติก	คอนกรีต	เศษไม้	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ โคโตแซน	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ โคโตแซน	เปลือกหอย	คอนกรีต	ถ่านไม้	
ปริมาตรบรรจุตัวกลาง (ลบ.ม.)	-	0.15	0.15	0.35	0.27	0.27	0.225	0.27	0.105	0.15	0.245	2.185
นน. ตัวกลางทั้งหมด (กก.)	-	3.23	130.62	60.58	266.09	91.10	207.51	112.42	31.08	147.68	93.30	1143.62
Surface Area (ตร.ม./กรัม)	-	-	1.03	-	1.03	1724.78	1.03	1724.78	0.89	1.03	4.90	-
พื้นที่ผิวสัมผัส (ตร.ม.)	-	-	1.34E+05	-	2.73E+05	1.57E+08	2.13E+05	1.94E+08	2.77E+04	1.51E+05	4.57E+05	-
พื้นที่หน้าตัดถังกรอง (ตร.ม.)	0.50	0.30	0.70	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	0.30	0.70	0.70	-
ความสูงชั้นตัวกลาง (ม.)	-	0.65	0.15	0.50	0.30	0.30	0.25	0.30	0.50	0.15	0.35	-
อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)	8.64											
อัตราการไหล (ลบ.ม./ชม.)	0.36											
การบรรทุกขดศาสตร์ (ลบ.ม./ ตร.ม.-ชม.)	0.72	1.20	0.51	0.51	0.40	0.40	0.40	0.40	1.20	0.51	0.51	
ระยะเวลาที่น้ำในชั้นกรองแบบ ถังกรองเปล้า (ชม.)	-	0.54	0.29	0.97	0.75	0.75	0.63	0.75	0.42	0.29	0.68	6.07
การบรรทุกอินทรีย์เทียบปริมาตร บรรจุตัวกลาง (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	-	9.78	9.78	4.19	5.43	5.43	6.52	5.43	13.97	9.78	5.99	0.67
การบรรทุกอินทรีย์เทียบพื้นที่ผิว สัมผัสตัวกลาง (กก.ซีไอดี/ตร.ม.-วัน)	-	-	1.1E-05	-	5.38E-06	9.34E-09	6.9E-06	7.57E-09	5.3E-05	9.69E-06	3.21E-06	-

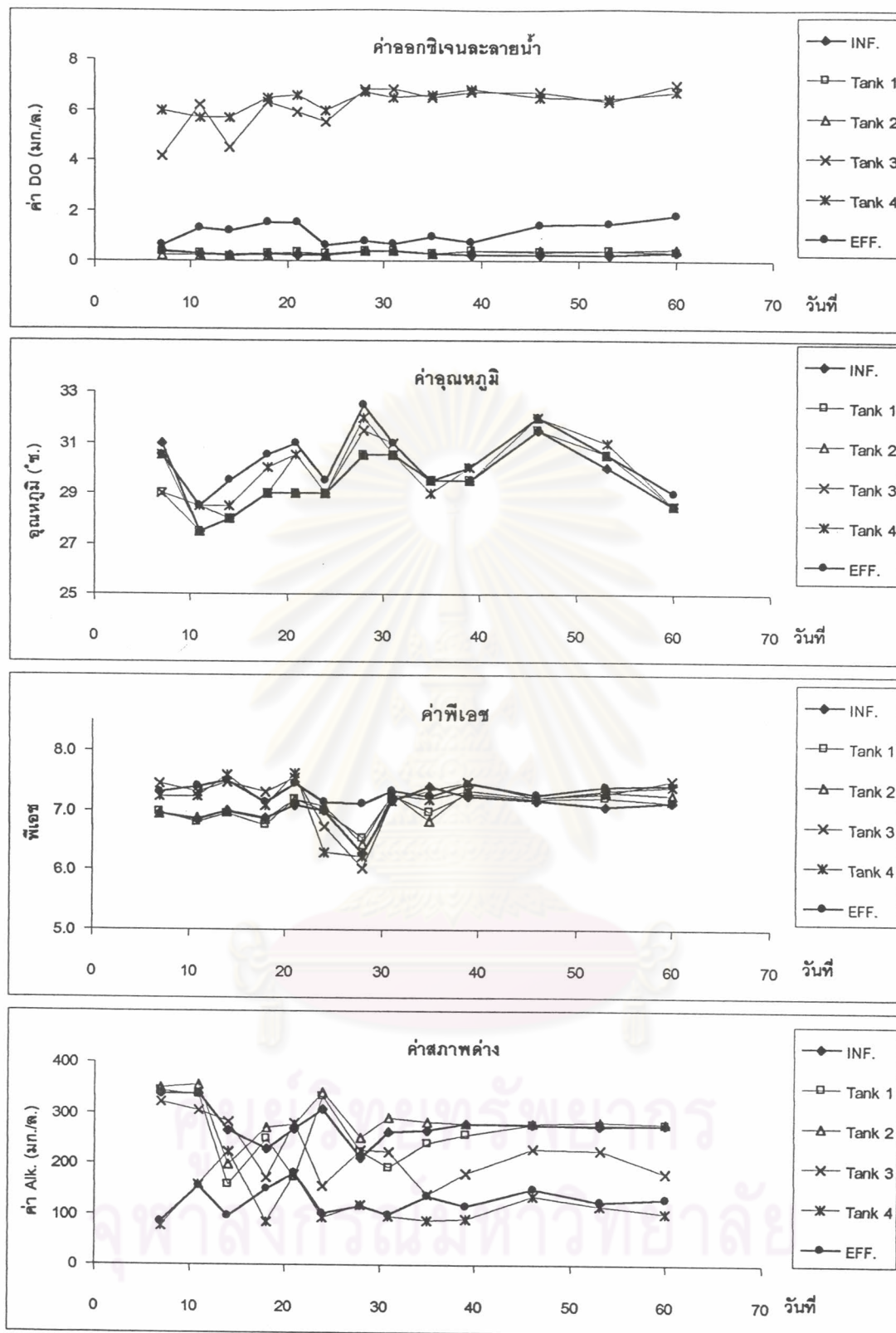
ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิวตัวกลาง และค่าการบรรจุทุกในแต่ละตำแหน่งของระบบ
การทดลองชุดที่ 3 ความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ยน้ำเสียเข้าระบบ = 162.81 มก./ล.

ตัวกลาง	Tank 1	Tank 2			Tank 3		Tank 4		Tank 5			รวม
		พลาสติก	คอนกรีต	เศษไม้	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ โคโตแซน	คอนกรีต	ถ่านเคลือบ โคโตแซน	เปลือกหอย	คอนกรีต	ถ่านไม้	
ปริมาตรบรรจุตัวกลาง (ลบ.ม.)	-	0.15	0.15	0.35	0.27	0.27	0.225	0.27	0.105	0.15	0.245	2.185
นน. ตัวกลางทั้งหมด (กก.)	-	3.23	130.62	60.58	266.09	91.10	207.51	112.42	31.08	147.68	93.30	1143.62
Surface Area (ตร.ม./กรัม)	-	-	1.03	-	1.03	1724.78	1.03	1724.78	0.89	1.03	4.90	-
พื้นที่ผิวสัมผัส (ตร.ม.)	-	-	1.34E+05	-	2.73E+05	1.57E+08	2.13E+05	1.94E+08	2.77E+04	1.51E+05	4.57E+05	-
พื้นที่หน้าตัดตั้งกรอง (ตร.ม.)	0.50	0.30	0.70	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	0.30	0.70	0.70	-
ความสูงในตัวกลาง (ม.)	-	0.65	0.15	0.50	0.30	0.30	0.25	0.30	0.50	0.15	0.35	-
อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)	12.96											
อัตราการไหล (ลบ.ม./ชม.)	0.54											
การบรรจุทุกชนิดศาสตร์ (ลบ.ม./ ตร.ม.-ชม.)	1.08	1.80	0.77	0.77	0.60	0.60	0.60	0.60	1.80	0.77	0.77	
ระยะเวลาที่น้ำในชั้นกรองแบบ ตั้งกรองเปล่า (ชม.)	-	0.36	0.19	0.65	0.50	0.50	0.42	0.50	0.28	0.19	0.45	4.05
การบรรจุทุกอินทรีย์เทียบปริมาตร บรรจุตัวกลาง (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	-	14.07	14.07	6.03	7.81	7.81	9.38	7.81	20.10	14.07	8.61	0.97
การบรรจุทุกอินทรีย์เทียบพื้นที่ผิว สัมผัสตัวกลาง (กก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน)	-	-	1.58E-05	-	7.74E-06	1.34E-08	9.92E-06	1.09E-08	7.63E-05	1.39E-05	4.62E-06	-

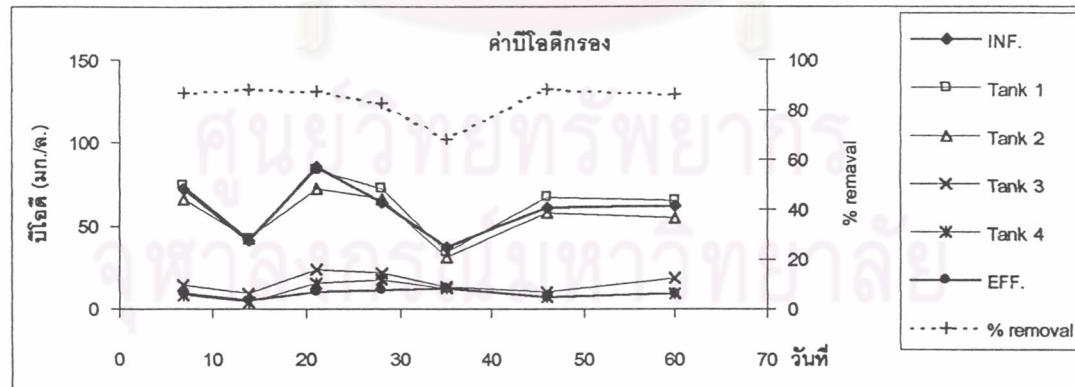
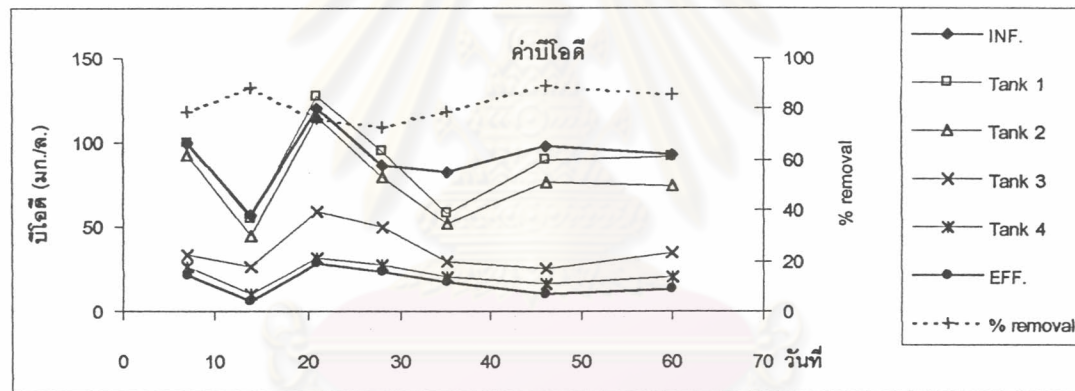
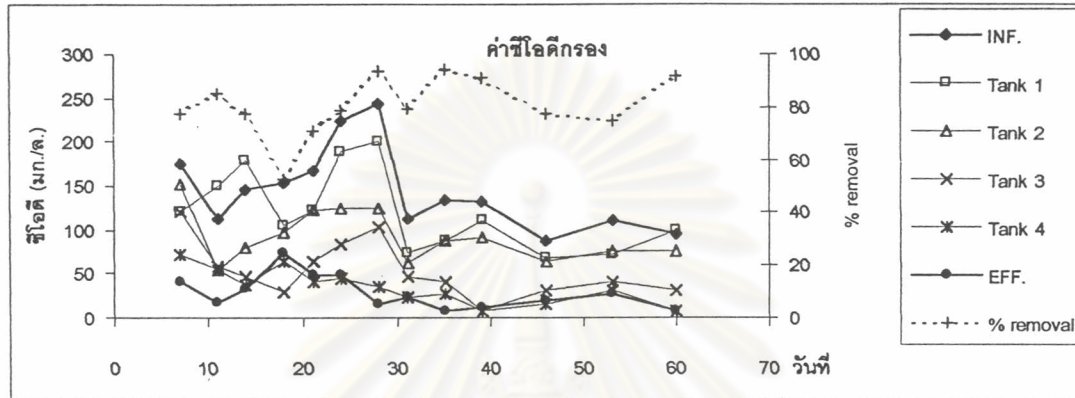
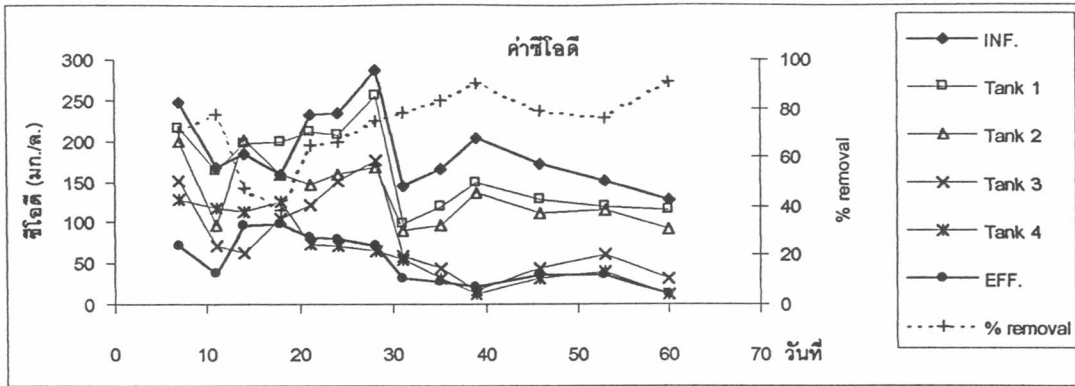
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆ ในชุดการทดลองที่ 1
อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 4.32 ลบ.ม./วัน
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.38 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	INF.		Tank 1		Tank 2		Tank 3		Tank 4		Tank 5	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	0.29	0.08	0.33	0.07	0.33	0.09	6.10	0.89	6.36	0.38	1.05	0.40
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.50	1.17	29.38	1.12	29.54	1.23	29.81	1.28	30.00	1.24	30.31	1.15
พีเอช	7.01	0.27	7.01	0.22	7.04	0.26	7.21	0.42	7.15	0.42	7.31	0.13
สภาพต่าง (มก./ล.หินปูน)	275.66	36.35	256.01	60.26	286.66	42.68	223.82	58.30	119.48	43.02	125.24	27.82
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	31.55	5.52	24.82	6.21	15.91	4.55	15.82	12.90	8.36	12.09	3.18	2.14
% SS removal	89.85											
VSS/SS	0.67	0.08	0.66	0.07	0.80	0.05	0.60	0.09	0.56	0.11	0.50	0.10
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	190.69	47.33	167.64	49.68	136.25	39.48	84.30	51.65	67.35	42.07	53.83	29.96
% COD removal	72.18											
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	146.07	47.13	121.51	44.96	93.20	29.35	54.21	31.81	35.77	19.94	28.89	19.26
% Sol. COD removal	80.24											
บีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	96.75	13.17	93.69	22.24	82.00	20.97	38.88	13.04	23.54	5.62	19.06	6.78
% BOD removal	80.30											
บีโอดีกรอง (มก./ล.)	60.64	16.78	62.65	18.06	55.82	14.64	16.06	5.65	10.78	4.59	9.21	2.48
% Sol. BOD removal	84.81											
แอมโมเนีย (มก./ล.)	26.24	4.95	26.24	5.51	24.60	8.07	15.78	10.81	5.52	4.52	6.89	4.75
ทีเคเอ็นทั้งหมด (มก./ล.)	29.56	5.31	29.49	5.70	27.82	7.52	18.13	10.96	7.39	4.23	8.53	4.60
% TKN removal	71.28											
ไนเตรท (มก./ล.)	3.13	3.53	2.94	3.59	2.94	3.86	6.09	5.21	10.63	3.41	9.06	3.31
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	6.84	2.14	6.77	2.71	5.71	1.44	5.62	2.32	4.69	2.12	4.62	2.06
% TP removal	33.90											

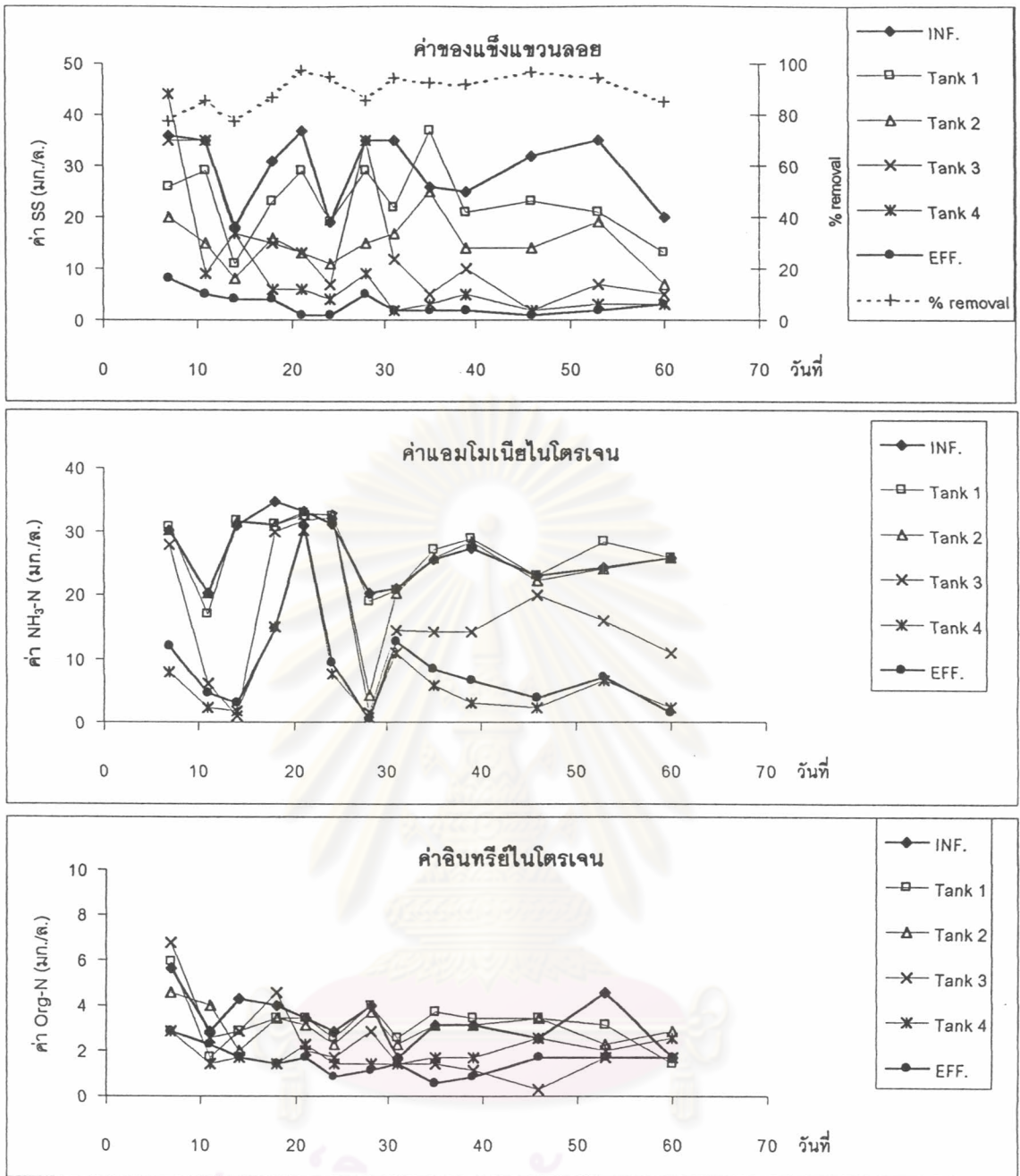
หมายเหตุ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



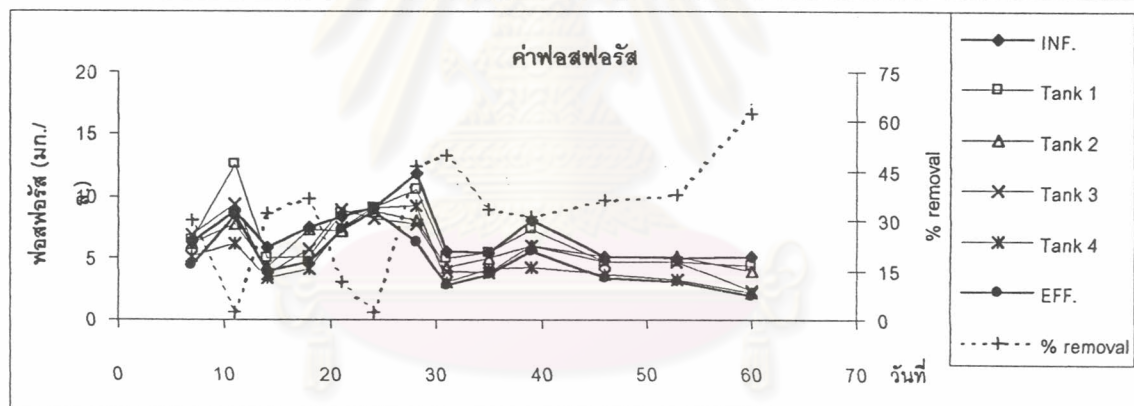
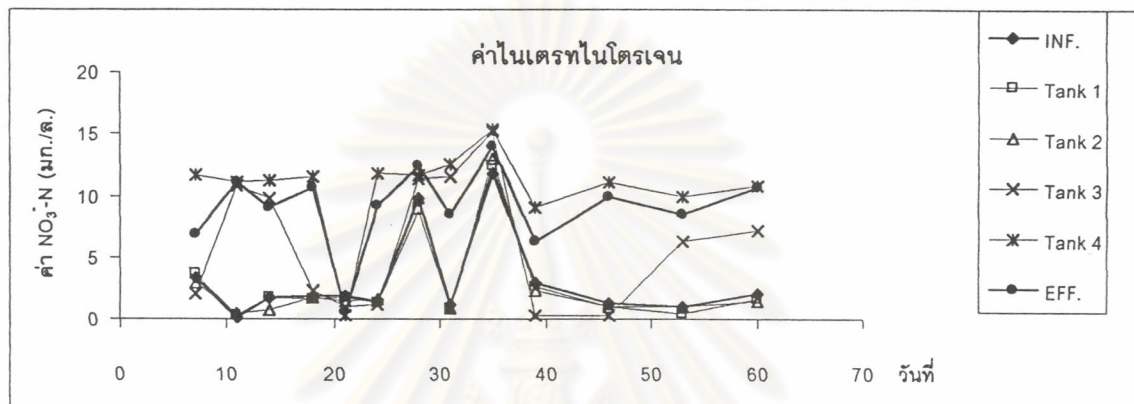
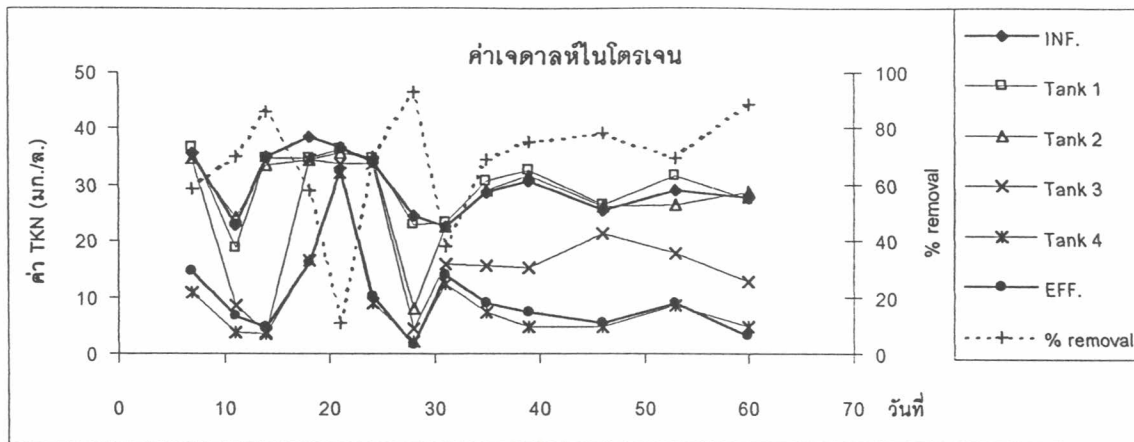
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และสภาพด่าง ที่ระยะเวลา
 ต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.38 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าซีไอดี ซีไอดีกรอง บีไอดี และ บีไอดีกรอง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของ การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.38 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.38 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

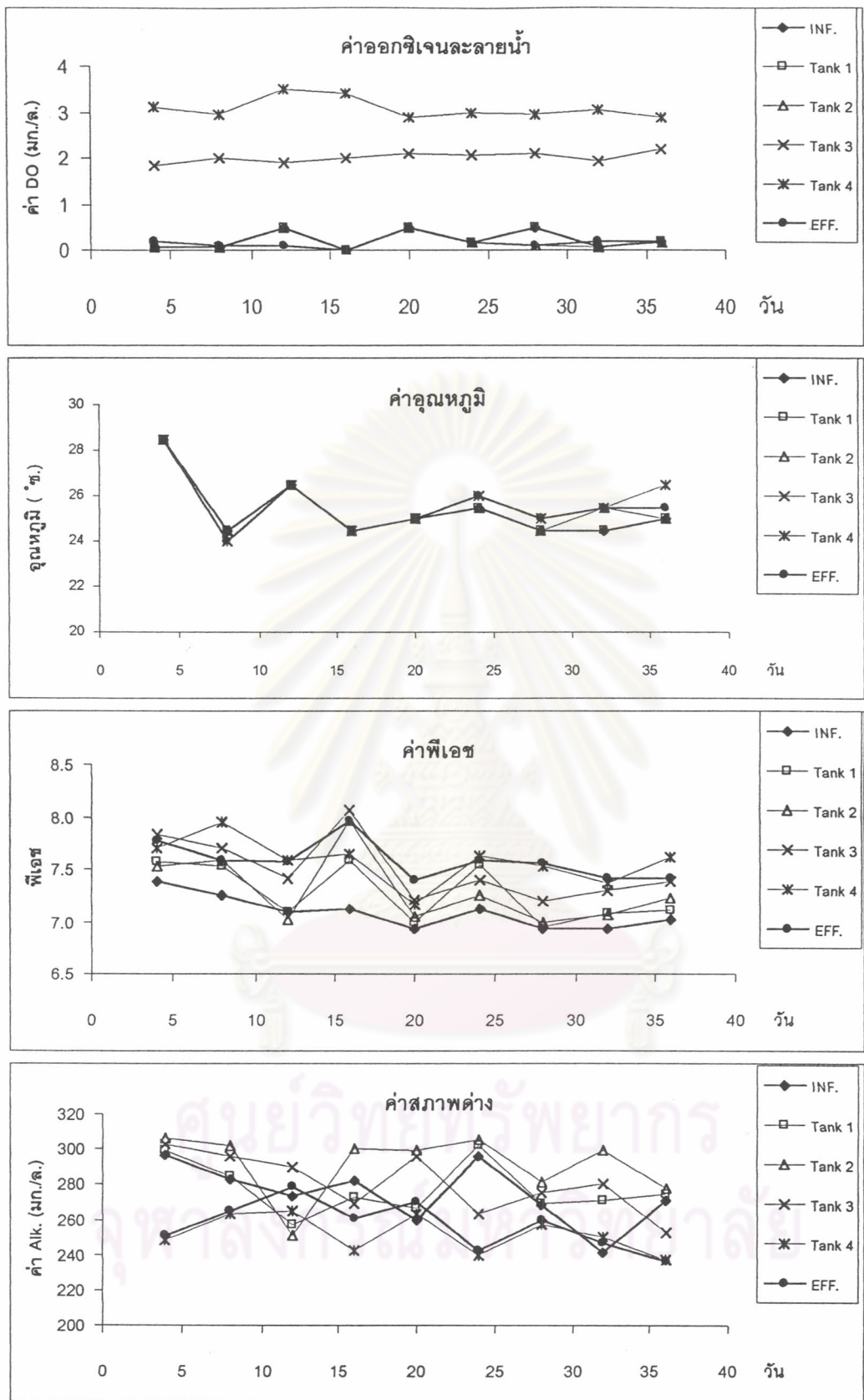


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าเจดดาห์ไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.38 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

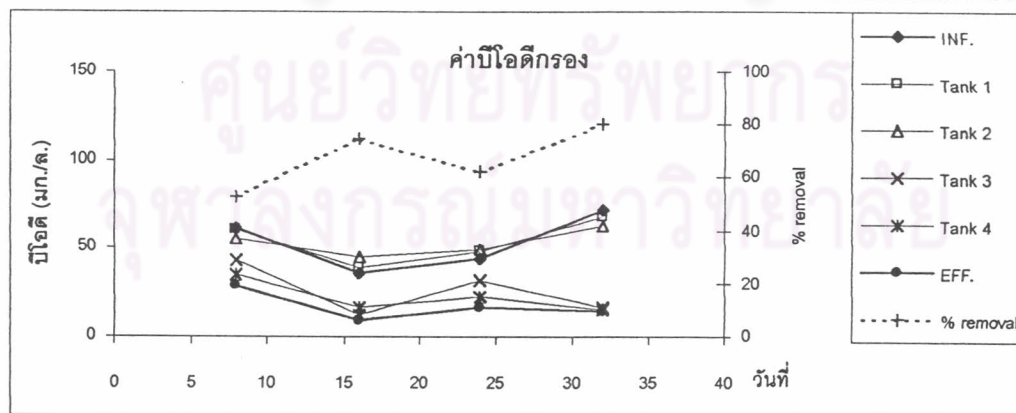
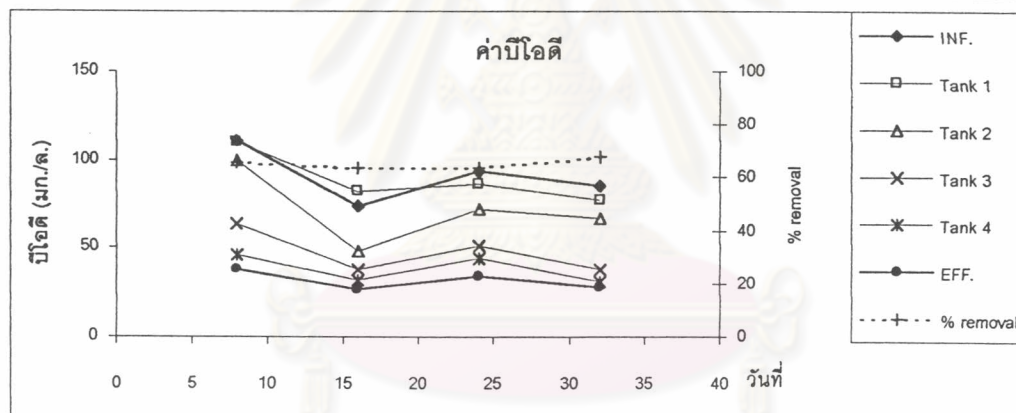
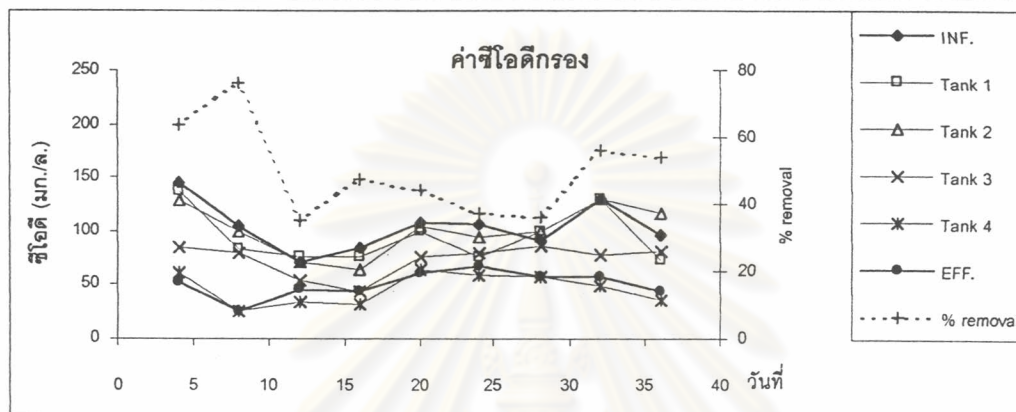
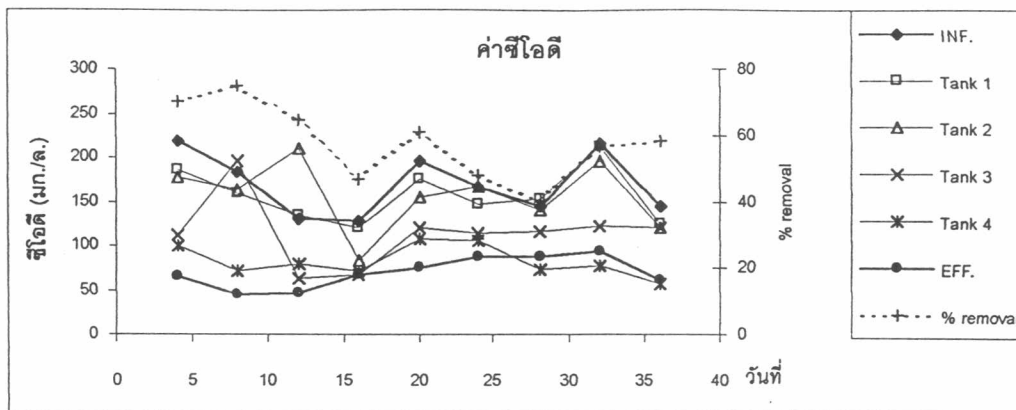
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆ ในชุดการทดลองที่ 2
อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 8.64 ลบ.ม./วัน
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	INF.		Tank 1		Tank 2		Tank 3		Tank 4		Tank 5	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.17	0.19	1.68	0.20	3.08	0.22	0.17	0.14
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.39	1.34	25.39	1.34	25.50	1.30	25.72	1.35	25.72	1.35	25.61	1.32
พีเอช	7.09	0.16	7.27	0.27	7.30	0.33	7.50	0.30	7.58	0.22	7.59	0.19
สภาพค่าง (มก./ล.หินปูน)	274.53	17.40	277.26	15.07	291.30	18.32	280.51	17.00	251.64	10.78	256.54	13.70
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	35.33	12.81	35.78	17.31	29.89	16.28	23.00	14.60	16.00	4.92	7.89	3.18
% SS removal	75.89											
VSS/SS	0.73	0.06	0.74	0.08	0.82	0.11	0.81	0.10	0.84	0.06	0.66	0.13
ซีไอดีทั้งหมด (มก./ล.)	169.82	35.02	156.83	29.91	157.16	38.34	114.92	38.08	83.02	18.06	69.89	17.46
% COD removal	57.84											
ซีไอดีกรอง (มก./ล.)	104.26	22.58	94.44	24.50	101.17	22.84	73.66	14.43	46.42	14.78	50.50	12.37
% Sol. COD removal	50.12											
บีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	91.00	15.64	89.00	14.43	71.56	21.37	47.75	12.45	38.06	7.90	31.56	5.21
% BOD removal	65.32											
บีโอดีกรอง (มก./ล.)	53.19	16.26	54.19	12.72	52.94	7.57	25.89	14.26	22.38	9.10	17.23	8.46
% Sol. BOD removal	67.61											
แอมโมเนีย (มก./ล.)	31.67	2.30	30.90	2.11	32.08	2.30	32.88	2.33	32.75	2.68	32.27	2.73
ทีเคเอ็นทั้งหมด (มก./ล.)	36.13	2.90	35.68	2.66	35.59	2.61	36.39	2.57	36.39	2.85	35.11	3.19
% TKN removal	2.84											
ไนเตรท (มก./ล.)	1.51	0.39	1.35	0.43	1.55	0.41	1.32	0.26	1.03	0.23	1.12	0.28
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	6.47	1.04	5.94	1.21	5.40	0.94	5.62	0.97	5.48	1.11	5.45	0.95
% TP removal	15.32											

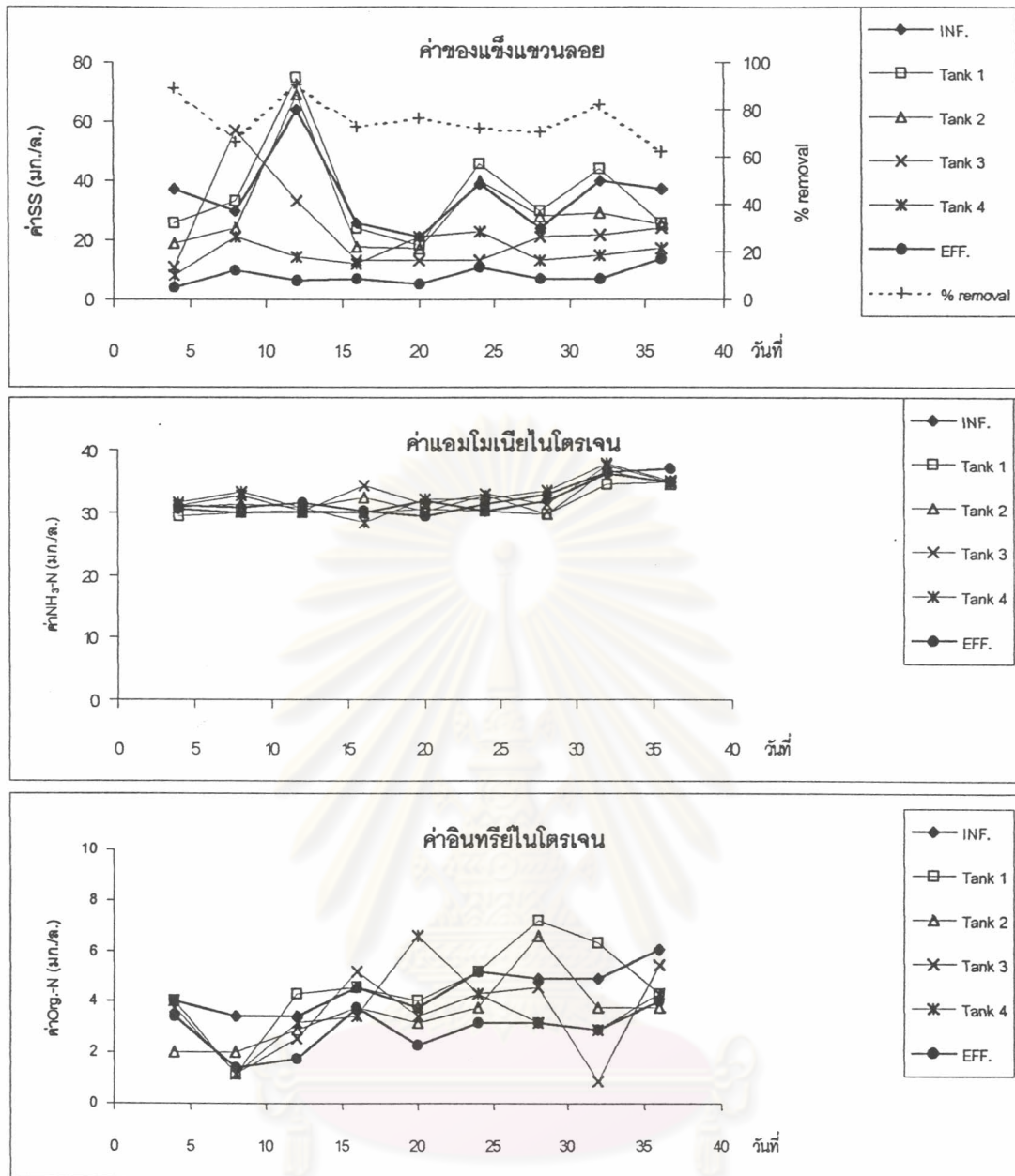
หมายเหตุ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



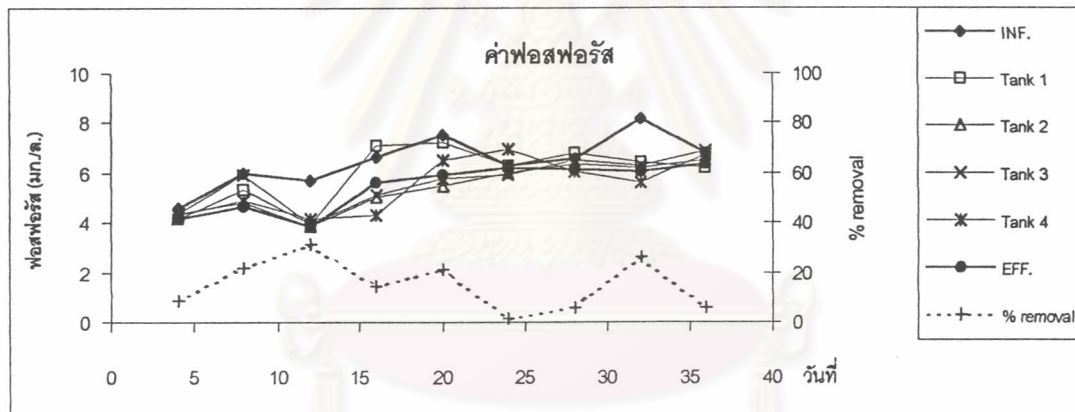
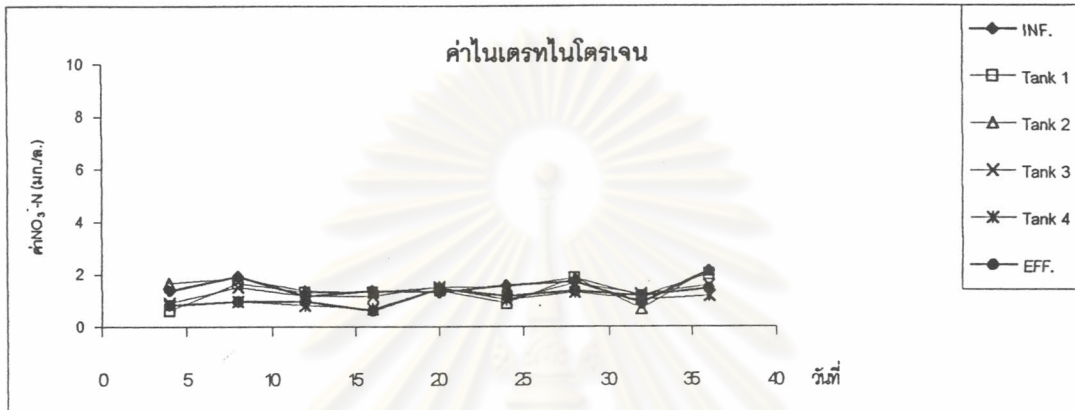
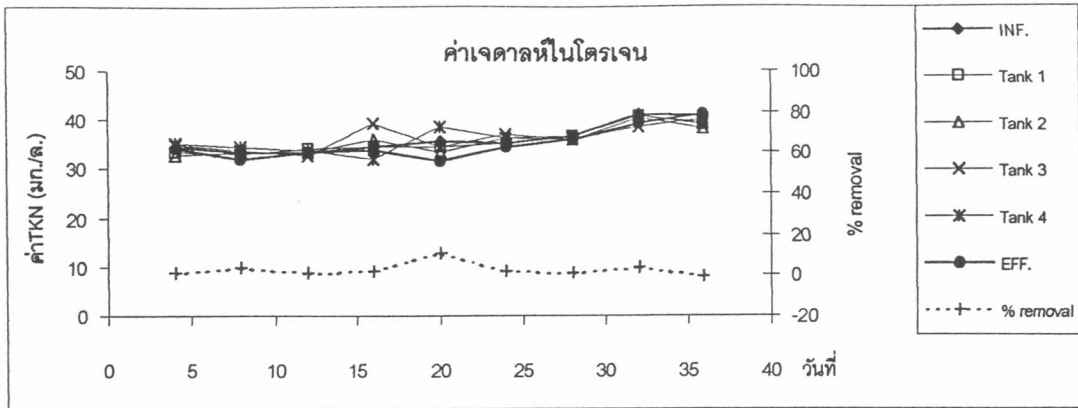
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และสภาพด่าง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าซีไอดี ซีไอดีกรอง บีไอดี และ บีไอดีกรอง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของ การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



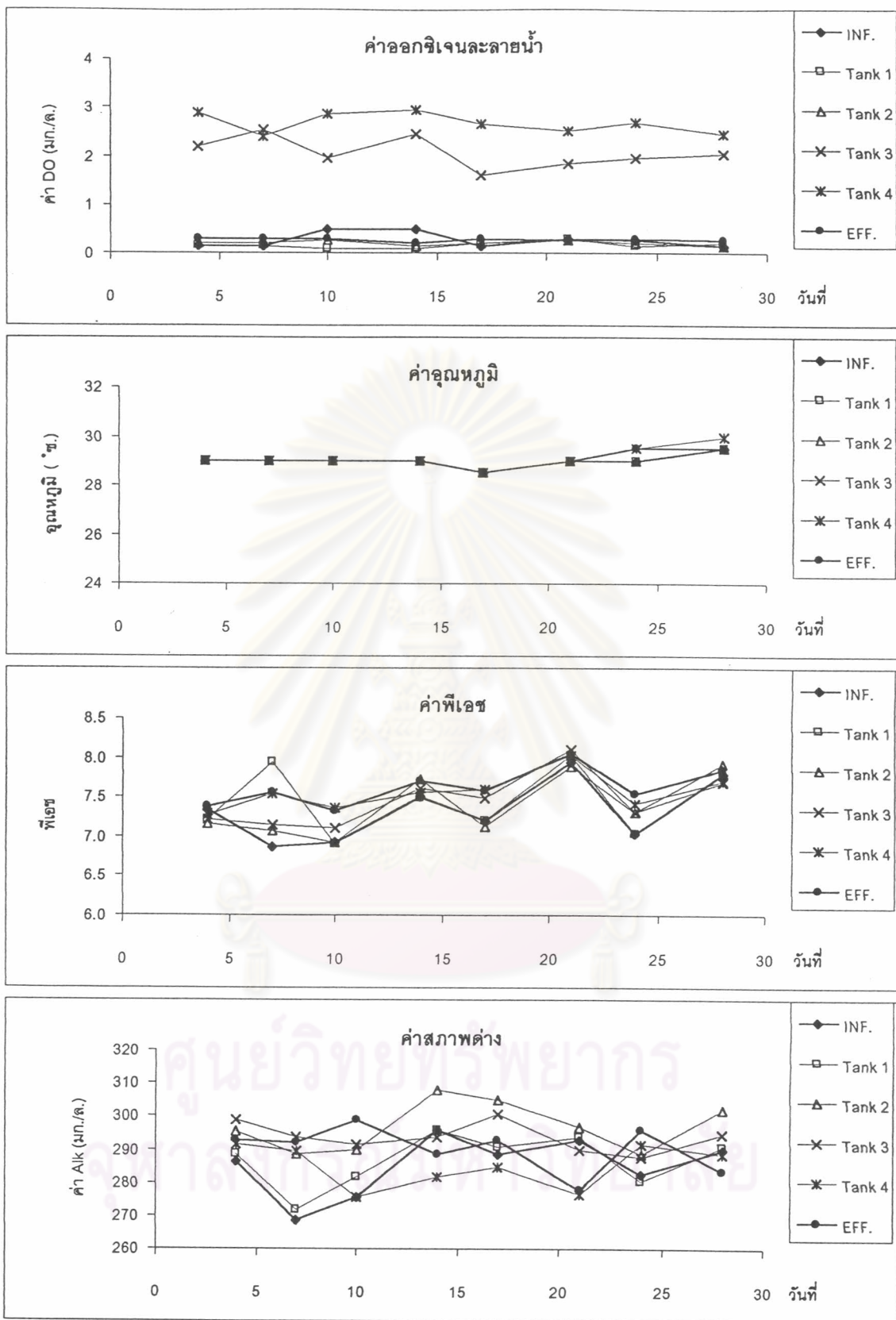
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าเจดาคัลไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

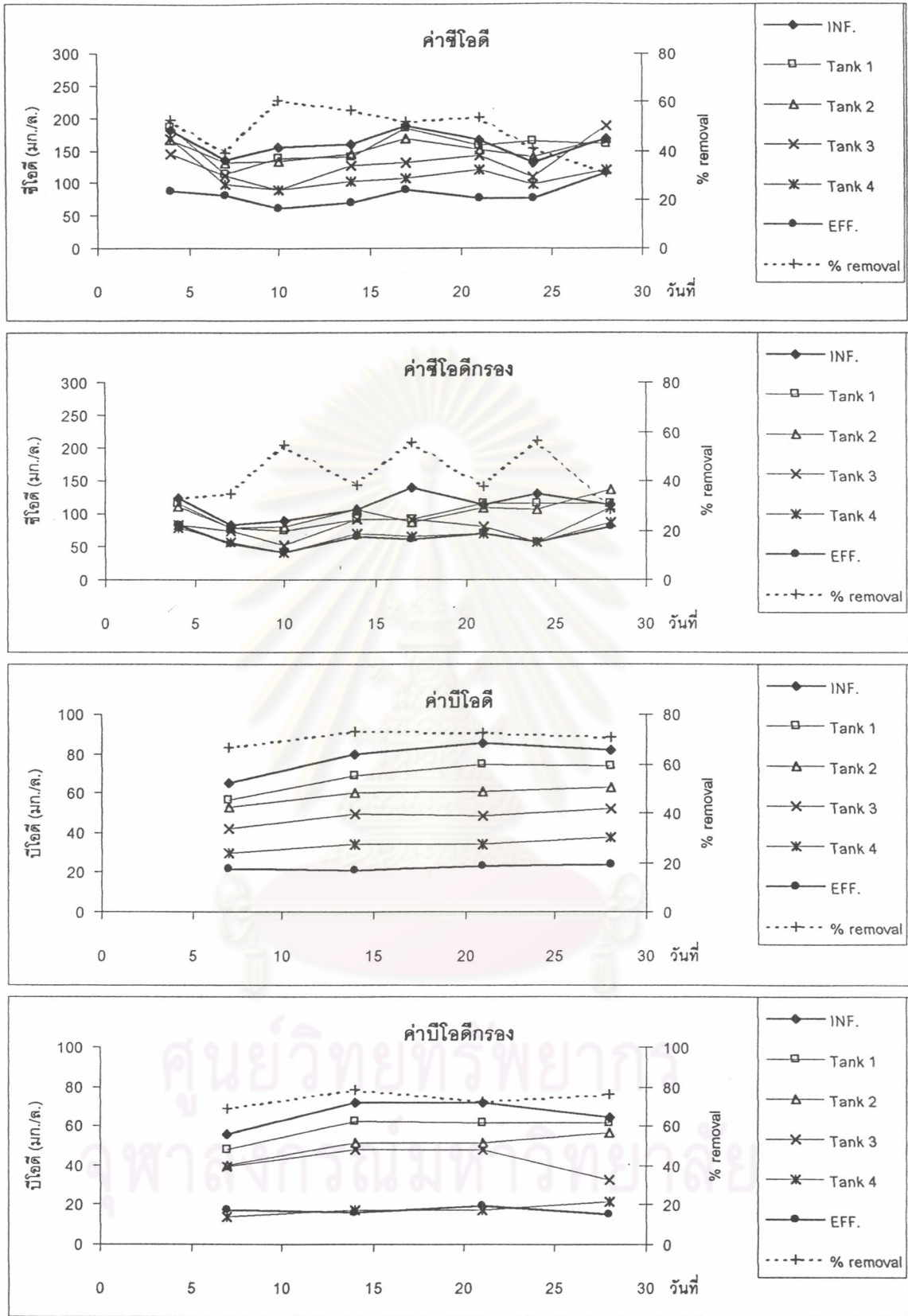
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆ ในชุดการทดลองที่ 3
อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 12.96 ลบ.ม./วัน
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	INF.		Tank 1		Tank 2		Tank 3		Tank 4		Tank 5	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	0.27	0.15	0.17	0.07	0.20	0.04	2.08	0.31	2.68	0.21	0.28	0.04
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.00	0.27	29.00	0.27	29.00	0.27	29.13	0.44	29.13	0.44	29.06	0.32
พีเอช	7.33	0.40	7.45	0.43	7.39	0.39	7.46	0.34	7.56	0.23	7.62	0.24
สภาพต่าง (มก./ล.หินปูน)	284.95	9.01	286.58	8.06	296.63	7.54	293.76	4.37	284.87	6.51	290.18	6.72
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	32.25	6.71	33.00	7.84	24.38	4.07	28.50	10.54	18.38	4.75	8.00	2.20
% SS removal	75.14											
VSS/SS	0.71	0.06	0.68	0.02	0.81	0.03	0.82	0.10	0.87	0.05	0.70	0.12
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	160.76	20.33	155.73	24.17	150.11	15.38	130.65	29.66	113.13	25.19	82.64	16.36
% COD removal	48.23											
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	112.13	19.61	99.28	18.40	101.83	19.23	79.57	18.09	65.88	14.45	63.86	13.90
% Sol. COD removal	42.50											
บีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	78.04	8.89	68.54	8.59	59.25	4.20	48.08	4.42	33.91	3.08	22.58	1.16
% BOD removal	71.06											
บีโอดีกรอง (มก./ล.)	65.93	7.78	58.31	6.88	49.75	7.03	41.71	7.55	17.56	3.15	17.05	2.05
% Sol. BOD removal	74.14											
แอมโมเนีย (มก./ล.)	31.86	3.67	31.86	3.27	31.93	3.41	31.29	3.44	32.04	3.90	31.75	4.06
ทีเคเอ็นทั้งหมด (มก./ล.)	36.96	3.77	36.18	3.81	36.32	4.48	36.18	4.32	36.47	4.86	35.15	4.71
% TKN removal	5.13											
ไนเตรท (มก./ล.)	1.81	0.56	1.80	0.52	1.95	0.54	1.60	0.52	1.59	0.43	1.56	0.46
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	6.57	1.44	6.06	1.47	5.92	1.42	5.89	1.66	5.96	1.39	5.74	1.54
% TP removal	12.45											

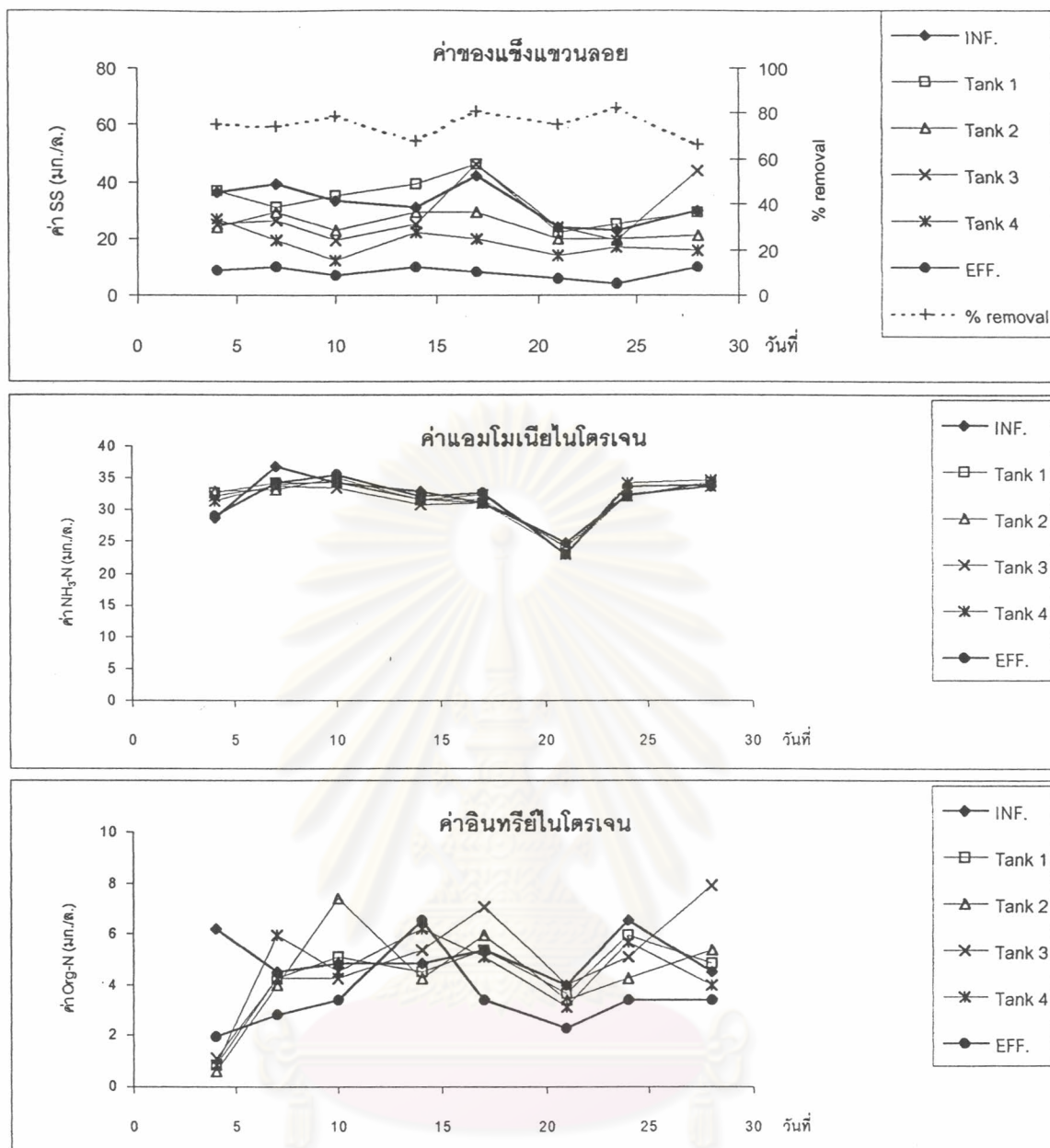
หมายเหตุ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุทกภูมิ พีเอช และสภาพด่าง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.97 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

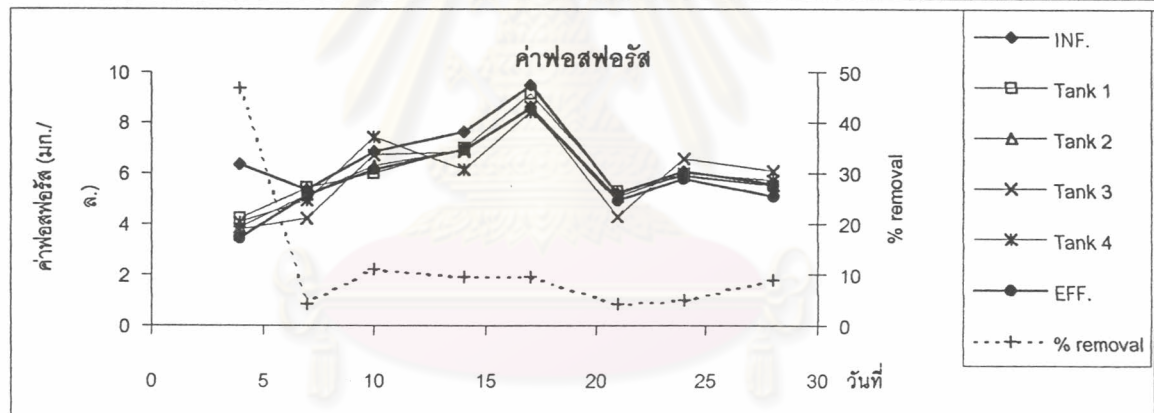
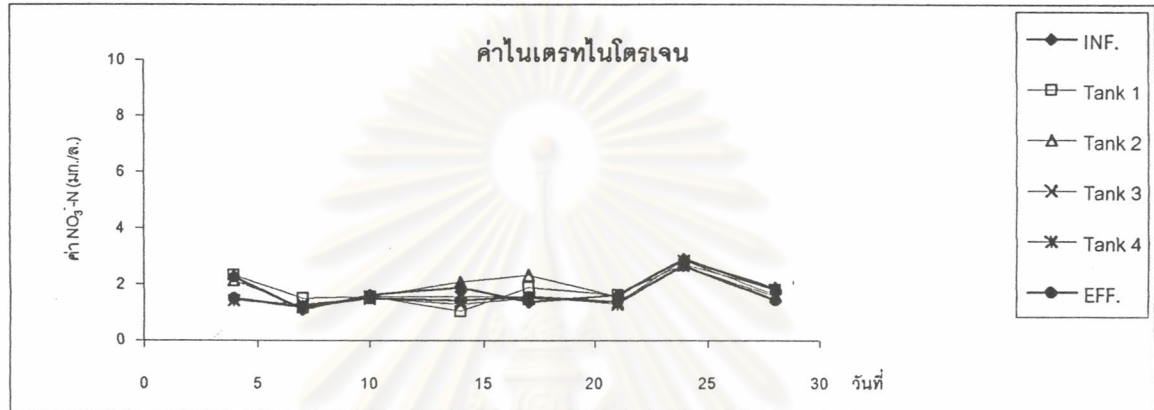
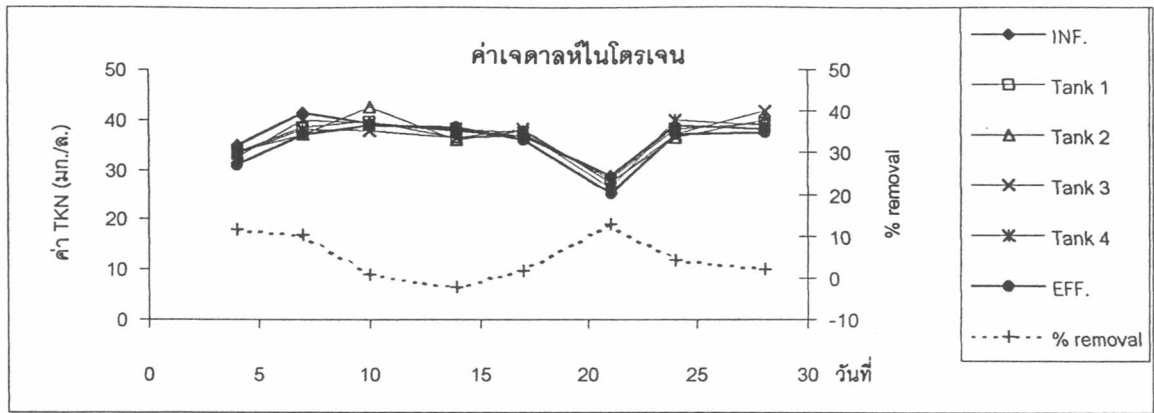


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าซีไอดี ซีไอดีกรอง บีไอดี และ บีไอดีกรอง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.97 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 0.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าเจดาคาร์บอนไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 0.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง การวิเคราะห์ผลแยกออกเป็นแต่ละพารามิเตอร์ โดยแสดงอยู่ในแต่ละหัวข้อ ดังนี้

4.5.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

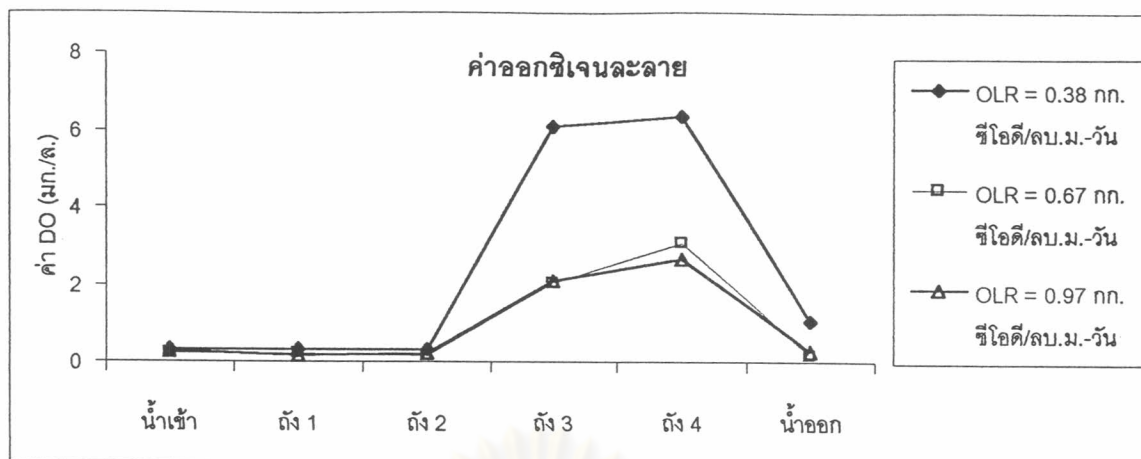
ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำที่สภาวะคงตัว แสดงดังตารางที่ 4.8 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
น้ำเข้า	0.29	0.22	0.27
ถัง 1	0.33	0.22	0.17
ถัง 2	0.33	0.17	0.20
ถัง 3	6.10	2.02	2.08
ถัง 4	6.36	3.08	2.68
น้ำออก	1.05	0.17	0.28

จากการทดลองพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำที่สภาวะต่างๆ ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำของ น้ำเข้า ถัง 1 และถัง 2 ของทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.17 – 0.33 มก./ล. ซึ่งแสดงว่ามีสภาวะเป็นแบบแอนแอโรบิกตามจุดประสงค์ ส่วนค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำออก(ถัง 5) ของการทดลองชุดที่ 2 และ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 0.17 – 0.28 มก./ล. ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะแบบแอนแอโรบิก ในขณะที่ค่าของการทดลองชุดที่ 1 สูงกว่าเล็กน้อยคือ 1.05 มก./ล. ทั้งนี้เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ผ่านมาจาก ถัง 3 และถัง 4 มีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งอาจจำกัดให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันไม่เกิดขึ้นได้

ค่าออกซิเจนละลายน้ำใน ถัง 3 และถัง 4 ของทุกชุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยที่สภาวะต่างๆ อยู่ในช่วง 2.02 – 6.36 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่ามีสภาวะระบบเป็นแบบแอโรบิกตามจุดประสงค์ของระบบ โดยอาจกล่าวได้ว่าในถัง 3 และถัง 4 ซึ่งเป็นถังเติมอากาศนั้น มีปริมาณการเติมอากาศอย่างเพียงพอ และไม่จำกัดต่อปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลชีพแบบใช้ออกซิเจน ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ถึงแม้ว่ามีการแปรผันค่าการระบรทุกสารอินทรีย์



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละตำแหน่งของระบบ

4.5.2 อุณหภูมิ

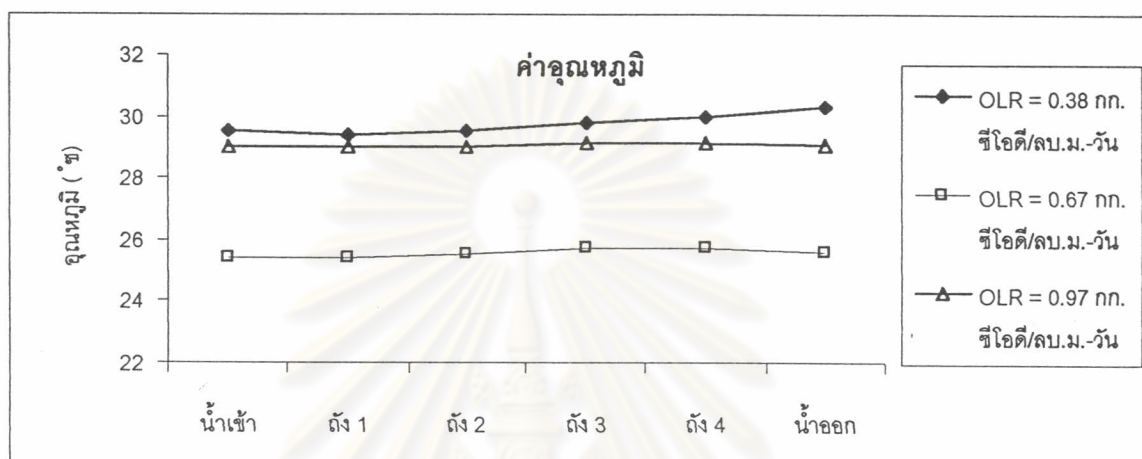
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของระบบของทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีการแปรผันตามฤดูกาลโดยมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.39 – 30.31 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.14

ค่าอุณหภูมิที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าอุณหภูมิของระบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาชีวเคมีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอุณหภูมิในถัง 3 ถึง 4 และน้ำเสียออก มีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าในน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อย เนื่องจากในถัง 3 และถัง 4 มีการเติมอากาศตลอดเวลา ทำให้เกิดความร้อนสะสมในน้ำเสียออก

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
น้ำเข้า	29.50	25.39	29.00
ถัง 1	29.38	25.39	29.00
ถัง 2	29.54	25.50	29.00
ถัง 3	29.81	25.72	29.13
ถัง 4	30.00	25.72	29.13
น้ำออก	30.31	25.61	29.06

ในขณะที่ค่าอุณหภูมิของการทดลองชุดที่ 2 มีค่าต่ำกว่าค่าของการทดลองชุดที่ 1 และ 3 เนื่องจากระบบเป็นระบบเปิดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศโดยดำเนินการระบบในช่วงเดือนธันวาคม ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลงบ้าง แต่เนื่องจากจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ไม่ได้เน้นศึกษาผลของอุณหภูมิอย่างละเอียด ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบอย่างไรบ้าง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ

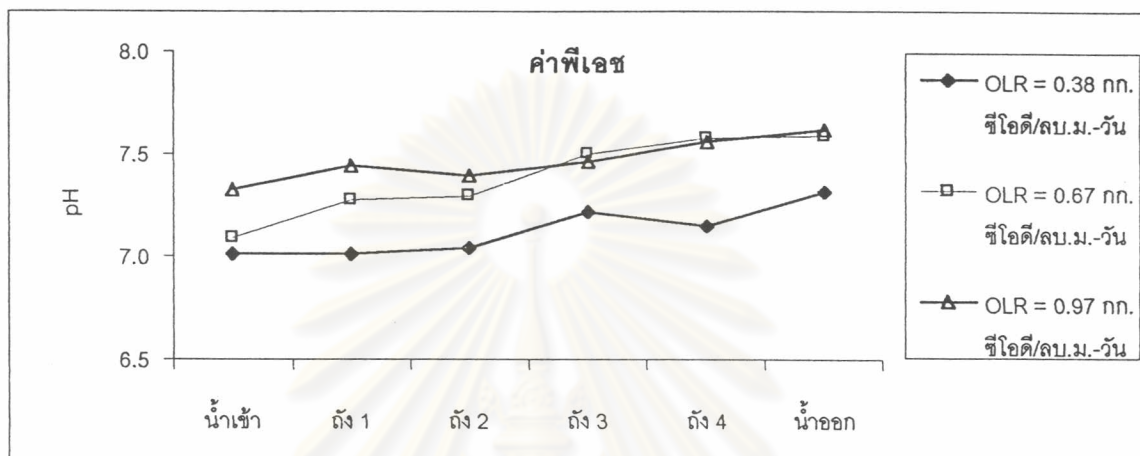
4.5.3 พีเอช

จากผลการทดลอง ค่าพีเอชเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว สรุปได้ดังตารางที่ 4.10 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพีเอช		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
น้ำเข้า	7.01	7.09	7.33
ถัง 1	7.01	7.27	7.45
ถัง 2	7.04	7.30	7.39
ถัง 3	7.21	7.50	7.46
ถัง 4	7.15	7.58	7.56
น้ำออก	7.31	7.59	7.62

พบว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 7.01 – 7.62 ซึ่งกล่าวได้ว่าทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาชีวเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำเสีย และยังพบว่าในระบบยังมีปริมาณสภาพต่างมากพอต่อการเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำเข้าและน้ำออก อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าสภาพต่าง ดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ

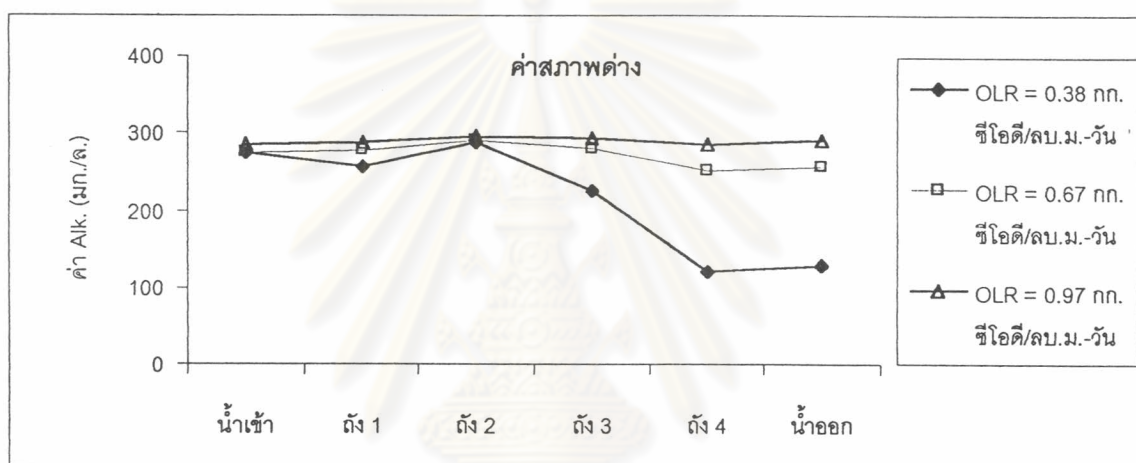
4.5.4 สภาพต่าง

เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันของระบบได้เป็นอย่างดี ค่าสภาพต่างโดยเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของระบบทุกชุดการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.11 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงในรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าสภาพต่างในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าสภาพต่าง (มก.นินปูน/ล.)		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
น้ำเข้า	275.66	274.53	284.95
ถัง 1	256.01	277.26	286.58
ถัง 2	286.66	291.30	296.63
ถัง 3	223.82	280.51	293.76
ถัง 4	119.48	251.64	284.87
น้ำออก	128.84	256.54	290.18

จากการทดลองพบว่าค่าสภาพต่างเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบของทุกชุดการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 274.53 – 284.95 มก.หินปูน/ลิตร โดยในงานวิจัยนี้ไม่มีการเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มสภาพต่างในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ แต่พบว่าในน้ำเสียเข้ามีความเป็นด่างเพียงพอต่อการเป็นบัฟเฟอร์แก่ระบบ และพบว่าในการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.38 มก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าสภาพต่างใน ถึง 3 ถึง 4 และน้ำออก มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับในน้ำเสียเข้าระบบ โดยคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ในขณะที่อีก 2 ชุดการทดลอง ค่าสภาพต่างในแต่ละตำแหน่งของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าแอมโมเนีย ที่เคเอ็น และไนเตรท (ในหัวข้อที่ 4.5.8) กล่าวคือในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ไม่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ

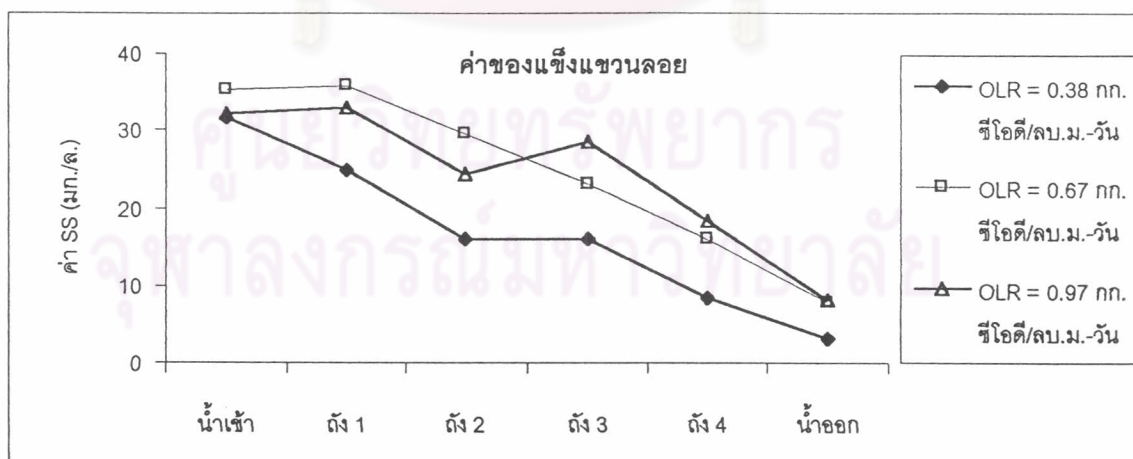
4.5.5 ของแข็งแขวนลอย

จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุด ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของระบบ แสดงดังตารางที่ 4.12 และการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.17 โดยพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 31.55 – 35.33 มิลลิกรัม/ลิตร และทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มที่สภาวะต่างๆคล้ายคลึงกันกล่าวคือ ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำออกมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียเข้าระบบ โดยมีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำออกอยู่ในช่วง 3.18 – 8.00 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่ามีของแข็งแขวนลอยบางส่วนซึ่งคาดว่าเป็แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เกาะอยู่บนผิวตัวกลางหลุดออกออกมา

ตารางที่ 4.12 สรุปค่าของแข็งแขวนลอย และ VSS/SS ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			VSS/SS		
	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3
น้ำเข้า	31.55	35.33	32.25	0.67	0.73	0.71
ถัง 1	24.82	35.78	33.00	0.66	0.74	0.68
ถัง 2	15.91	29.67	24.38	0.80	0.82	0.81
ถัง 3	15.82	23.00	28.50	0.60	0.81	0.82
ถัง 4	8.36	16.00	18.38	0.56	0.84	0.87
น้ำออก	3.18	7.89	8.00	0.50	0.66	0.70

เมื่อเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกของแต่ละชุดการทดลองแล้ว พบว่าเมื่อค่าการระบรทุกทางชลศาสตร์และการระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งคาดว่าเกิดจากหลายกลไก ทั้งการตกตะกอนขั้นแรก การกรอง และกลไกทางชีวเคมี กล่าวคือมีของแข็งแขวนลอยติดค้างอยู่ในแผ่นฟิล์มชีวภาพนั่นเอง จากการทดลองชุดที่ 1 มีค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.38 มก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งต่ำที่สุดใน 3 ชุดการทดลองนั้น เมื่อน้ำเสียเข้าระบบผ่าน ถัง 1 (ซึ่งเป็นถังตกตะกอน) จะพบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอยลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดการทดลอง โดยเนื่องมาจากการตกตะกอนขั้นแรกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ทำให้ในถังกรองชีวภาพส่วนถัดไปไม่ต้องรับภาระมากจนเกินไป อีกทั้งค่า VSS/SS ของน้ำออกในการทดลองชุดที่ 1 มีค่าต่ำกว่าอีก 2 ชุดการทดลองเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าในการทดลองชุดที่ 1 มีฟิล์มชีวภาพหลุดออกมากับน้ำทิ้งต่ำกว่าด้วย



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ

จากผลการทดลองพบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งในทุกชุดการทดลอง มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งกำหนดไว้ที่ 30 มก./ล. แสดงให้เห็นว่าในถัง 5 สามารถกรองมวลจุลชีพหรือตะกอนแขวนลอยจากถัง 3 และถัง 4 ซึ่งเป็นถังเดิมอากาศ ไม่ให้หลุดออกมาในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระบบไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอน ซึ่งเป็นข้อดีของระบบนี้

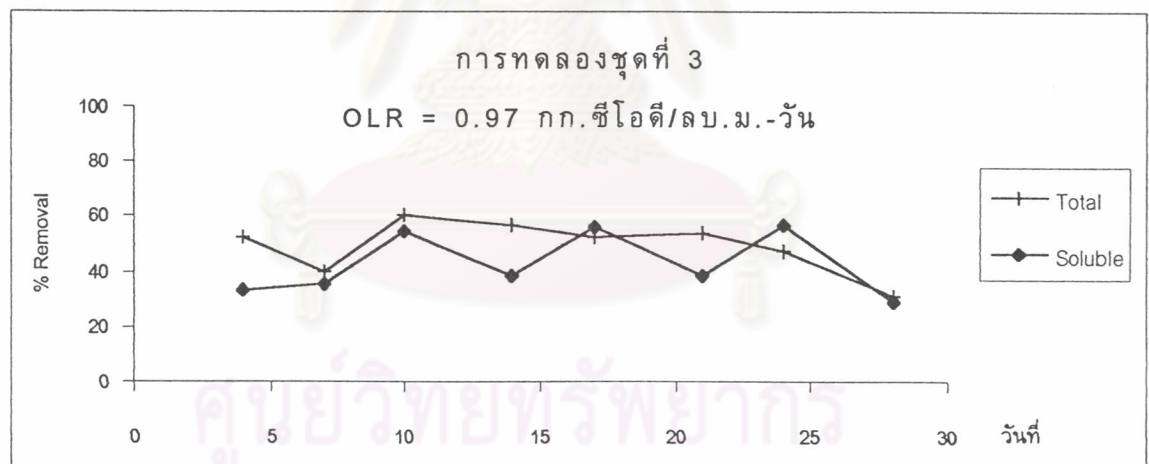
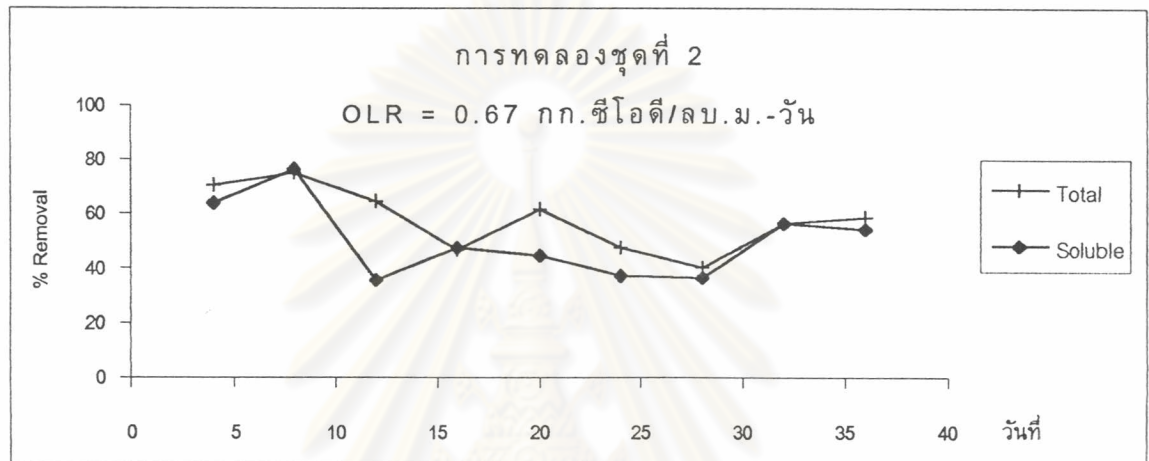
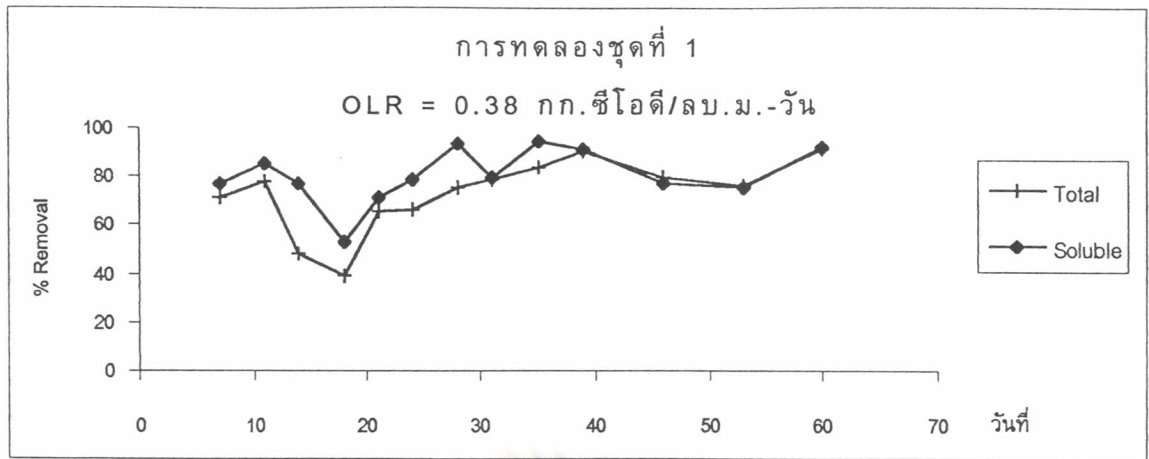
4.5.6 ซีโอดี

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ ได้แยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ประเภท คือ การนำค่าซีโอดีทั้งหมดในน้ำออก (total effluent COD) มาคำนวณหาประสิทธิภาพซึ่งในกรณีนี้จะรวมถึงค่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของแข็งแขวนลอย (suspended solid) ด้วย อีกประเภทหนึ่ง คือ การนำน้ำออก (effluent) มากรองเอาของแข็งแขวนลอยออกแล้วนำเฉพาะน้ำใสมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดีกรอง (soluble COD) ซึ่งในการคำนวณประสิทธิภาพยังคงคิดเทียบกับค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้า (total influent COD) เช่นเดียวกับการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ค่าซีโอดีทั้งหมดในน้ำออก

ค่าเฉลี่ยซีโอดีที่สภาวะคงตัวของระบบและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทุกชุดการทดลอง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละชุดการทดลอง แสดงไว้ดังรูปที่ 4.18 ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.19 จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าแปรผันตั้งแต่ 162.81 – 190.69 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าซีโอดีกรองแปรผันในช่วง 104.26 – 146.07 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองกับน้ำเสียจริงที่ถูกรวบรวมจากน้ำเสียชุมชนของบ้านเรือนในพื้นที่ชุมชนร่วมกันสร้าง

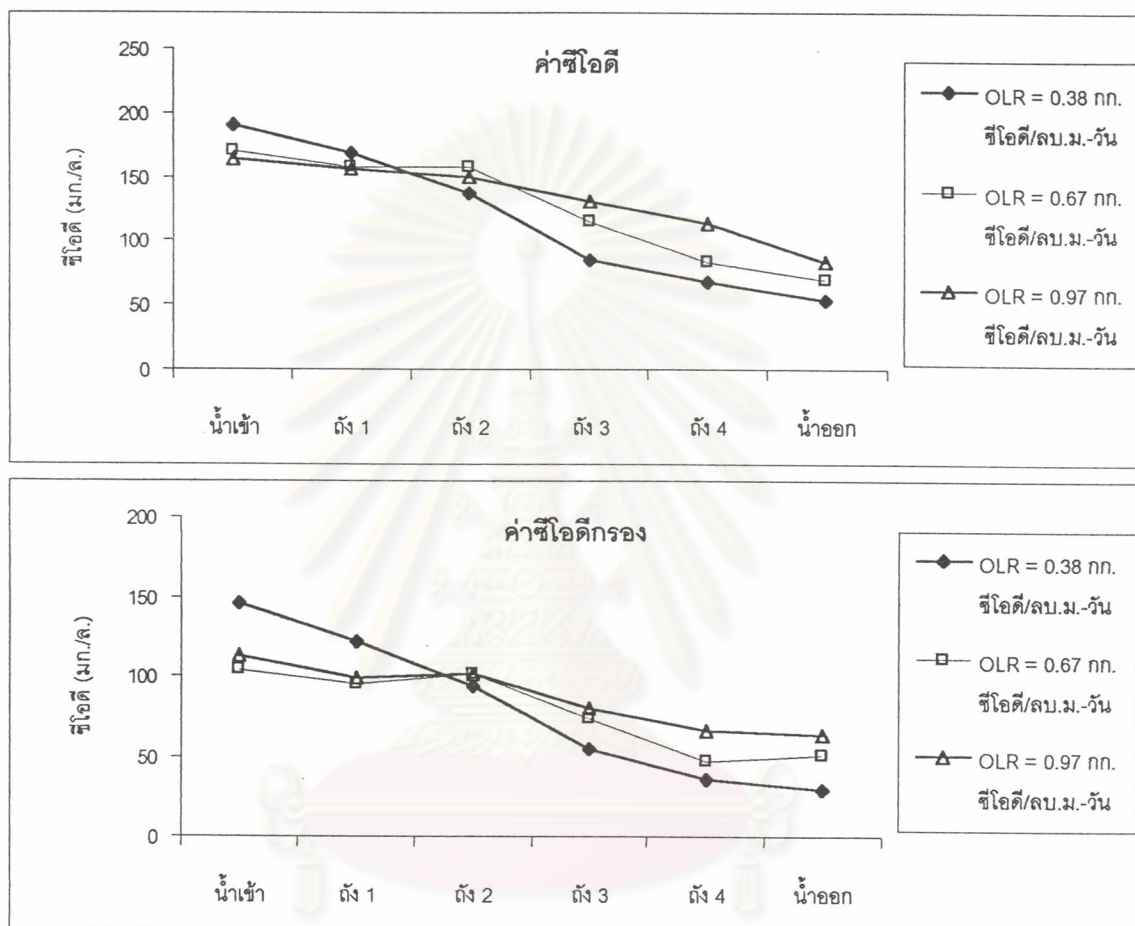
ตารางที่ 4.13 สรุปค่าซีโอดีทั้งหมด และค่าซีโอดีกรอง ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)			ซีโอดีกรอง (มก./ล.)		
	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3
น้ำเข้า	190.69	169.82	162.81	146.07	104.26	112.13
ถัง 1	167.64	156.83	155.73	121.51	94.44	99.28
ถัง 2	136.25	157.16	150.11	93.20	101.17	101.83
ถัง 3	84.30	114.92	130.65	54.21	73.66	79.57
ถัง 4	67.35	83.02	113.13	35.77	46.42	65.88
น้ำออก	53.83	69.89	82.64	28.89	50.50	63.86
% removal	72.18	57.84	49.05	80.24	50.12	42.5



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี ของแต่ละชุดการ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อค่าซีโอดีของน้ำออก กล่าวคือ เมื่อค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลง โดยในการทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด คือ มีค่าเฉลี่ยซีโอดีทั้งหมดในน้ำออก 53.83 มก./ล. ค่าเฉลี่ยซีโอดีกรอง 28.89 มก./ล. และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 83.21%



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ

จากตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ พบว่าการกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่จะเกิดในถัง 3 และถัง 4 ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ โดยค่าซีโอดีทั้งหมดจะลดลงอย่างมากในถัง 3 และค่าซีโอดีกรองในถัง 4 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดีกรองในน้ำทิ้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถัง 5 สามารถกรองมวลจุลชีพที่อยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย จากถัง 3 และถัง 4 ไม่ให้หลุดออกมาในน้ำทิ้งได้ ทำให้ไม่ต้องมีถังตกตะกอน

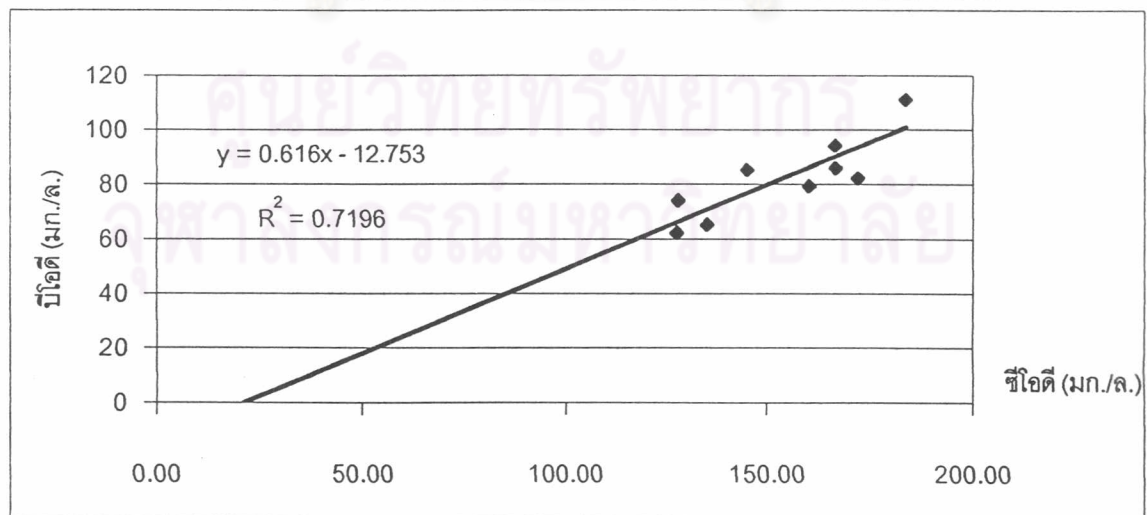
ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีทั้งหมดและซีไอดีกรอง ในแต่ละตำแหน่งของระบบ

จุดเก็บตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีทั้งหมด (%)			ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรอง (%)		
	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3
น้ำเข้า	190.69	169.82	162.81	146.07	104.26	112.13
ถัง 1	12.08	7.65	4.35	16.81	9.42	11.46
ถัง 2	18.73	-0.21	3.61	23.30	-7.13	-2.57
ถัง 3	38.13	26.88	12.96	41.84	27.19	21.86
ถัง 4	20.11	27.76	13.41	34.02	36.98	17.20
น้ำออก	20.07	15.81	26.95	19.24	-8.78	3.07
ประสิทธิภาพรวม	72.18	57.84	49.05	80.24	50.12	42.5

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและค่าบีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 3 ชุดการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.20 พบว่าค่าความน่าเชื่อถือ (R^2) มีค่าไม่สูงนักเนื่องจากเป็นน้ำเสียจริงซึ่งอาจทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนบ้าง โดยมีค่าอัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดี 0.62 และในน้ำเสียเข้าระบบมีค่า non-biodegradable เท่ากับ 20.70 มก.ซีไอดี/ล.

ตารางที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและค่าบีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบ

ชุดการทดลองที่	ซีไอดี (มก./ล.)	บีไอดี (มก./ล.)	บีไอดี : ซีไอดี
1	190.69	96.75	0.51
2	169.82	91.00	0.54
3	162.81	78.04	0.48



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและค่าบีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบ

4.5.7 ค่าบีโอดี

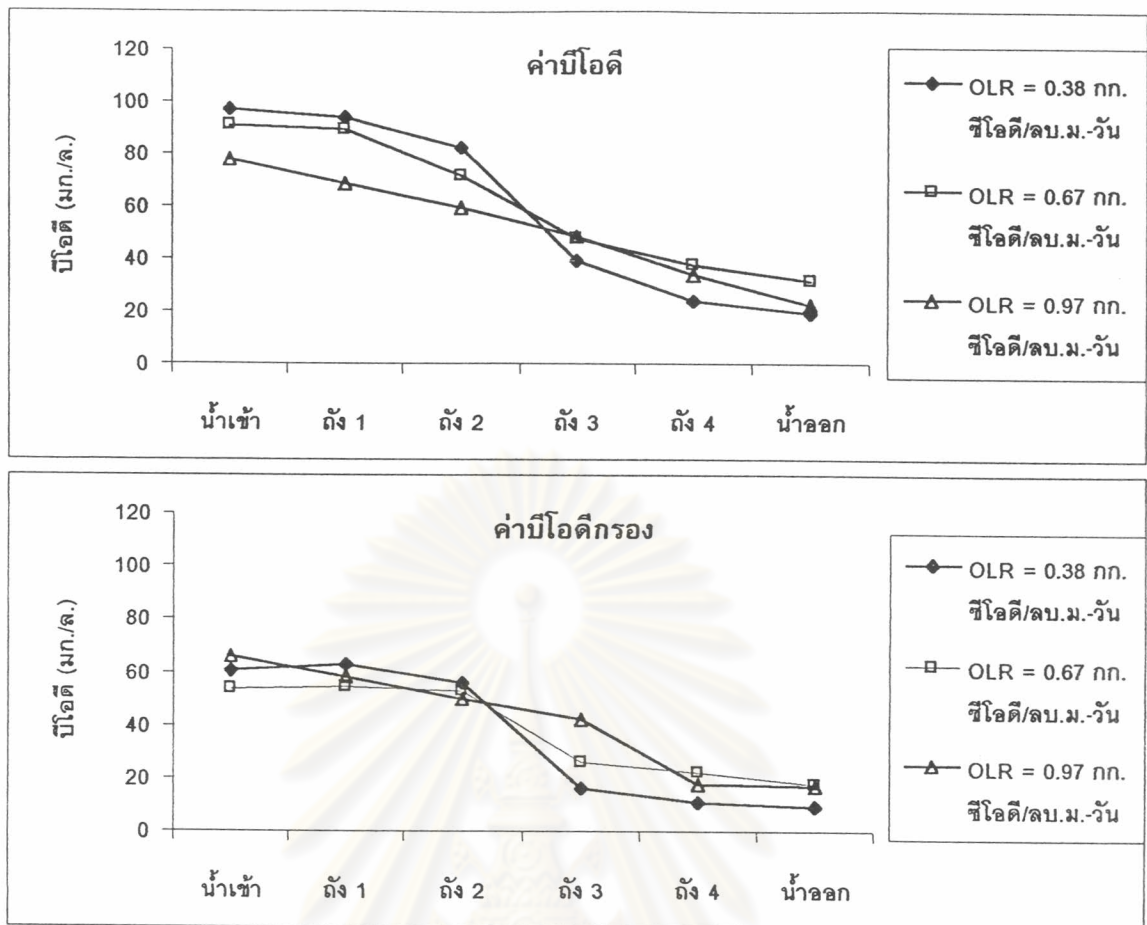
ค่าบีโอดีเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของระบบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.16 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.21 จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าแปรผันตั้งแต่ 78.04 – 96.75 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าบีโอดีกรองแปรผันในช่วง 53.19 – 65.93 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็น การทดลองกับน้ำเสียชุมชนจริงทำให้ค่าไม่คงที่เท่าที่ควร

จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยบีโอดีในน้ำออกใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำออกโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.21 – 17.23 มก./ล. และมีค่าบีโอดีกรองเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.21 – 17.23 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ 20 มก./ล. จึงอาจกล่าวได้ว่าใน ทุกชุดการทดลอง ระบบถังกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิดสามารถกำจัดค่าบีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.16 สรุปค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	บีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)			บีโอดีทั้งกรอง (มก./ล.)		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
น้ำเข้า	96.75	91.00	78.04	60.64	53.19	65.93
ถัง 1	93.69	89.00	68.54	62.65	54.19	58.31
ถัง 2	82.00	71.56	59.25	55.82	52.94	49.75
ถัง 3	38.88	47.75	48.08	16.06	25.89	41.71
ถัง 4	23.54	38.06	33.91	10.78	22.38	17.56
น้ำออก	19.06	31.56	22.58	9.21	17.23	17.05
% removal	80.30	65.32	71.06	84.81	67.61	74.14

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า ค่าภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์มีผลต่อค่าบีโอดีของน้ำ ออกอยู่บ้าง แม้จะไม่ชัดเจนนักกล่าวคือ เมื่อค่าภาวะบรรทุกลศาสตร์เพิ่มขึ้นค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจะ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีจะลดลง โดยในการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งมีค่าภาวะ บรรทุกลสารอินทรีย์ 0.38 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือ มีค่าเฉลี่ยบีโอดีทั้งหมดใน น้ำออก 19.06 มก./ล. ค่าเฉลี่ยบีโอดีกรอง 9.21 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วน ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีทั้งหมด 80.30% และ ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีกรอง 84.81%



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ

4.5.8 ค่าแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และไนโตรท

จากผลการทดลองสามารถสรุปค่าแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และไนเตรท ที่สภาวะคงตัวของระบบได้ดังตารางที่ 4.17 (ค่าเจดาคัลไนโตรเจน หรือ ค่าทีเคเอ็น ที่แสดงในตารางเป็นค่าทีเคเอ็นทั้งหมด คือ ค่าแอมโมเนีย ร่วมกับ ค่าอินทรีย์ไนโตรเจน) ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.22

จากทุกชุดการทดลองพบว่า ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบแปรผันอยู่ในช่วง 29.56 – 36.96 มก.ไนโตรเจน/ลิตร โดยค่าทีเคเอ็นของน้ำเสียเข้าระบบส่วนใหญ่อยู่ในรูป แอมโมเนียไนโตรเจนโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.18 – 31.86 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ส่วนค่าอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.38 – 5.10 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และค่าไนเตรทในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าต่ำมากคืออยู่ในช่วง 1.51 – 3.13 มก.ไนโตรเจน/ลิตร

ตารางที่ 4.17 สรุปค่าแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และไนเตรท ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ (เฉพาะแอมโมเนียและทีเคเอ็น)

จุดเก็บตัวอย่าง	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	NH ₃	Org-N	TKN	NO ₃ ⁻	NH ₃	Org-N	TKN	NO ₃ ⁻	NH ₃	Org-N	TKN	NO ₃ ⁻
น้ำเข้า	26.18	3.38	29.56	3.13	31.67	4.46	36.13	1.51	31.86	5.10	36.96	1.81
ถัง 1	26.30	3.20	29.49	2.94	30.90	4.56	35.68	1.35	31.86	4.32	36.18	1.80
ถัง 2	24.70	3.09	27.82	2.94	32.08	3.51	35.59	1.55	31.93	4.39	36.32	1.95
ถัง 3	15.64	2.39	18.13	6.09	32.88	3.51	36.39	1.32	31.29	4.89	36.18	1.60
ถัง 4	5.54	1.89	7.39	10.63	32.75	3.64	36.39	1.03	32.04	4.43	36.47	1.59
น้ำออก	7.01	1.54	8.53	9.06	32.27	2.87	35.11	1.12	31.75	3.40	35.15	1.56
% removal	73.67		71.28		-1.91		2.84		0.42		5.13	

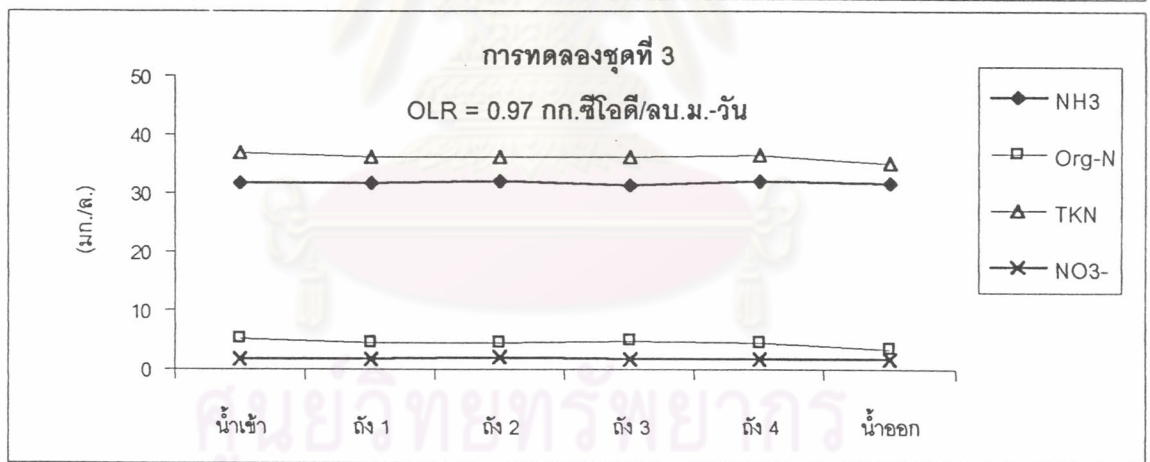
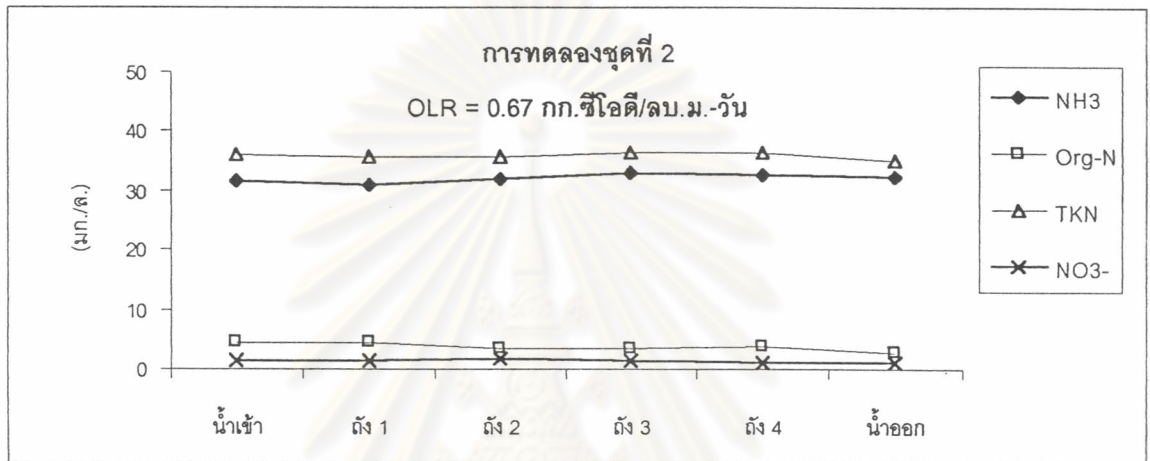
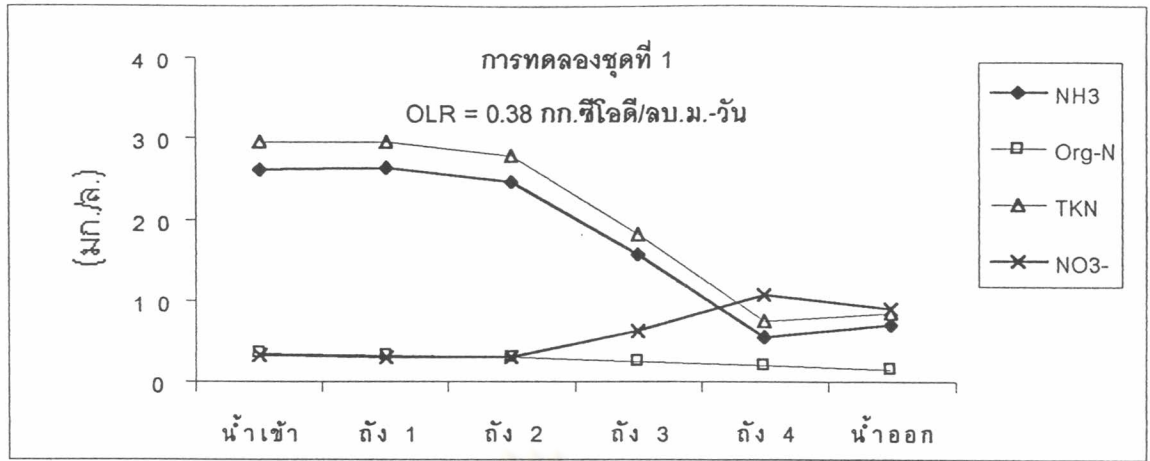
ในการทดลองชุดที่ 1 เมื่อน้ำเสียผ่านการเติมอากาศในถัง 3 และถัง 4 แล้วค่าแอมโมเนีย และ ทีเคเอ็น ลดลงอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ มีค่าแอมโมเนีย และ ทีเคเอ็น ในน้ำออกเป็น 7.01 และ 8.53 มก.ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ โดยแอมโมเนียจะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของไนเตรท ซึ่งค่าเฉลี่ยไนเตรทในถัง 3 ถัง 4 และน้ำออก มีค่าแปรผันในช่วง 6.09 – 10.63 มก.ไนโตรเจน/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าไนเตรทในน้ำเสียเข้าระบบแล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งจากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าการทดลองชุดที่ 1 เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นในถัง 3 และถัง 4 ที่มีการเติมอากาศ

ส่วนในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 เมื่อพิจารณาจากค่าแอมโมเนีย ทีเคเอ็น และไนเตรท ในน้ำเสียเข้าระบบ ตลอดจนถึง น้ำออก แล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากแม้แต่ในถัง 3 และถัง 4 ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ จึงสรุปได้ว่าการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าสภาพต่างในหัวข้อ 4.5.4

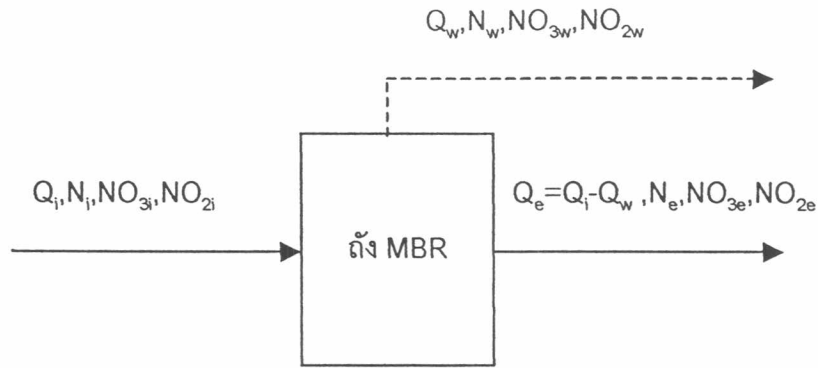
□ ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์

ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันเป็นสำคัญ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าแอมโมเนียที่ลดลงในถังปฏิกรณ์จะเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเท่านั้น

พิจารณารูปที่ 4.23 ซึ่งได้ทำการแยกส่วนถังปฏิกรณ์ออกจากระบบ เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจน ที่เคเอ็น และไนเตรท ในแต่ละตำแหน่งของระบบของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.23 การแยกส่วนถังปฏิกรณ์ออกจากระบบรวมเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย

ค่าแอมโมเนียที่ลดลงในถังปฏิกรณ์ซึ่งเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันรวมถึงการนำไปสร้างเซลล์หาได้จาก

$$\Delta N = N_i - N_e$$

เมื่อ ΔN = ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ลดลง (มก./ล.)

N_i = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสียเข้า (มก./ล.)

N_e = ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นว่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในการทดลองชุดที่ 1 2 และ 3 ซึ่งมีค่า 0.38 0.67 และ 0.97 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจะแปรผกผันกับค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลงที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น และมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 73.67% ที่ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.38 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีค่าภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์ 0.2 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

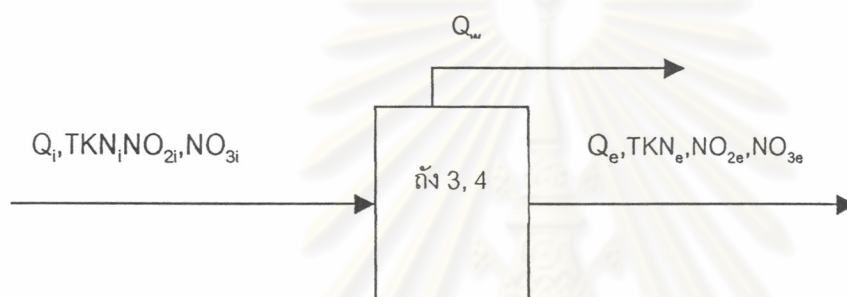
ตารางที่ 4.18 สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์

ชุดการทดลอง	N_i (มก./ล.)	N_e (มก./ล.)	ΔN (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ(%)
1	26.18	7.01	19.17	73.67
2	31.67	32.27	-0.60	-1.91
3	31.86	31.75	0.11	0.42

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทุกชุดการทดลอง พบว่า ที่ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าประสิทธิภาพต่ำ เนื่องมาจากระยะเวลากักในถังปฏิกรณ์ต่ำ และภาวะบรรจุสารอินทรีย์ที่สูง ทำให้จุลินทรีย์ชนิดออกโททรอปถูกไล่ล้าง(Wash out) โดยพิจารณาได้จากค่าอายุตะกอนของทั้ง 2 ชุดการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกันคือ 39.94 และ 33.34 วัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าอายุตะกอนของการทดลองชุดที่ 1 คือ 72.29 วัน อย่างเห็นได้ชัด

□ การใช้แอมโมเนียเป็นธาตุอาหารในการสร้างเซลล์ (Assimilation)

การเกิดกระบวนการ Assimilation ที่พิจารณาที่ถัง 3 และ 4 ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ โดยมีสมมุติฐานที่ว่า เซลล์สามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ดังแสดงในตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.24 ดังนั้น Assimilation หาได้จากสมการ



รูปที่ 4.24 สมดุลมวลไนโตรเจนเพื่อหา Assimilation

$$AS = (TKN_i + NO_{2i} + NO_{3i}) - (TKN_e + NO_{2e} + NO_{3e})$$

$$AS = \text{การสร้างเซลล์ใหม่}$$

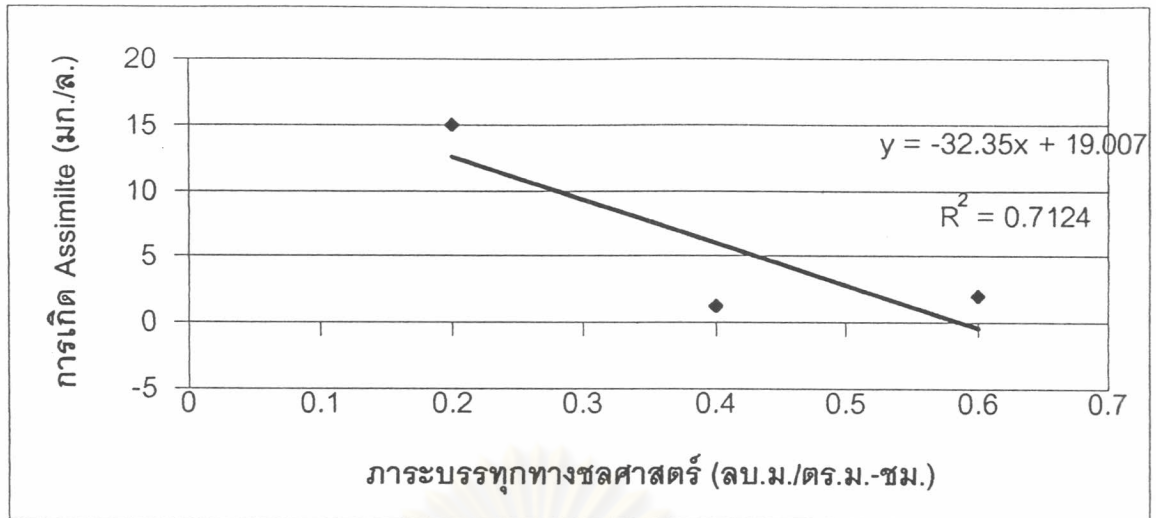
$$TKN_i, TKN_e = \text{ค่าความเข้มข้นที่เคเอ็นในน้ำเสียเข้าและถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)}$$

$$NO_{2i}, NO_{3i}, NO_{2e}, NO_{3e} = \text{ค่าความเข้มข้นไนไตรต์ ไนเตรตของน้ำเสียเข้าและออกถังปฏิกรณ์}$$

$$Q_i, Q_e = \text{อัตราการไหลของน้ำเสียผ่านถังกรอง(ลิตร/วัน)}$$

ตารางที่ 4.19 การเกิด Assimilation

ชุดการทดลอง	TKN _i (มก./ล.)	NO _{2i} (มก./ล.)	NO _{3i} (มก./ล.)	TKN _e (มก./ล.)	NO _{2e} (มก./ล.)	NO _{3e} (มก./ล.)	AS (มก./ล.)
1	29.56	0.01	3.13	8.53	0.20	9.06	14.91
2	36.13	0.01	1.51	35.11	0.10	1.12	1.32
3	36.96	0.01	1.81	35.15	0.10	1.56	1.97



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์การตรึงไนโตรเจนอินทรีย์กับ Assimilation

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่อการตรึงไนโตรเจนอินทรีย์สูงขึ้น Assimilation จะมีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาการใช้แอมโมเนียในการสร้างเซลล์ใหม่โดยเปรียบเทียบรวมกับการกำจัดบีโอดีในถังปฏิกรณ์ โดยใช้สมการสมดุลมวลสารอาหารรอบถังปฏิกรณ์ ดังนี้

$$S = S_i - S_e$$

โดยที่ S = การกำจัดบีโอดีในถัง ปฏิกรณ์ (มก./ล.)

S_i = ค่าบีโอดีในน้ำเสียเข้า (มก./ล.)

S_e = ค่าบีโอดีออกจากถัง ปฏิกรณ์ (มก./ล.)

ตารางที่ 4.20 การกำจัดบีโอดีและอัตราส่วนบีโอดีต่อแอมโมเนียในการสร้างเซลล์ในถังปฏิกรณ์

ชุดการทดลอง	S_i (มก./ล.)	S_e (มก./ล.)	S (มก./ล.)	S (มก./วัน)	AS (มก./ล.)	S:AS
1	96.75	9.21	87.54	378173	14.91	100 : 17
2	91.00	17.23	73.77	637373	1.32	100 : 2
3	78.04	17.05	60.99	790430	1.97	100 : 3

จากตารางที่ 4.20 พบว่า การทดลองชุดที่ 1 มีอัตราส่วนการกำจัดบีโอดีต่อแอมโมเนียที่ใช้สร้างเซลล์ใหม่ $100 : 17$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าทางทฤษฎี ($100 : 5$) เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์ใช้ธาตุอาหารในการสร้างเซลล์และเก็บสำรองไว้ในเซลล์ก่อนเข้าไปยังถังกรอง ในขณะที่การทดลองชุดที่ 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าทฤษฎีคือมีค่า $100 : 2$ และ $100 : 3$ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียต่ำ

□ อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการเติมอากาศเท่านั้น ดังนั้นจะคิดเฉพาะถังปฏิกรณ์เท่านั้น หัวข้อนี้จะไม่คิดแอมโมเนียที่ใช้ในการสร้างเซลล์ (Assimilate) โดยจะคิดแอมโมเนียที่หายไปในถังปฏิกรณ์ การเกิดไนตริฟิเคชันหาได้จากการทำสมดุลมวลรอบถังปฏิกรณ์ ดังนี้

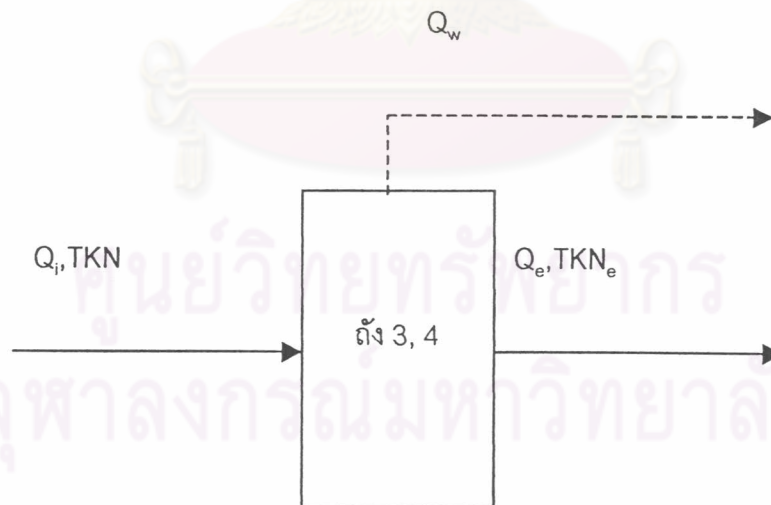
$$NI = (TKN_i - TKN_e) - AS$$

โดย NI = การเกิดไนตริฟิเคชัน

AS = การสร้างเซลล์ใหม่

TKN_i = ค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียเข้า

TKN_e = ค่าที่เคเอ็นที่ออกจากถังปฏิกรณ์



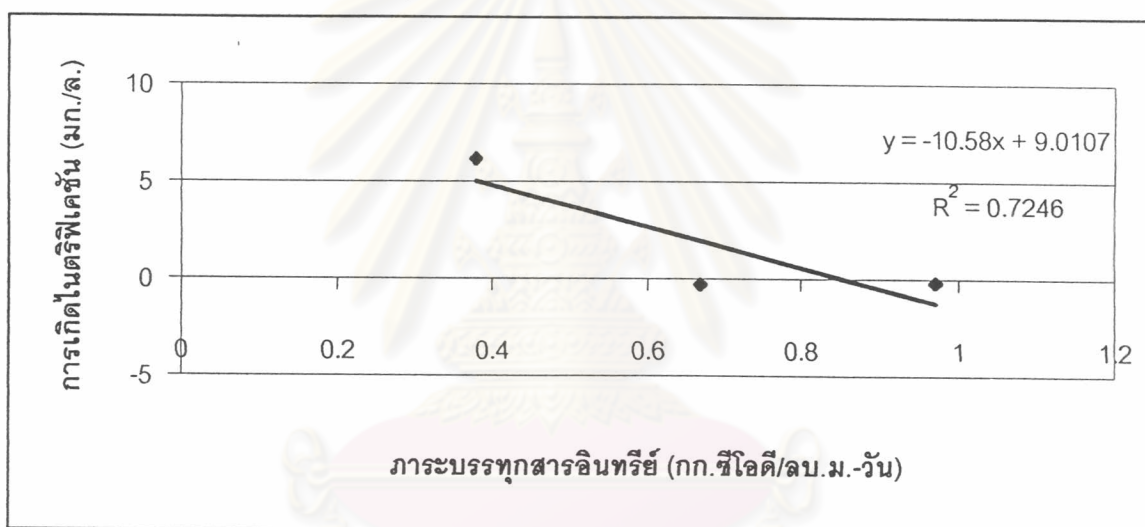
รูปที่ 4.26 สมดุลมวลที่เคเอ็นรอบถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าแอมโมเนีย ไนโตรรีด และไนเตรตของน้ำเสียเข้าและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์และรูปที่ 4.26 การเกิดไนตริฟิเคชันหาได้จากการทำสมมุติฐานมวลรอบถังปฏิกรณ์ ดังนี้

ตารางที่ 4.21 การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ชุดการทดลองที่	TKN _i (มก./ล.)	TKN _o (มก./ล.)	AS (มก./ล.)	NI (มก./ล.)
1	29.56	8.53	14.91	6.12
2	36.13	35.11	1.32	-0.30
3	36.96	35.15	1.97	-0.16

จากตารางที่ 4.21 จะได้การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และเมื่อนำมาความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับการเกิดไนตริฟิเคชัน จะได้กราฟซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.27



รูป 4.27 ความสัมพันธ์ของการเกิดไนตริฟิเคชันกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์

จากรูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเกิดไนตริฟิเคชันที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$NI = -10.58(OLR) + 9.0107$$

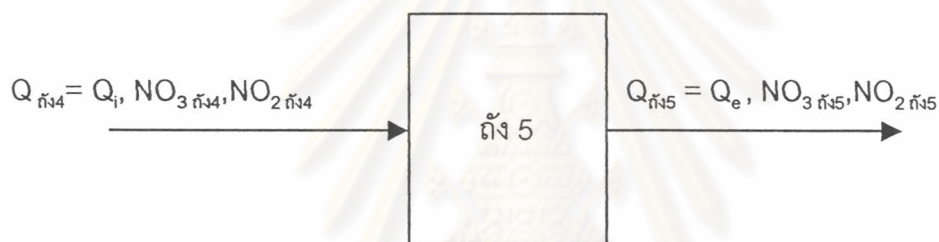
เมื่อ $NI =$ การเกิดไนตริฟิเคชัน(มก./ล.)

$OLR =$ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์(กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)

□ ค่าไนไตรต์และไนเตรต

ค่าไนไตรต์และไนเตรต เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ในการบ่งชี้การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยเมื่อพิจารณาค่าไนเตรตในถังเติมอากาศจะเห็นว่าที่การทดลองชุดที่ 1 มีค่าไนเตรตเพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 และ 0.97 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตอย่างเห็นได้ชัดซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ (Incompleted Nitrification) อันเนื่องมาจากระยะเวลาเก็บกักต่ำเกินไป (น้อยกว่า 2 ชม.)

ประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรต์และไนเตรต จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในระบบเป็นสำคัญ ซึ่งในการทดลองนี้จะพิจารณาที่ถังกรอง (ถัง 5) เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศที่ถังนี้ ส่วนในถัง 3 และถัง 4 จะมีการเติมอากาศตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ซึ่งเป็นการแยกถังกรอง ออกจากระบบ เพื่อหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน



รูปที่ 4.28 การแยกถังกรองออกจากระบบ เพื่อหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน

ในการหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันใช้สมมุติฐานที่ว่า จุลินทรีย์ชนิดออกซิโตรอฟใช้ไนเตรตและไนไตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน ดังนั้นอัตราดีไนตริฟิเคชันหาได้จากสมการดังนี้

$$DN = (\text{NO}_3_{\text{ถัง}4} + \text{NO}_2_{\text{ถัง}4}) - (\text{NO}_3_{\text{ถัง}5} + \text{NO}_2_{\text{ถัง}5})$$

เมื่อ	DN	=	การเกิดดีไนตริฟิเคชัน	(มก./ล.)
	$\text{NO}_2_{\text{ถัง}4}, \text{NO}_3_{\text{ถัง}4}$	=	ความเข้มข้นของไนไตรต์และไนเตรตในถังเติมอากาศ	(มก./ล.)
	$\text{NO}_2_{\text{ถัง}5}, \text{NO}_3_{\text{ถัง}5}$	=	ความเข้มข้นของไนไตรต์และไนเตรตในถังกรอง	(มก./ล.)

ตารางที่ 4.22 การเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังกรอง

ชุดการ ทดลอง	NO ₂ ถัง4 (มก./ลิตร)	NO ₃ ถัง4 (มก./ลิตร)	NO ₂ ถัง5 (มก./ลิตร)	NO ₃ ถัง5 (มก./ลิตร)	DN (มก./ลิตร)	DN (มก./วัน)
1	0.10	10.63	0.01	9.06	1.66	7171
2	0.10	1.03	0.01	1.12	0.00	0
3	0.10	1.59	0.01	1.56	0.12	1555

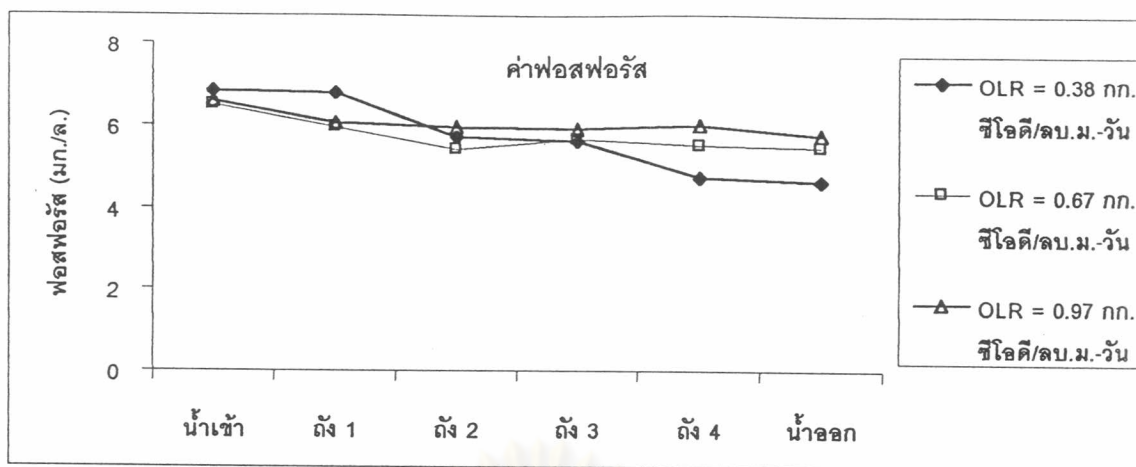
จากตารางที่ 4.22 พบว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น โดยการเกิดดีไนตริฟิเคชันล้มเหลวเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ระยะเวลาเก็บกัก 47 นาที) ซึ่งค่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะมีค่าต่ำมาก

4.5.9 ฟอสฟอรัส

จากผลการทดลอง ค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวแสดงดังตารางที่ 4.23 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสในแต่ละตำแหน่งของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.29 พบว่าค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 6.47 – 6.84 มก./ล. และทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มค่าเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสที่สภาวะต่างๆคล้ายคลึงกันคือ ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกมีค่าน้อยลงกว่าน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อย

ตารางที่ 4.23 สรุปค่าฟอสฟอรัสในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
น้ำเข้า	6.84	6.47	6.57
ถัง 1	6.77	5.94	6.06
ถัง 2	5.71	5.40	5.92
ถัง 3	5.62	5.62	5.89
ถัง 4	4.69	5.48	5.96
น้ำออก	4.62	5.45	5.74
% removal	33.90	15.32	12.45



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละตำแหน่งของระบบ

จากตารางที่ 4.23 สามารถสรุปได้ว่า ค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออก กล่าวคือ เมื่อค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสจะลดลง โดยในการทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด คือ มีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำออก 4.62 มก./ล. และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด 33.90%

4.6 อัตราการทิ้งของแข็ง (Observed Yield)

ค่าอัตราการทิ้งของแข็งจะทำให้สามารถคำนวณของแข็งที่ต้องถูกกำจัดเมื่อระบบรับภาระบรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าต่างๆ ทำให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบกำจัดตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นต่อไป จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุด เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทิ้งของแข็งกับค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.24 สามารถสรุปได้ว่าในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 ซึ่งมีค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.38 0.67 และ 0.97 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ มีอัตราการทิ้งของแข็งของระบบเท่ากับ 0.17 0.17 และ 0.19 กก.เอสเอส/กก.ซีไอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัด

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าอัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัดซีโอดีของทุกชุดการทดลอง.

ชุดการทดลองที่	1	2	3
ภาวะบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)	0.36	0.72	1.08
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	0.38	0.67	0.97
ของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้ง (มก./ล.)	3.18	7.89	8.00
ปริมาณน้ำทิ้ง (ล./วัน)	4320	8640	12960
ของแข็งแขวนลอยน้ำทิ้ง (กก./วัน)	0.0137	0.0682	0.1037
ปริมาณน้ำล้าง (ลิตร)	3318	3318	3318
ของแข็งแขวนลอยน้ำล้าง (กก./วัน)	0.0892	0.0901	0.0896
ของแข็งแขวนลอยที่หายไปจากระบบ (กก./วัน)	0.1029	0.1583	0.1933
สารอาหารที่เข้าไป (กก.ซีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัดต่อวัน)	0.61	0.85	1.01
อัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัดซีโอดี (กก.เอสเอส/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.17	0.19	0.19

4.7 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age)

ค่าอายุตะกอน หมายถึงระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์หมุนเวียนอยู่ในระบบ เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบ การหาค่าอายุตะกอนสามารถหาได้จาก ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของจุลินทรีย์ที่สะสมในระบบต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ถูกทิ้งออกจากระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.25 โดยพบว่าในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.38 0.67 และ 0.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าภาวะบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.36 0.72 และ 1.08 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตามลำดับ ระบบมีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 72 39 และ 33 วัน ตามลำดับ

จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่า เมื่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าอายุตะกอนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ทำให้ระบบมีปริมาณสารอาหารให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และหลุดไปกับน้ำทิ้งมากขึ้น

ตารางที่ 4.25 แสดงการคำนวณหาค่าอายุตะกอนของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	1	2	3
ภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)	0.36	0.72	1.08
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	0.38	0.67	0.97
ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำออก (มก./ล.)	1.59	4.89	5.50
ปริมาณน้ำทิ้ง (ล./วัน)	4320	8640	12960
ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำออก (กก./วัน)	0.0069	0.0422	0.0713
ปริมาณน้ำล้าง (ลิตร)	3318	3318	3318
ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำล้าง (กก./วัน)	0.0405	0.0447	0.0455
ปริมาณจุลินทรีย์ที่หายไปจากระบบ (กก./วัน)	0.0474	0.0870	0.1168
ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ (กก.)	3.40	3.43	3.84
อายุตะกอน (วัน)	72	39	33

4.8 การหาค่าyield (Yield)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับอายุตะกอน ($1/\theta_c$) กับอัตราการใช้สารอาหารเทียบกับมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังกรอง (U) สามารถหาค่า yield ได้ จากความชันของเส้นกราฟ ดังสมการ

$$1/\theta_c = YU - K_d$$

$$U = Q(S_0 - S)/M_T$$

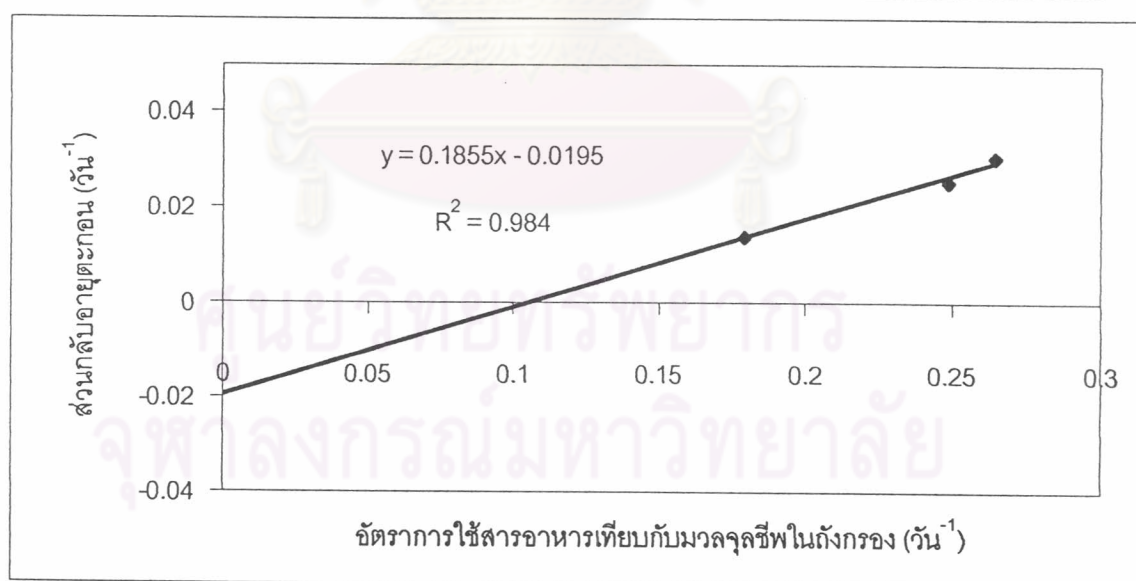
- โดย
- θ_c = อายุตะกอน (วัน)
 - Y = ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (มก.วีเอสเอส / มก.ซีไอดี)
 - U = อัตราการใช้สารอาหารต่อมวลต่อมวลจุลินทรีย์ (วัน⁻¹)
 - K_d = สัมประสิทธิ์อัตราการตายของจุลินทรีย์ (วัน⁻¹)

Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (ลิตร/วัน)
S ₀	=	ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้า (มก./ล.)
S	=	ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำออก (มก./ล.)
M _T	=	มวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบ (มก.)

จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหา U ได้โดยที่ค่าความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้าต้องนำมาหักค่า non-biodegradable ซึ่งจากหัวข้อที่ 4.5.6 มีค่าเท่ากับ 20.70 มก.ซีโอดี/ล. แสดงผลดังตารางที่ 4.26 และเมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างค่า $1/\theta_c$ กับ U จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.30 พบว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) เท่ากับ 0.1855 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดีทั้งหมด และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสลายตัว (Kd) เท่ากับ 0.0195 วัน⁻¹

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการคำนวณค่า U ตามอายุตะกอน

ชุดการทดลอง	θ_c (วัน)	$1/\theta_c$ (วัน ⁻¹)	S ₀ (มก./ล.)	S (มก./ล.)	M _T (กก.)	U (วัน ⁻¹)
1	71.71	0.0139	190.69	28.89	3.40	0.1793
2	39.48	0.0253	169.82	50.50	3.43	0.2481
3	32.86	0.0304	162.81	63.86	3.84	0.2643



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับอายุตะกอน ($1/\theta_c$) กับอัตราการใช้สารอาหารเทียบกับมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังกรอง (U)

4.9 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบ

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่าลงทุน (Investment cost) และ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบ (Operation cost) ซึ่งรายละเอียด และข้อกำหนดต่างๆ แสดงไว้ ดังตารางที่ 4.27 และ 4.28

ตารางที่ 4.27 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบ

หัวข้อ	รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย
1	ค่าลงทุนสร้างระบบ (Investment cost)	
1.1	ถังปฏิกรณ์ ไคโรเหล็ก 5 ลบ.ม.	29,280 บาท
1.2	ถังแบ่งน้ำเสีย พร้อมไคโรเหล็ก	3,710 บาท
1.3	ถังเก็บน้ำเสีย 90 ลิตร	150 บาท
1.4	เครื่องสูบน้ำแบบแช่ ขนาด 400w.	2,500 บาท
1.5	เครื่องเติมอากาศ ขนาด 220w.	21,500 บาท
1.6	ตัวกลาง	
	1.6.1 Activated carbon	14,500 บาท
	1.6.2 Chitosan	3,000 บาท
	1.6.3 Charcoal	1,360 บาท
	1.6.4 ตัวกลางอื่นๆ เป็นเศษวัสดุ ไม่นับมูลค่า	0
1.7	ชุดควบคุมการทำงาน (ถูกลอยอัตโนมัติ 2ตัว)	500 บาท
1.8	อุปกรณ์ประกอบ ท่อ วาล์ว สายไฟ	1,000 บาท
1.9	ค่าแรงในการติดตั้ง	2,000 บาท
	ราคารวมค่าลงทุนระบบ	79,500 บาท
2	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ (Operating cost)	
2.1	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการระบบ	895 บาท/ปี
2.2	ค่ากำจัดสลัดจ์	995 บาท/ปี
	(3318ลิตร/ 2 เดือน ; SRT 72 วัน)	
2.3	ค่าซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์	500 บาท/ปี
	ราคารวมค่าดำเนินการระบบ	2,390 บาท/ปี

ข้อกำหนด (Calculation Assumption)

- อัตราการบำบัดน้ำเสีย (Q) 1576.80 ลบ.ม./ปี เป็นค่าที่ให้คุณภาพน้ำดีสุดจากทั้ง 3 การทดลอง
- อายุการใช้งานของระบบ 20 ปี (N)
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้โครงการสิ่งแวดล้อม 3.5% ต่อปี (i)

ตารางที่ 4.28 ขั้นตอนการคำนวณ และผลการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่าย

ขั้นตอนการคำนวณ	ค่าใช้จ่าย
1. ต้นทุนสร้าง-ติดตั้ง	79,500.00 บาท
2. มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ (OP _N)	33,967.64 บาท
3. เงินลงทุนทั้งหมดในโครงการ (Tinv.)	113,467.64 บาท
4. ค่าใช้หนี้คืนเงินต้นรวม (Tinv _N)	7,983.71 บาท/ปี
5. อัตราการบำบัดน้ำเสีย	1,576.80 ลบ.ม./ปี
6. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบไม่รวมค่าเสื่อมราคา	1.52 บาท/ลบ.ม.
7. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบรวมค่าเสื่อมราคา	5.06 บาท/ลบ.ม.

สูตรการคำนวณ

$$OP_N = 2,390 \times [1 + 1/(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N]$$

$$Tinv = (Inv + OP_N)$$

$$Tinv_N = Tinv \times [i(1+i)^N / [(1+i)^N - 1]]$$

$$\text{ต้นทุนไม่รวมค่าเสื่อมราคา} = OP / Q$$

$$\text{ต้นทุนรวมค่าเสื่อมราคา} = Tinv_N / Q$$

เนื่องจากระบบที่ใช้เป็นขนาดทดลอง จึงทำให้ต้นทุนในการบำบัดมีค่าสูงเมื่อเทียบกับระบบขนาดใหญ่ และยังไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ราคาที่ดิน บุคลากรที่ใช้ควบคุมระบบ การควบคุมอัตโนมัติ การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น