

3.4.2 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ (Influent Pump, P1)

เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดโคอะแฟรม ยี่ห้อ Prominent รุ่น GAMMA/4-W ใช้สูบน้ำเสียที่เตรียมไว้ในถังเก็บน้ำเสียไปยังปฏิกรณ์ เครื่องสูบจะสูบอย่างต่อเนื่อง 10 นาที และหยุดสูบ 10 นาที เพื่อลดการอุดตันอย่างต่อเนื่องที่ผิวหน้าของแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชัน โดยปรับอัตราการสูบให้ได้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องสูบน้ำออก (P3)

3.4.3 เครื่องสูบน้ำเวียนสลัดจ์ (Return Sludge Pump, P2)

เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย ยี่ห้อ Watson-Marlow รุ่น 502 S ใช้สูบน้ำสลัดจ์จากส่วนเติมออกซิเจนไปยังส่วนแอนน็อกซิก เพื่อทำให้เกิดกลไกการกำจัดทางชีวภาพต่างๆขึ้น โดยปรับอัตราการสูบไว้ประมาณ 5 ลิตร/ชม.

3.4.4 เครื่องสูบน้ำออก (Effluent Pump, P3)

เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดโคอะแฟรม ยี่ห้อ Iwaki รุ่น LK-31VS-03 ใช้สูบน้ำออกจากระบบ เครื่องสูบจะสูบต่อเนื่อง 10 นาที และหยุดสูบ 10 นาที เพื่อลดการอุดตันอย่างต่อเนื่องที่ผิวหน้าของแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชัน คาบเวลาที่สูบและหยุดนั้นตรงกันกับเครื่องสูบน้ำเข้าระบบ โดยปรับอัตราการสูบสูงสุดให้ได้เท่ากับ 167 มล./นาที โดยที่ควบคุมความดันลดผ่านแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชันไม่ให้เกิน 25 kPa แต่อัตราการสูบออกนี้จะไม่คงที่ เนื่องจากการอุดตันที่ผิวหน้าและในเส้นใยแผ่นเยื่อที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์ที่ได้ลดลงเรื่อยๆตลอดการดำเนินการระบบ จึงต้องทำการปรับอัตราการสูบออกทุกวัน

3.4.5 กล่องแบ่งน้ำเสีย (Distribution Box : DB1, DB2, DB3)

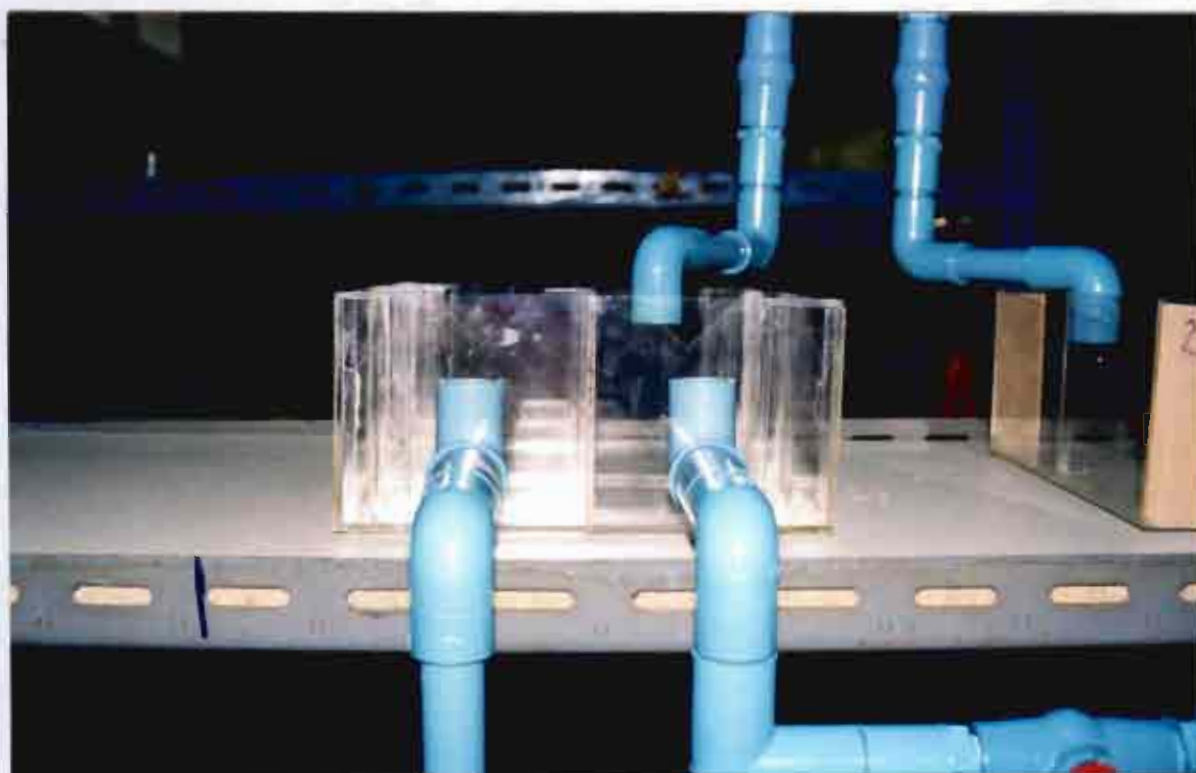
จำนวน 3 ชุด ทำจากอะคริลิกใส ขนาดกว้าง 10 ซม. ยาว 20 ซม. และสูง 10 ซม. กล่องแบ่งน้ำเสียนี้สร้างขึ้น เพื่อลดจำนวนเครื่องสูบน้ำที่ต้องใช้ในงานวิจัย และควบคุมอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิก และส่วนไร้ออกซิเจนให้คงที่ ซึ่งสามารถแบ่งน้ำเสียเข้าทั้ง 2 ส่วนโดยใช้เครื่องสูบน้ำเพียงเครื่องเดียว (แสดงไว้ในรูปที่ 3-3)

3.4.6 ชุดแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration Membrane, MB)

แผ่นเยื่อเป็นแบบเส้นใยกลวง (Hollow fiber) ของบริษัท Mitsubishi Rayon จำกัด ประเทศญี่ปุ่น มีขนาดรูพรุน (Pore Size) 0.4 ไมโครเมตร และมีพื้นที่ผิวแผ่นเยื่อ 0.3 ตารางเมตร (แสดงไว้ในรูปที่ 3-4)

3.4.7 ถังเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Influent Tank)

เป็นถังโพลีเอททิลีนขนาด 90 ลิตร จำนวน 1 ใบ และขนาด 60 ลิตรจำนวน 1 ใบ เตรียมน้ำเสียในทั้ง 2 ถัง ถัง 90 ลิตรใช้เตรียมน้ำเสีย 90 ลิตร และถัง 60 ลิตรใช้เตรียมน้ำเสีย 30 ลิตร การติดตั้ง ถัง 90 ลิตรถูกยกสูงเหนือขอบถัง 60 ลิตร น้ำเสียจากถัง 90 ลิตรไหลด้วยแรงโน้มถ่วงลงถัง 60 ลิตร โดยใช้ลูกกลอยควบคุม ไม่ให้น้ำเสียจากถัง 90 ลิตรล้นออกจากถัง 60 ลิตร โดยมีเครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ (P1) สูบน้ำเสียจากถัง 60 ลิตรขึ้นกล่องแบ่งน้ำเสียที่ 1 (DB 1) (แสดงไว้ในรูปที่ 3-5)



รูปที่ 3-3 กว๊องแบ่งน้ำเสียบ (DB1-3)



รูปที่ 3-4 แผ่นเยื่อที่ใช้ในการทดลอง

3.4.8 ถังรองรับน้ำทิ้ง (Effluent Tank)

เป็นถังโพลีเอททิลีนขนาด 10 ลิตร จำนวน 1 ใบ รองรับน้ำเพอร์เมต (Permeate) ที่ดูดผ่านแผ่นเยื่อ ก่อนไหลลงสู่รางระบายน้ำในห้องปฏิบัติการต่อไป (แสดงไว้ในรูปที่ 3-5)

3.4.9 เครื่องกวนในส่วนแอนน็อกซิก (Anoxic Mixer, M1)

เป็นมอเตอร์ยี่ห้อ ORIENTAL MOTOR รุ่น 21K6GK-A2 ขนาด 6W 100V 50/60Hz 0.25A 2.5 μ F ที่มีความเร็วรอบระหว่าง 1200-1450 รอบ/นาที เมื่อทดสอบแล้วมีความเร็วรอบ 100- 120 รอบ/นาที ติดตั้งกับใบกวนที่ทำจากพลาสติก 2 ใบและแกนใบกวน ใช้กวนเพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับเชื้อในส่วนแอนน็อกซิกอย่างทั่วถึง

3.4.10 เครื่องกวนในส่วนไร้ออกซิเจน (Anaerobic Mixer, M2)

เป็นมอเตอร์ยี่ห้อ ORIENTAL MOTOR รุ่น 21K6GK-A2 ขนาด 6W 100V 50/60Hz 0.25A 2.5 μ F ที่มีความเร็วรอบระหว่าง 1200-1450 รอบ/นาที เมื่อทดสอบแล้วมีความเร็วรอบ 100- 120 รอบ/นาที ติดตั้งกับใบกวนที่ทำจากพลาสติก 2 ใบและแกนใบกวน ใช้กวนเพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับเชื้อในส่วนไร้ออกซิเจนอย่างทั่วถึง

3.4.11 เครื่องเติมอากาศ (Aerator : A1 , A2)

เป็นเครื่องเติมอากาศยี่ห้อ PRESIDENT รุ่น EK-8000 และเครื่องเติมอากาศยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-9905 อย่างละ 1 ตัว มีหัวกระจายอากาศอยู่ในถังปฏิกรณ์จำนวน 10 หัว ใช้เพื่อเติมอากาศให้จุลินทรีย์ในส่วนเติมออกซิเจน รวมทั้งทำให้จุลินทรีย์แขวนลอยในระบบด้วย

3.4.12 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor, AC)

เป็นเครื่องอัดอากาศยี่ห้อ RESUN รุ่น AP-30 อัตราการไหลของอากาศ 60 ลิตร/นาที ติดตั้งกับอุปกรณ์กระจายอากาศที่อยู่ใต้แผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชัน เพื่อให้เกิดการกรองแบบไหลขนานกับแผ่นเยื่อ (Cross flow filtration) และเป่าเชื้อที่สะสมบนผิวหน้าแผ่นเยื่อให้หลุดออกมาเพื่อลดการอุดตัน

3.4.13 ชุดควบคุมการทำงาน

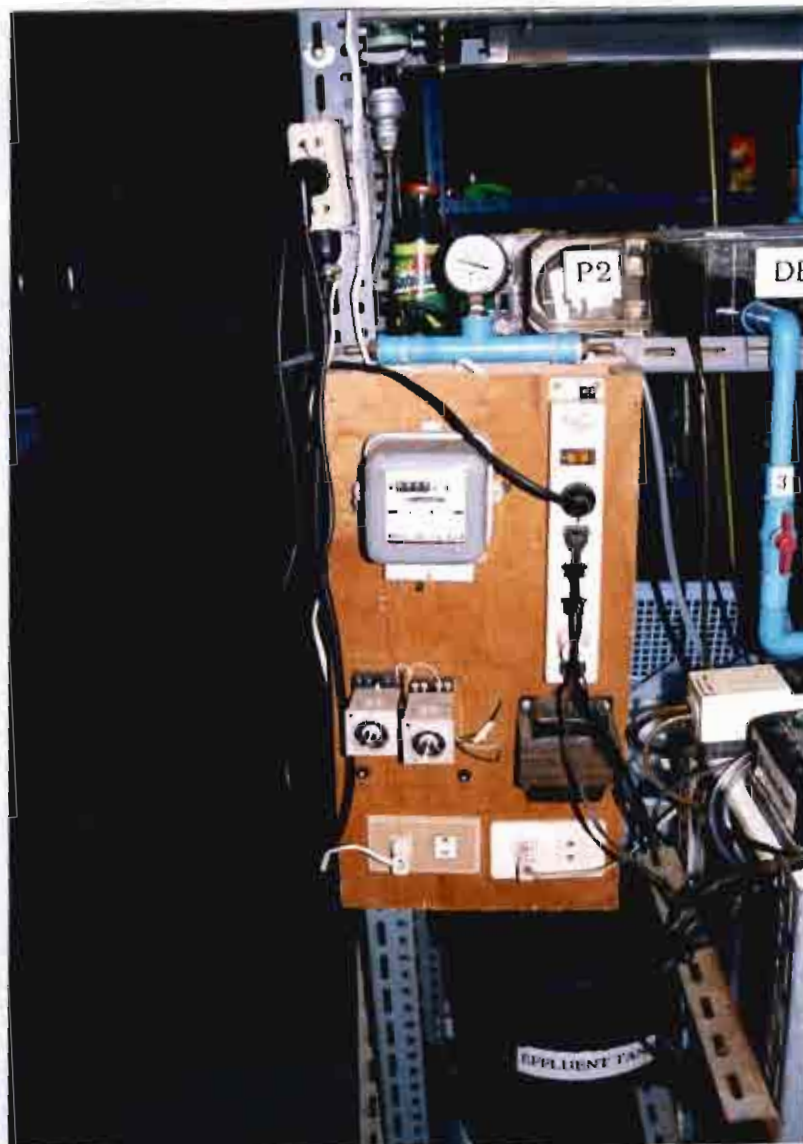
เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ และเครื่องสูบน้ำออกจากระบบ ถูกควบคุมให้สูบลับกับหยุดสูบลบทุก ๆ 10 นาที โดยเดินเครื่องพร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง เพื่อลดการสะสมของเชื้อที่ผิวหน้าแผ่นเยื่ออย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องสูบลบในช่วงแรก (ตั้งแต่ ส.ค. 2544 ถึง ก.พ. 2545) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยไอซี (Integrate Circuit) หลายตัวในการควบคุม แต่เนื่องจากมีความซับซ้อนบริเวณที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ทำให้เกิดปัญหาการควบคุมอยู่เป็นระยะ ๆ ดังนั้นในช่วงหลัง (ตั้งแต่ ก.พ. 2545 ถึง พ.ย. 2545) จึงใช้อุปกรณ์หน่วงเวลา (Timer Relay) ยี่ห้อ OMRON รุ่น H3BA จำนวน 2 ตัวประกอบเข้าชุดกันควบคุมแทน แม้ว่าการหน่วงเวลาจะไม่แม่นยำเท่าอุปกรณ์ชุดเดิม แต่ก็คงทนและไม่เกิดปัญหาในการควบคุมระบบ ชุดควบคุมการทำงานแสดงไว้ในรูปที่ 3-6

3.4.14 มิเตอร์ไฟฟ้า

เป็นมิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น MF-63E ใช้วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละวัน มีหน่วยที่วัดได้เป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง



รูปที่ 3-5 ถังเก็บน้ำเสียและถังรองรับน้ำทิ้ง



รูปที่ 3-6 แผงควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ของการวิเคราะห์ แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3-4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์เป็นไปตามหนังสือ “Standard Method for Examination of Water and Wastewater” และหนังสือคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย (มั่นสิน ตันกุลเวศม์ 2538) แสดงไว้ในตารางที่ 3-5

พารามิเตอร์อื่นๆ ที่จัดบันทึกทุกวัน ได้แก่ หน่วยของมิเตอร์ไฟฟ้า ความดันผ่านเมมเบรน (Transmembrane Pressure) และ อัตราการไหลของน้ำเพอมีเอต

พารามิเตอร์อื่นๆ ที่ทำการวิเคราะห์ หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองที่ 2 และ 3 เพื่อเปรียบเทียบผลของอายุสัปดาห์ที่มีต่อกลไกการกำจัด ได้แก่ อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate) อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate) อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate) อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate) อัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ (Specific Oxygen Uptake Rate) ขนาดอนุภาค (Particle Size) พีคอนเทน (วิเคราะห์หลังการทดลองที่ 1 ด้วย) และการบ่งชี้ชนิดของแบคทีเรียในระบบด้วยวิธีการฟิช (Fluorescent *in situ* Hybridization, FISH) ซึ่งโพรบที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติของโพรบที่ใช้ในการทดลอง

Probe	Sequence (5'-3')	rRNA target site	Specificity
PAO(mix)	CCGTCATCTACWCAGGGTATTAAC	16S,462-485	PAO-cluster
	CCCTCTGCCAAACTCCAG	16S,651-668	PAO-cluster
	GTTAGCTACGGCTAAAAGG	16S,846-866	PAO-cluster
GAM42	GCCTTCCCACATCGTTT	23S,1027-1043	gamma Proteobacteria
BET42	GCCTTCCCACATCGTTT	23S,1027-1044	beta Proteobacteria
ALF968	GGTAAGGTCTGCGCGTT	16S,968-985	alpha Proteobacteria
PAE997	TCTGGAAAGTTCTCAGCA	16S,997-1014	Pseudomonas spp.
NIT3	CCTGTGCTCCATGCTCCG	16S,1035-1052	Nitrobacter spp.
Nso190	CGATCCOCTGCTTTTCTCC	16S,189-207	betaproteobacterial ammonia-oxidizing bacteria

ตารางที่ 3-4 จุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง				
	น้ำเสียเข้า	ส่วนแอนนอกซิก	ส่วนแอนแอโรบิก	ส่วนแอโรบิก	น้ำทิ้ง
พีเอช	ก	ก	ก	ก	ก
ออกซิเจนละลาย	-	ก	ก	ก	-
อุณหภูมิ	ก	ก	ก	ก	ก
ซีไอดี	ข ^(e)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข
ทีเคเอ็น	ข ^(e)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข
ไนโตรเจน	ข ^(e)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข
ไนเตรต	ข ^(e)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข
ฟอสฟอรัส	ข ^(e)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข ^(f)	ข
เอสวี30	-	-	-	ก	-
เอ็มแอลเอสเอส	-	ข	ข	ข	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	ข	ข	ข	-
เอสเอส	ค	-	-	-	ค
กรดไขมันระเหย	-	ค	ค	-	-
พีเอชเอ	-	ง	ง	ง	-

หมายเหตุ	ก	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ทุกวัน
	ข	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ 3 ครั้งต่อสัปดาห์
	ค	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ 1 ครั้งต่อสัปดาห์
	ง	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ ช่วงหลังการทดลองที่ 2 และ 3
	(e)	วิเคราะห์โดยไม่กรองตัวอย่าง
	(f)	วิเคราะห์โดยกรองตัวอย่าง

ตารางที่ 3-5 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	pH meter with glass electrode
ออกซิเจนละลาย	DO meter
อุณหภูมิ	Thermometer
ซีโอดี	Close reflux titration method
ทีเคเอ็น	Kjedahl method
แอมโมเนีย	Titration method
ไนไตรต์	NED Colorimetric method
ไนเตรต	UV-Spectrophotometer method
ฟอสฟอรัส	Vanadomolybdate acid method
เอสวี30	Gravimetric method
เอ็มแอลเอสเอส	filtration and drying at 103°C
เอ็มแอลวีเอสเอส	filtration and drying at 103°C and 550°C
เอสเอส	filtration and drying at 103°C
กรดไขมันระเหย	Dilution method

3.6 การดูแลรักษาระบบ

การดูแลรักษาระบบประกอบด้วย การทำความสะอาดอุปกรณ์ การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และการดูแลทำความสะอาดแผ่นเยื่อ

การทำความสะอาดอุปกรณ์

- ทำความสะอาดถังเก็บน้ำเสียทุกวัน ก่อนเตรียมน้ำเสีย
- ทำความสะอาดขวดเก็บตัวอย่างก่อน เก็บตัวอย่างในแต่ละวัน
- ใช้แปรงขัดสไลด์ที่ติดบริเวณขอบถึงในส่วนเติมออกซิเจน เมื่อมีการสะสมตัวหนาขึ้น
- เปลี่ยนสายยางของเครื่องสูบน้ำเสียเข้า เมื่ออัตราการสูบน้ำเสียเข้าลดลง

การซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

- เปลี่ยนสายยางซิลิโคน ของเครื่องสูบน้ำเสียสไลด์ (P2)
- เติมน้ำมันหล่อลื่น และจารบีให้แก่ เครื่องกวน (M1,M2) และเครื่องอัดอากาศ (AC)

การดูแลทำความสะอาดแผ่นเยื่อ

กำหนดเวลาที่จะทำความสะอาดแผ่นเยื่อขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่อุดตันในแผ่นเยื่อ ซึ่งสังเกตได้จากค่าความดันผ่านแผ่นเยื่อที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน

- การทำความสะอาดแผ่นเยื่อด้วยน้ำประปา โดยเอาแผ่นเยื่อออกจากถังปฏิกรณ์ แล้วฉีดพ่นด้วยน้ำประปาไปตามเส้นใยของแผ่นเยื่อ โดยเฉพาะบริเวณขอบของแผ่นเยื่อ ซึ่งมีสัณฐานสมออยู่มากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งในช่วงการทดลองที่ 1 และ 2 จะต้องทำการล้างแผ่นเยื่อด้วยน้ำประปาอาทิตย์ละครั้ง แต่ในการทดลองที่ 3 เมื่อดำเนินระบบมาได้ 400 วันจะต้องล้างแผ่นเยื่อด้วยน้ำประปาทุกวัน เนื่องจากความต้านทานถาวร (Irreversible Resistance) ที่เกิดขึ้นในแผ่นเยื่อ
- การทำความสะอาดแผ่นเยื่อด้วยสารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดเป็นสารละลายผสมระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2% โดยปริมาตร และโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) 1.2% โดยปริมาตร ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

3.7 การควบคุมระบบ

3.7.1 การควบคุมอัตราการแบ่งน้ำเสีย

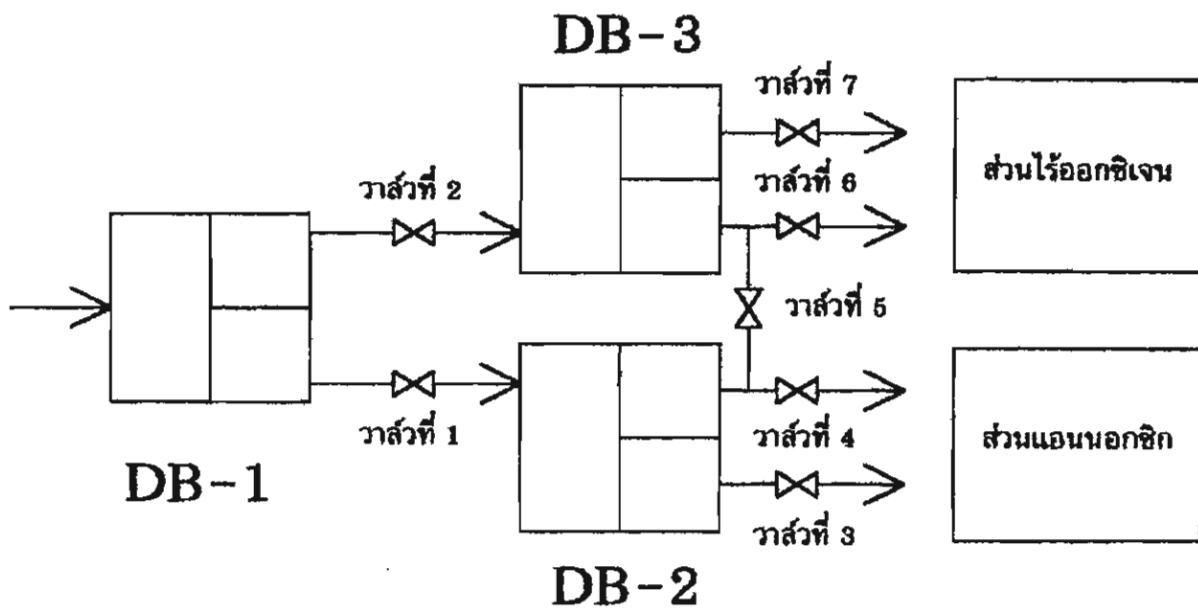
ในงานวิจัยน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเดิมเข้าส่วนแอนน็อกซิก ส่วนที่เหลือเดิมเข้าส่วนไร้ออกซิเจน แล้วทั้งหมดไหลรวมกันเข้าส่วนเดิมออกซิเจน แต่เนื่องจากเครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบมีเพียงเครื่องเดียว จึงได้จัดสร้างกล่องแบ่งน้ำเสียขึ้น (รายละเอียดอุปกรณ์ แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.4.5) เพื่อใช้แบ่งน้ำเสียเข้าระบบตามที่กำหนดไว้

การทดลองย่อยแต่ละการทดลองมีอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนที่แตกต่างกัน ซึ่งควบคุมได้ด้วยวาล์ว มีรายละเอียดการเปิด ปิดวาล์ว เพื่อควบคุมดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 การควบคุมวาล์วสำหรับแบ่งน้ำเสียเข้าระบบ

การทดลองที่	อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ส่วนแอนน็อกซิก : ส่วนไร้ออกซิเจน	วาล์วเลขที่						
		1	2	3	4	5	6	7
1	25% : 75%	O	O	O	C	O	O	O
2	75% : 25%	O	O	O	O	O	C	O
3	75% : 25%	O	O	O	O	O	C	O

O - เปิดวาล์ว , C - ปิดวาล์ว



รูปที่ 3-7 อุปกรณ์แบ่งน้ำเสีย และวาล์วที่ใช้ในการควบคุม

3.7.2 การควบคุมอายุสลัดจ์ จากสมการ

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + Q_e X_e} \quad (3-1)$$

เมื่อ	θ_c	คือค่าอายุสลัดจ์ (วัน)
	V	คือปริมาตรของระบบ (ลิตร)
	X	คือค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ในระบบ (มก./ล.)
	Q_w	คือค่าอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ (ลิตร/วัน)
	X_r	คือค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)
	Q_e	คืออัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (ลิตร/วัน)
	X_e	คือค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ในน้ำทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)

เนื่องจากแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชันสามารถกักสลัดจ์ไม่ให้ออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้ $X_e \cong 0$ และสลัดจ์ส่วนเกินระบายออกจากถังปฏิกรณ์โดยตรงทำให้ $X = X_r$ ดังนั้น

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w} \quad (3-2)$$

หรือ

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad (3-3)$$

ปริมาตรของระบบ (V) มีค่าคงที่เท่ากับ 90 ลิตร ฉะนั้นจึงสามารถควบคุมค่าอายุสลัดจ์ ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ แต่เนื่องจากเอ็มแอลเอสเอสใน แต่ละส่วนไม่เท่ากัน จึงทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากทุกส่วน โดยอัตราการทิ้งสลัดจ์ในแต่ละส่วนขึ้นอยู่กับปริมาตรของส่วนนั้น ๆ ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 อายุสลัดจ์กับอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน

อายุสลัดจ์ (วัน)	อัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน (ลิตรต่อวัน)			
	ส่วนแอนนออกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	รวมทั้งหมด
40	0.50	0.50	1.250	2.250
80	0.25	0.25	0.625	1.125

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ลำดับการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2544 งานที่ทำในช่วงแรกคือการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับประกอบถังปฏิกรณ์ และระบบควบคุมทางไฟฟ้า การสอบเทียบเครื่องสูบน้ำ และส่งข้อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

เมื่อดำเนินการประกอบถังปฏิกรณ์ และระบบควบคุมทางไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ในวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2544 จึงได้นำเชื้อจุลชีพจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของกรุงเทพมหานคร ที่ยานนาวา ปริมาตร 60 ลิตร มาเริ่มเดินระบบ (Start-Up) เริ่มแรกที่เลี้ยงเชื้อได้เลี้ยงแบบทีละเท (Batch) เป็นระยะ 10 วัน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ป้อนให้แก่ระบบ เพื่อให้เชื้อได้ปรับตัวกับน้ำเสียก่อน โดยเชื้อที่ใช้เริ่มเดินระบบมีค่าเอ็มแอลเอสเอสประมาณ 3,000 มก./ล. จากนั้นเลี้ยงเชื้อต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 เดือน วิเคราะห์ค่าเอ็มแอลเอสเอสได้ประมาณ 4,500 มก./ล. จึงเริ่มเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous)

การทดลองเริ่มต้น (Initial Run) ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 80 วัน มีอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนเท่ากับ 25% ต่อ 75% ดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2544 ถึงวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2545 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 200 วัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 93% แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวมีเพียง 28% ซึ่งน้อยกว่าที่คาดการณ์เอาไว้ (70%) ดังนั้นในการทดลองที่ 1 จึงลดค่าอายุสลัดจ์เป็น 40 วัน เพื่อเพิ่มอัตราการระบายฟอสฟอรัสออกจากระบบเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส

การทดลองที่ 1 ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน และยังคงรักษาอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนไว้เท่ากับ 25% ต่อ 75% ดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 (เริ่มเก็บค่าพารามิเตอร์ วันที่ 18 กุมภาพันธ์) ถึงวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2545 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 67 วัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 95% และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 90 % ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จึงควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน เท่ากับการทดลองที่ 2 และปรับอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนให้เท่ากับ 75% ต่อ 25% เพื่อเปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด

การทดลองที่ 2 ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน มีอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนเท่ากับ 75% ต่อ 25% ดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 8 เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 50 วัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพของ

ระบบในการกำจัดไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 98% และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 90 %

เมื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองที่ 2 เพียงพอแล้ว ยังคงควบคุมระบบไว้เพื่อวิเคราะห์อัตราการเกิดกลไกการกำจัดต่างๆ ของระบบที่อายุสัปดาห์ 40 วัน ได้แก่ อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate) อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate) อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีนิตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate) และ อัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ (Specific Oxygen Uptake Rate) รวมทั้งขนาดอนุภาค และการบ่งบอกประเภทของแบคทีเรียในระบบด้วยวิธีการฟิช (Fluorescence *in situ* Hybridization, FISH) ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2545 จนถึงวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งการบ่งชี้ประเภทของแบคทีเรียในระบบด้วยวิธีการฟิชนี้ได้ทำการทดลองที่ ห้องปฏิบัติการ Gene. Tech. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ (Phosphorus Content) ของจุลชีพในการทดลองเริ่มต้น ซึ่งเท่ากับ 5.7% กับการทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งเท่ากับ 7.6 และ 8.4% พบว่าขัดแย้งกับการทดลองของ Wentzel และคณะ (1988 อ้างโดย WEF, 1998) ที่ว่าเมื่อค่าอายุสัปดาห์สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์สูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าในการทดลองเริ่มต้นนั้น ระบบยังไม่สามารถเลี้ยงพีเอไอในระบบให้ได้จำนวนมากเพียงพอ แม้จะดำเนินการเลี้ยงเชื้อมา 200 วันก็ตาม

ดังนั้นหลังจากเก็บค่าอัตราการเกิดกลไกการกำจัดต่างๆแล้ว จึงได้ทำการทดลองเริ่มต้นซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เป็นการทดลองที่ 3 โดยควบคุมอายุสัปดาห์ไว้ที่ 80 วัน มีอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนเท่ากับ 75% ต่อ 25% ดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2545 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 60 วัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 96% และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวสูงกว่า 80 %

ระหว่างการทดลองที่ 3 ได้มีการเติมเชื้อจุลชีพเพิ่มเติมให้แก่ระบบ เนื่องจากจุลชีพในระบบลดลงในช่วงที่ทำการทดลองฟิช เพราะไม่ได้เติมน้ำเสียเข้าระบบ

เชื้อจุลชีพที่ได้นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของห้วงมาบุญครอง เมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2545 ปริมาตร 20 ลิตร เชื้อที่นำมามีสีน้ำตาลแกมดำ มีค่าเอ็มแอลเอสเอส ประมาณ 2,400 มก./ล.

หลังการทดลองยังคงควบคุมระบบไว้ เพื่อวิเคราะห์หาอัตราการเกิดกลไกการกำจัดต่างๆ ของระบบที่อายุสัปดาห์ 80 วัน เช่นเดียวกับที่อายุสัปดาห์ 40 วัน ตั้งแต่วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2545 จนถึงวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545 และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการฟิชแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2545

ตารางที่ 4-1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียด	2544												2545											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
เตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลอง																								
การทดลองเริ่มต้น																								
การทดลองที่ 1																								
การทดลองที่ 2																								
หาค่าจำเพาะของการทดลองที่ 2																								
การทดลองที่ 3																								
หาค่าจำเพาะของการทดลองที่ 3																								

4.2 ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ

4.2.1 พีเอช และสภาพต่าง

ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้มีค่าอยู่ในช่วง 5.03 ถึง 6.55 ซึ่งมีสภาพเป็นกรด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมมาจากกรดอะซิติก (CH_3COOH) แม้จะเติมโซเดียมโบคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบโดยมีสภาพต่างในน้ำเข้าประมาณ 150 มก./ล. ก็ตาม

เมื่อเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบ ที่ส่วนแอนนอนอกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจนทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจากค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ส่วน มีค่าอยู่ในช่วง 6.70 ถึง 7.30 ซึ่งไม่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและการคายฟอสฟอรัสของระบบ โดยค่าสภาพต่างของทั้ง 2 ส่วนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ที่ส่วนเติมออกซิเจนสภาพต่างลดลงประมาณ 80 มก./ล. เนื่องจากถูกใช้ไปในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน แต่พีเอชนั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก การเติมออกซิเจนในระบบ เป็นการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำให้ไปสู่บรรยากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้เป็นส่วนประกอบในระบบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ เมื่อมีการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป จึงเป็นการลดกรดคาร์บอนิกในระบบด้วย (ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2542) พีเอชจึงกลับเพิ่มขึ้น

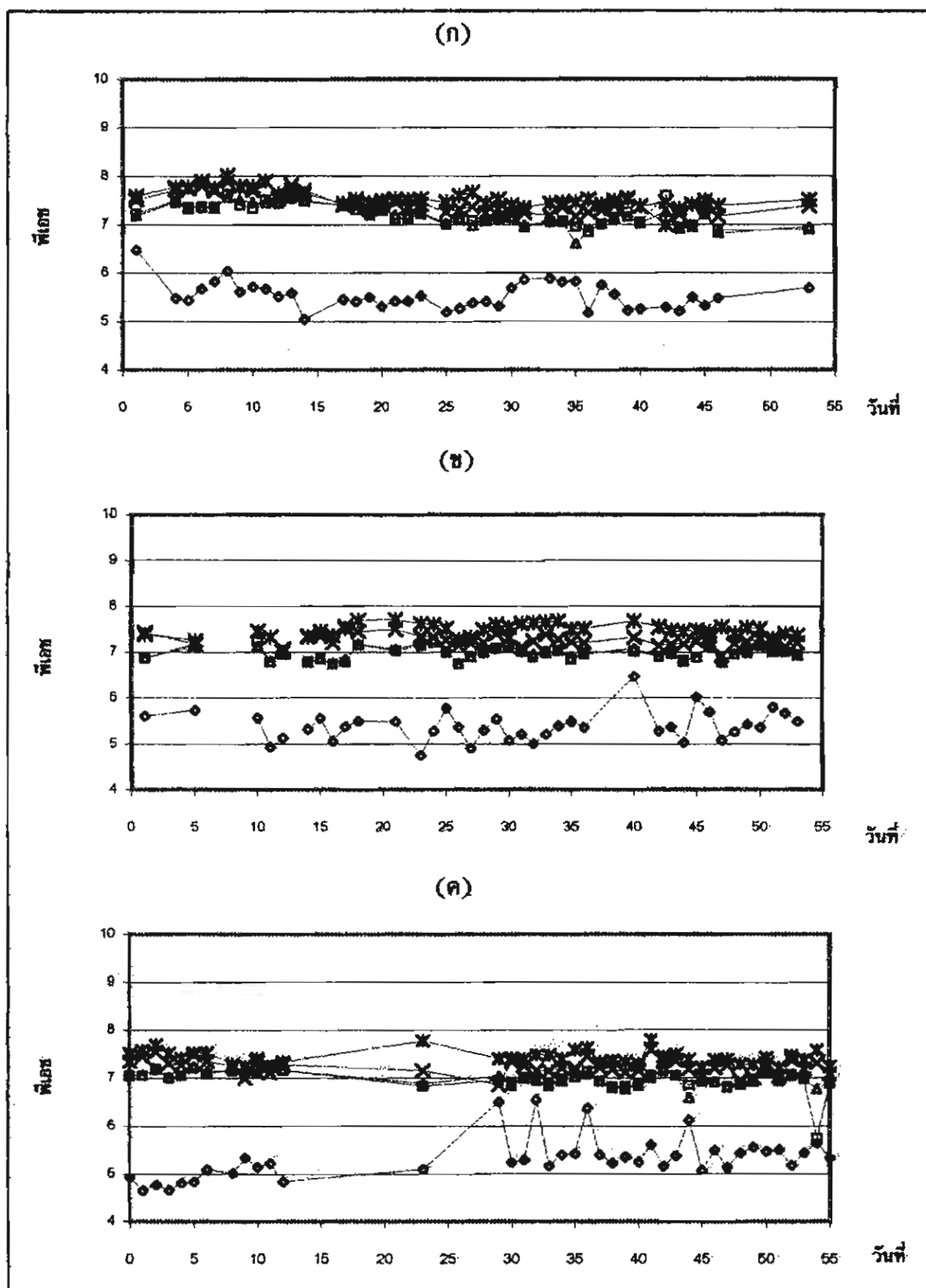
ค่าพีเอชในส่วนเติมออกซิเจนอยู่ระหว่าง 7.10 ถึง 7.60 ซึ่งไม่เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและการจับฟอสฟอรัสของระบบ โดย Liu และคณะ (1996) พบว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับอีบีพีอาร์เท่ากับ 6.8 ± 0.7

ตารางที่ 4-2 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของทุกการทดลอง

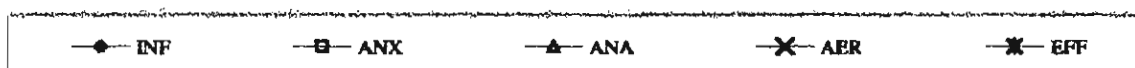
การทดลองที่		น้ำเข้า	ส่วนแอนนอนกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	น้ำออก
1	avg.	5.53	7.12	7.19	7.45	7.55
	N	40	40	40	40	40
	S.D.	0.27	0.18	0.17	0.11	0.13
2	avg.	5.39	6.98	6.99	7.27	7.49
	N	37	37	37	37	37
	S.D.	0.33	0.10	0.11	0.10	0.10
3	avg.	5.35	6.98	6.99	7.24	7.43
	N	39	39	39	39	39
	S.D.	0.44	0.33	0.15	0.17	0.15

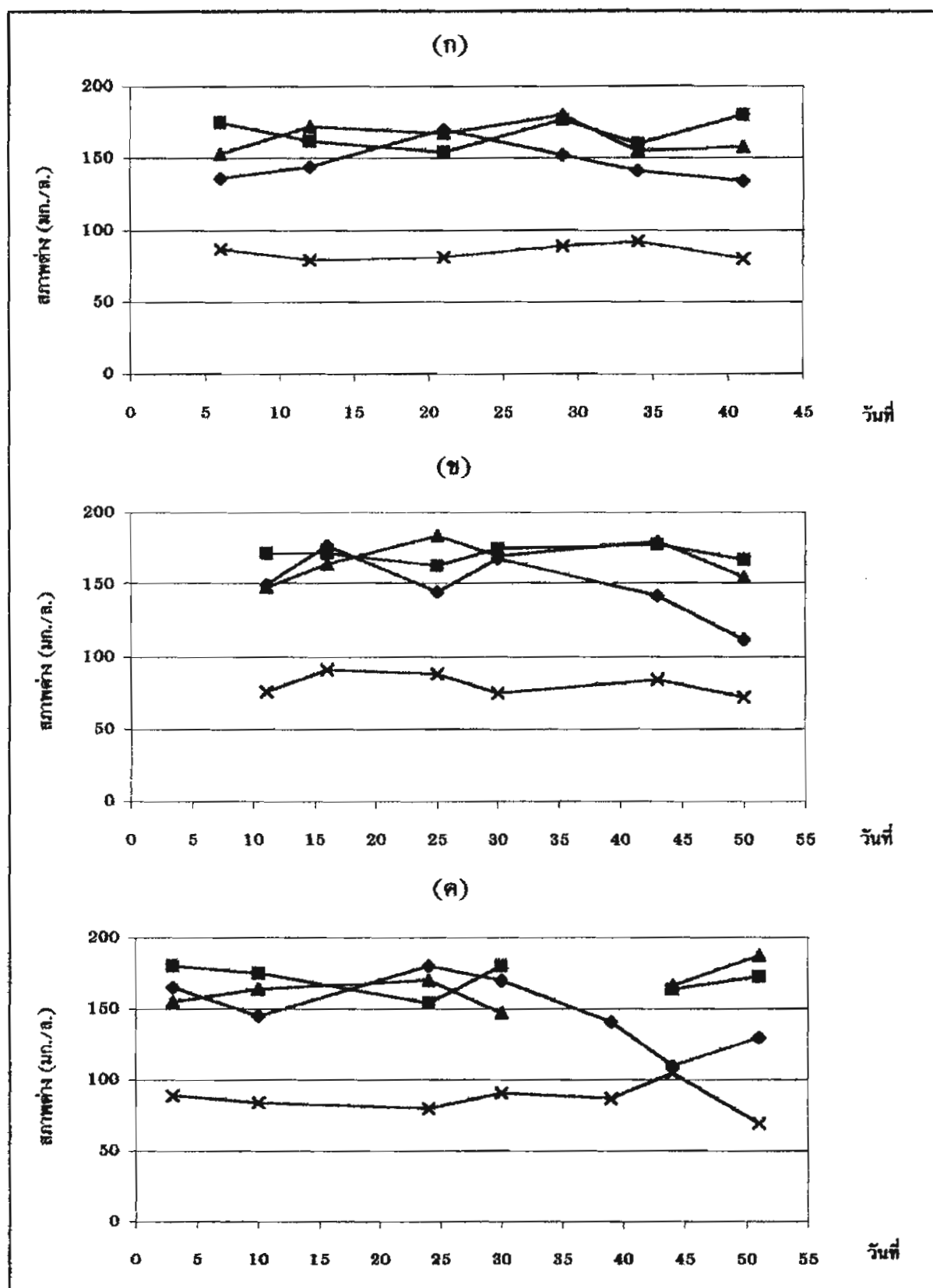
ตารางที่ 4-3 ค่าสภาพต่างในส่วนต่างๆ ของทุกการทดลอง

การทดลองที่		น้ำเข้า (มก./ล.)	ส่วนแอนนอนกซิก (มก./ล.)	ส่วนไร้ออกซิเจน (มก./ล.)	ส่วนเติมออกซิเจน (มก./ล.)
1	avg.	146	168	164	85
	N	6	6	6	6
	S.D.	13.3	10.7	10.7	5.4
2	avg.	149	171	167	81
	N	6	6	6	6
	S.D.	22.7	5.4	14.0	7.8
3	avg.	149	171	165	86
	N	7	6	6	7
	S.D.	24.7	10.3	13.8	10.7

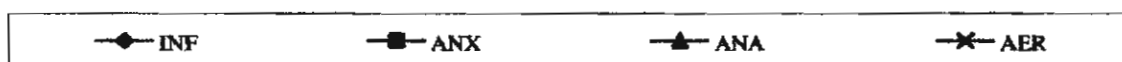


รูปที่ 4-1 พิเชษตลอดทั้งการทดลอง
(ก) การทดลองที่ 1 (ข) การทดลองที่ 2 (ค) การทดลองที่ 3





รูปที่ 4-2 ค่าสภาพต่างตลอดทั้งการทดลอง
(ก) การทดลองที่ 1 (ข) การทดลองที่ 2 (ค) การทดลองที่ 3



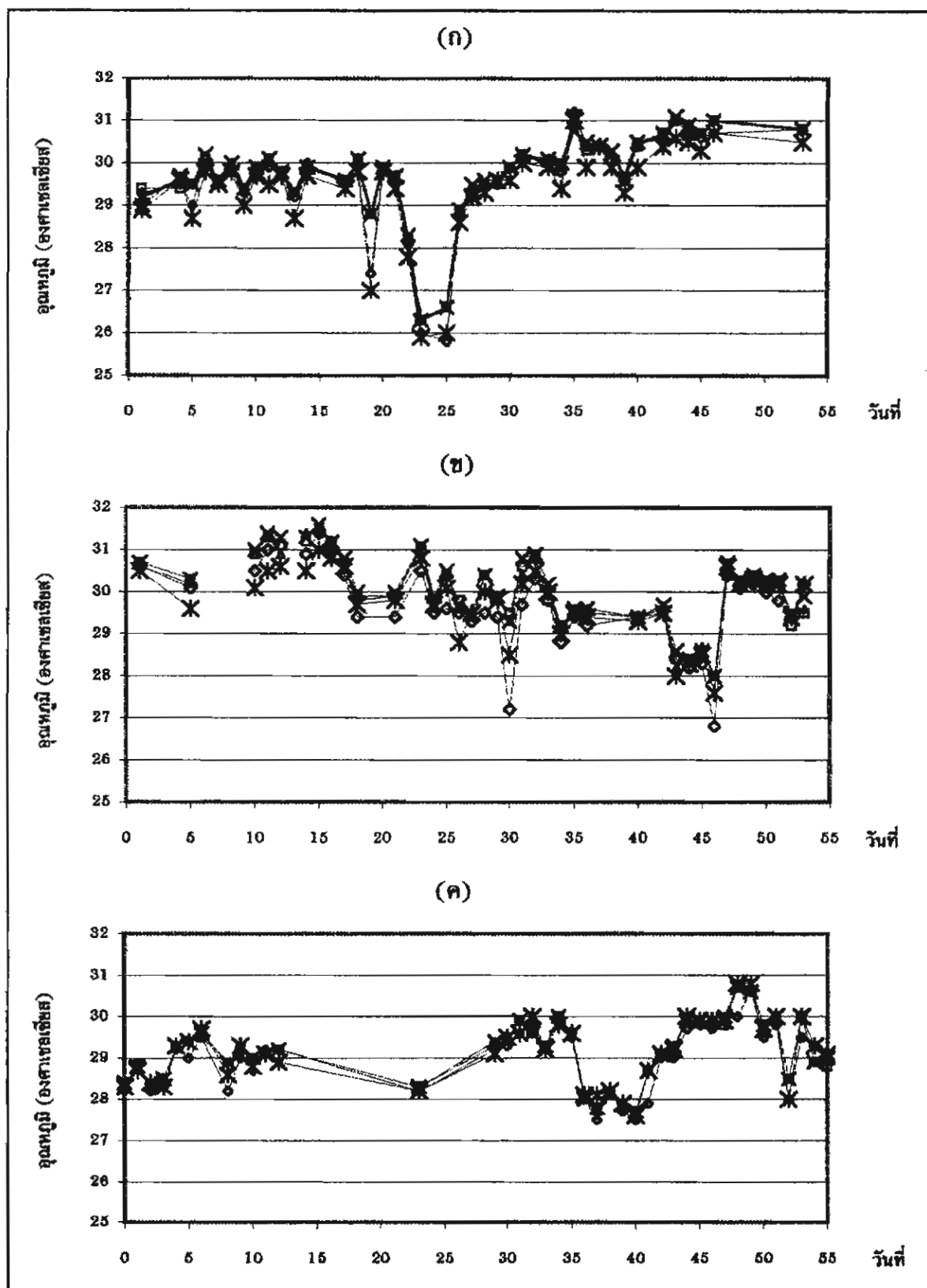
4.2.2 อุณหภูมิ

ในงานวิจัยนี้ได้มีการควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ด้วยอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์จึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิบรรยากาศ ในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 27.7 องศาเซลเซียส ช่วงต้นเดือนตุลาคม 2545 และอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 31.6 องศาเซลเซียส ช่วงปลายเดือนเมษายน 2545 ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยของถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 29 – 30 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วง Mesophilic (Grady และคณะ, 1999) อันเป็นช่วงอุณหภูมิปกติในประเทศไทย ซึ่งจากการทดลองพบว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของระบบ

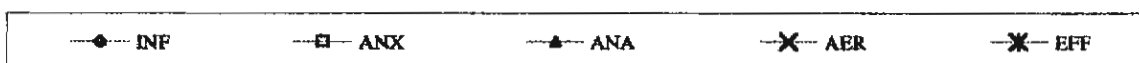
จากตารางที่ 4-4 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้า น้ำออก และในส่วนต่างๆ ของถังปฏิกรณ์นั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยอุณหภูมิ น้ำเข้าและน้ำออกจะต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์เล็กน้อย เนื่องจากภายในถังปฏิกรณ์มีอุปกรณ์เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบแขวนลอยอยู่เสมอ ได้แก่ ใบกวนในส่วนแอนน็อกซิก กับส่วนไร้ออกซิเจน และเครื่องเติมออกซิเจน ในส่วนเติมออกซิเจน อุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวนำความร้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ทำให้ภายในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนน้ำเข้าและน้ำออกนั้นถูกเก็บไว้ในถังพักจึงมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับบรรยากาศมากกว่า

ตารางที่ 4-4 ค่าอุณหภูมิในส่วนต่าง ๆ ของทุกการทดลอง

การทดลองที่		น้ำเข้า °C	ส่วนแอนน็อกซิก °C	ส่วนไร้ออกซิเจน °C	ส่วนเติมออกซิเจน °C	น้ำออก °C
1	avg.	29.6	29.7	29.7	29.8	29.4
	N	40	40	40	40	40
	S.D.	1.13	0.43	0.41	0.45	0.48
2	avg.	29.7	30.0	30.0	30.1	29.8
	N	37	37	37	37	37
	S.D.	1.00	0.75	0.78	0.80	0.90
3	avg.	29.0	29.2	29.2	29.2	29.2
	N	40	40	40	40	40
	S.D.	0.77	0.68	0.67	0.67	0.74



รูปที่ 4-3 อัตราการเต้นหัวใจตลอดทั้งการทดลอง
(ก) การทดลองที่ 1 (ข) การทดลองที่ 2 (ค) การทดลองที่ 3



4.2.3 ออกซิเจนละลาย

จากตารางที่ 4-5 ค่าออกซิเจนละลายในส่วนแอนน็อกซิก และส่วนไร้ออกซิเจนมีค่าประมาณ 0.15 มก./ล. ตลอดทั้ง 3 การทดลอง ซึ่งค่าออกซิเจนละลายดังกล่าวไม่ได้ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน และการคายฟอสฟอรัสของระบบ

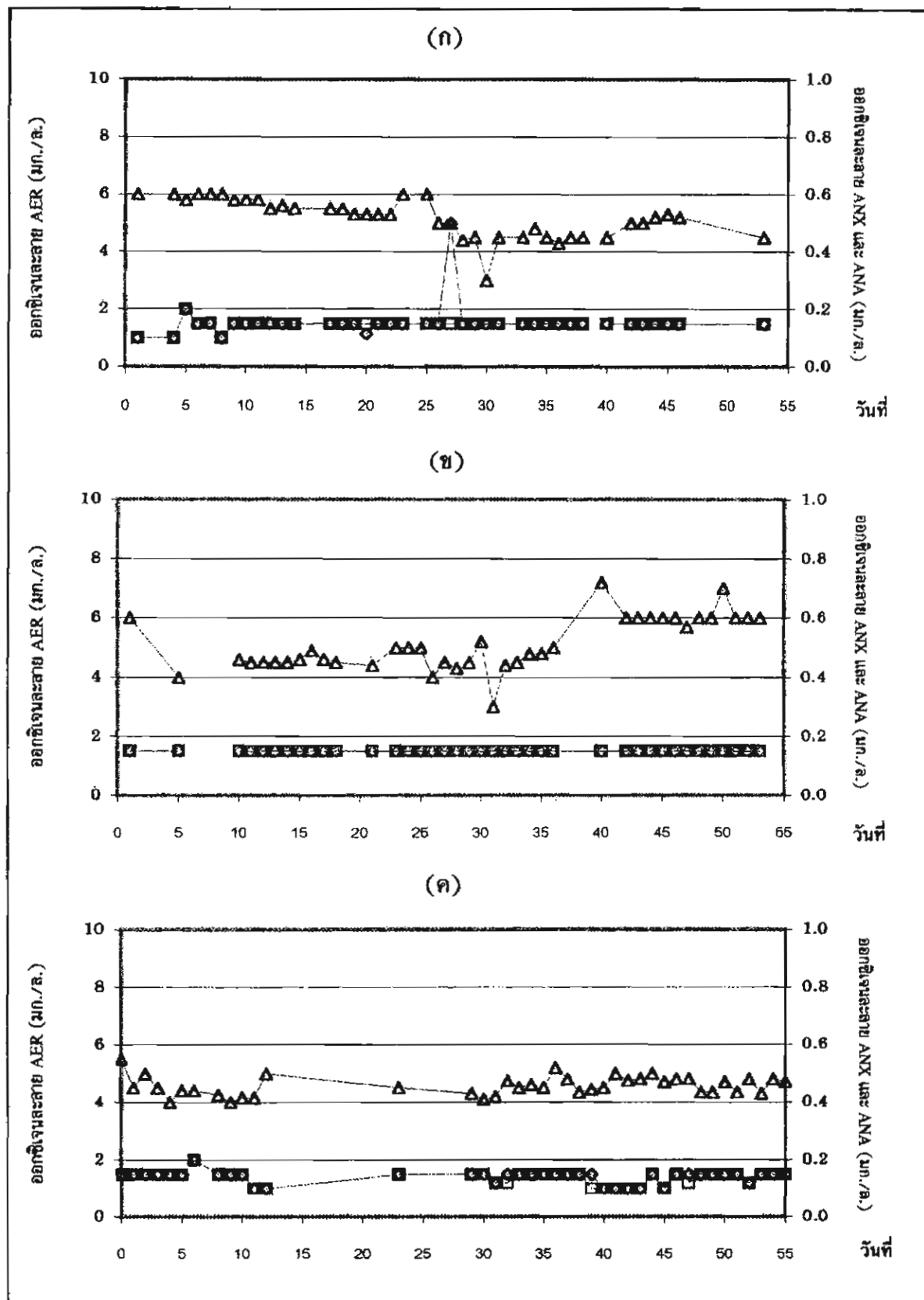
ปริมาณออกซิเจนที่เติมในส่วนเติมออกซิเจน แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเติมด้วยเครื่องอัดอากาศ (AC) ได้ชุดแผ่นเยื่อเพื่อทำให้เกิดการกรองแบบไหลขนานซึ่งมีค่าคงที่อัตราการไหลอากาศ 60 ลิตรต่อนาที และส่วนที่สองจากเครื่องเติมอากาศเพื่อให้จุลชีพแขวนลอยในระบบ

ค่าออกซิเจนละลายในส่วนเติมออกซิเจน มีค่าแตกต่างกันระหว่างการทดลองที่ 2 (อายุสลัดจ์ 40 วัน) และ 3 (อายุสลัดจ์ 80 วัน) เนื่องจากออกซิเจนที่เติมทั้ง 2 การทดลองมีปริมาณคงที่ ซึ่งได้จากเครื่องเติมออกซิเจน และเครื่องอัดอากาศได้ชุดของแผ่นเยื่อ ในขณะที่ปริมาณเชื้อจุลชีพในส่วนเติมออกซิเจนของการทดลองที่ 3 มีค่ามากกว่า และอัตราการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายเซลล์ (respiration) ของจุลชีพจะสูงขึ้นเมื่ออายุสลัดจ์สูงขึ้น ทำให้ออกซิเจนละลายที่เหลือในระบบของการทดลองที่ 3 มีค่าต่ำกว่าการทดลองที่ 2 แม้อัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ (Specific oxygen uptake rate) ของการทดลองที่ 2 ซึ่งเท่ากับ 18.27 มก. O_2 /ก.MLVSS-ชม. สูงกว่าการทดลองที่ 3 ซึ่งเท่ากับ 10.83 มก. O_2 /ก.MLVSS-ชม. ก็ตาม อัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะที่ลดลงเมื่ออายุสลัดจ์เพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Eckenfelder (2000) และ Muller และคณะ (1969)

ค่าออกซิเจนละลายในส่วนเติมออกซิเจนมีค่ามากกว่า 2.0 มก./ล.ในทุกการทดลอง จึงไม่ทำให้เกิดการจำกัดการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Painter, 1977 อ้างโดย Seviour และ Blackall, 1999)

ตารางที่ 4-5 ค่าออกซิเจนละลายในส่วนต่าง ๆ ของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ส่วนแอนน็อกซิก (มก./ล.)	ส่วนไร้ออกซิเจน (มก./ล.)	ส่วนเติมออกซิเจน (มก./ล.)
1	avg.	0.16	0.15	5.18
	N	39	39	39
	S.D.	0.06	0.02	0.67
2	avg.	0.15	0.15	5.12
	N	39	39	39
	S.D.	0	0	0.88
3	avg.	0.14	0.14	4.57
	N	40	40	40
	S.D.	0.02	0.02	0.38



รูปที่ 4-4 ออกซิเจนละลายตลอดทั้งการทดลอง
(ก) การทดลองที่ 1 (ข) การทดลองที่ 2 (ค) การทดลองที่ 3

—△— AEROBIC

—◇— ANOXIC

—□— ANAEROBIC

4.2.4 ของแข็งแขวนลอย

จากตารางที่ 4-6 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองเท่ากับ 100% ทั้งนี้เนื่องจากขนาดรูพรุนของแผ่นเยื่อเท่ากับ 0.4 ไมครอน ซึ่งเล็กกว่ากระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยซึ่งมีขนาด 0.45 ไมครอน ดังนั้นอนุภาคที่ผ่านแผ่นเยื่อออกมากับน้ำทิ้งได้จึงสามารถผ่านกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้

ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าระบบ เกิดจากการหมักของน้ำตาลที่ใช้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ภายในถังเตรียมน้ำเสีย โดยตะกอนที่เกิดขึ้นมีสีขาวขุ่น

ตารางที่ 4-6 ค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลอง

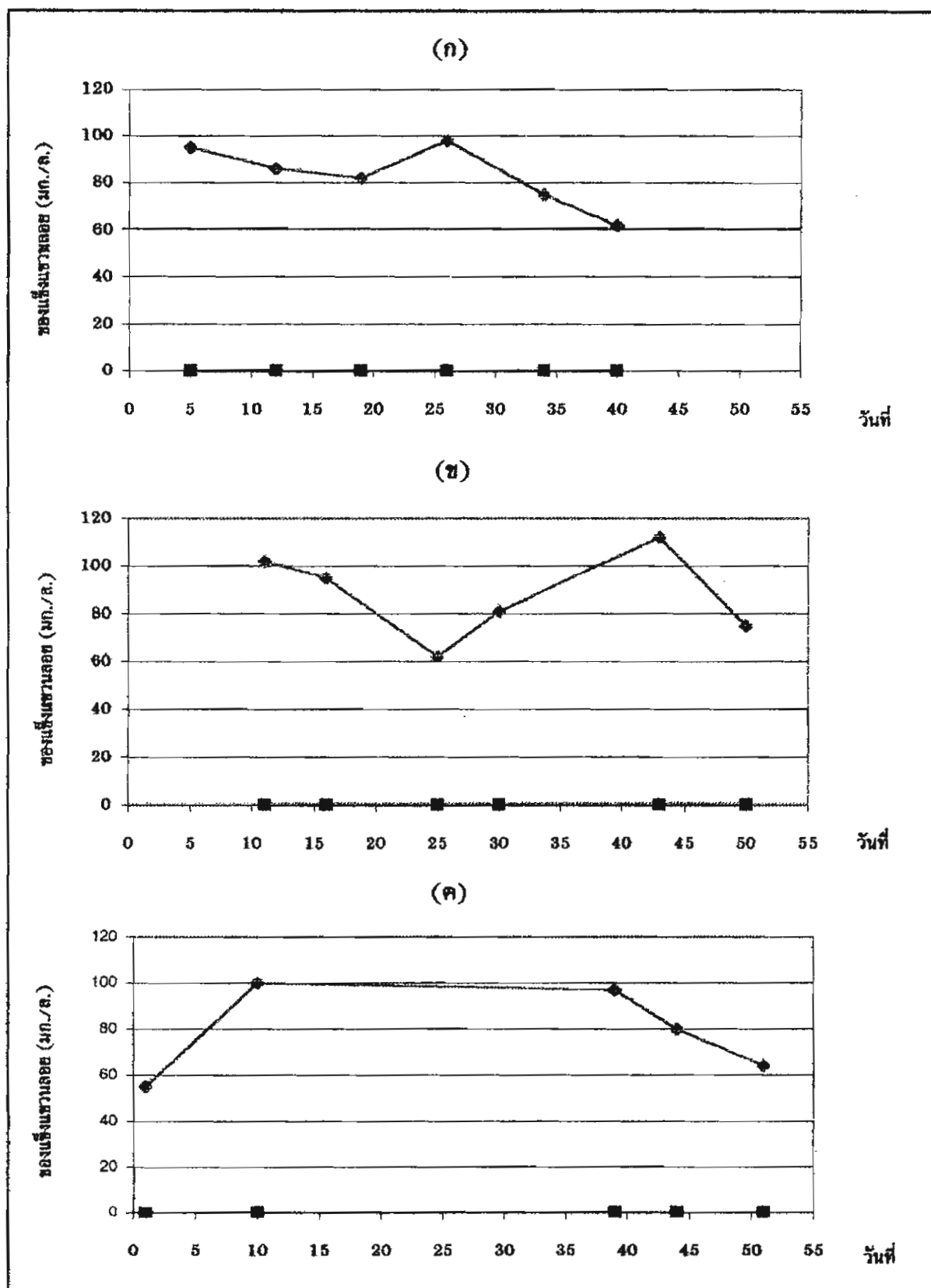
การทดลองที่		น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำออก (มก./ล.)
1	avg.	83	0
	N	6	6
	S.D.	13.3	0
2	avg.	88	0
	N	6	6
	S.D.	18.5	0
3	avg.	79	0
	N	5	5
	S.D.	19.8	0

4.2.5 เอสวีไอ

ค่าเอสวีไอ (Sludge Volume Index, SVI) เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการตะกอนของสลัดจ์ จากการทดลองพบว่า ค่าเอสวีไอของส่วนเติมออกซิเจนอยู่ในช่วง 80 -150 มล./ก. ซึ่งเป็นช่วงที่จุลชีพมีความสามารถในการตกตะกอนระดับปานกลาง (Grady และคณะ, 1999)

เนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองควบคุมค่าอายุสลัดจ์ให้มีค่าสูง ทำให้อัตราส่วนอาหารต่อปริมาณสลัดจ์ (F/M Ratio) มีค่าต่ำ จึงเป็นการส่งเสริมให้แบคทีเรียแบบเส้นใยเกิดขึ้นในระบบได้ง่าย และจากการใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องเชื้อในระบบ พบว่าแบคทีเรียแบบเส้นใยปรากฏอยู่ในทุกส่วนของระบบ

เมื่อวิเคราะห์ชุมชนของแบคทีเรียในระบบด้วยวิธีการพีช พบว่าแบคทีเรียแบบเส้นใยที่ปรากฏในระบบตอบสนองกับโพรบ GAM42 ที่ใช้บ่งชนิดของ gamma Proteobacteria ซึ่งแบคทีเรียแบบเส้นใยที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ Type 021N และ Type 1863 (Seviour และ Blackall, 1999) แต่เนื่องจากแบคทีเรียแบบเส้นใย Type 1863 พบในระบบที่มีอัตราส่วน



รูปที่ 4-5 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดทั้งการทดลอง
(ก) การทดลองที่ 1 (ข) การทดลองที่ 2 (ค) การทดลองที่ 3



อาหารต่อปริมาณสลัดจ์ (F/M) สูง ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลอง ดังนั้นแบคทีเรียแบบเส้นใย Type 021N จึงน่าจะเป็นแบคทีเรียแบบเส้นใยส่วนใหญ่ในระบบ นอกจากนี้แบคทีเรียแบบเส้นใย Type 021N เกิดขึ้นในระบบที่มีการกำจัดธาตุอาหาร และมีอัตราส่วนอาหารต่อปริมาณสลัดจ์ต่ำ (Seviour และ Blackall, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง

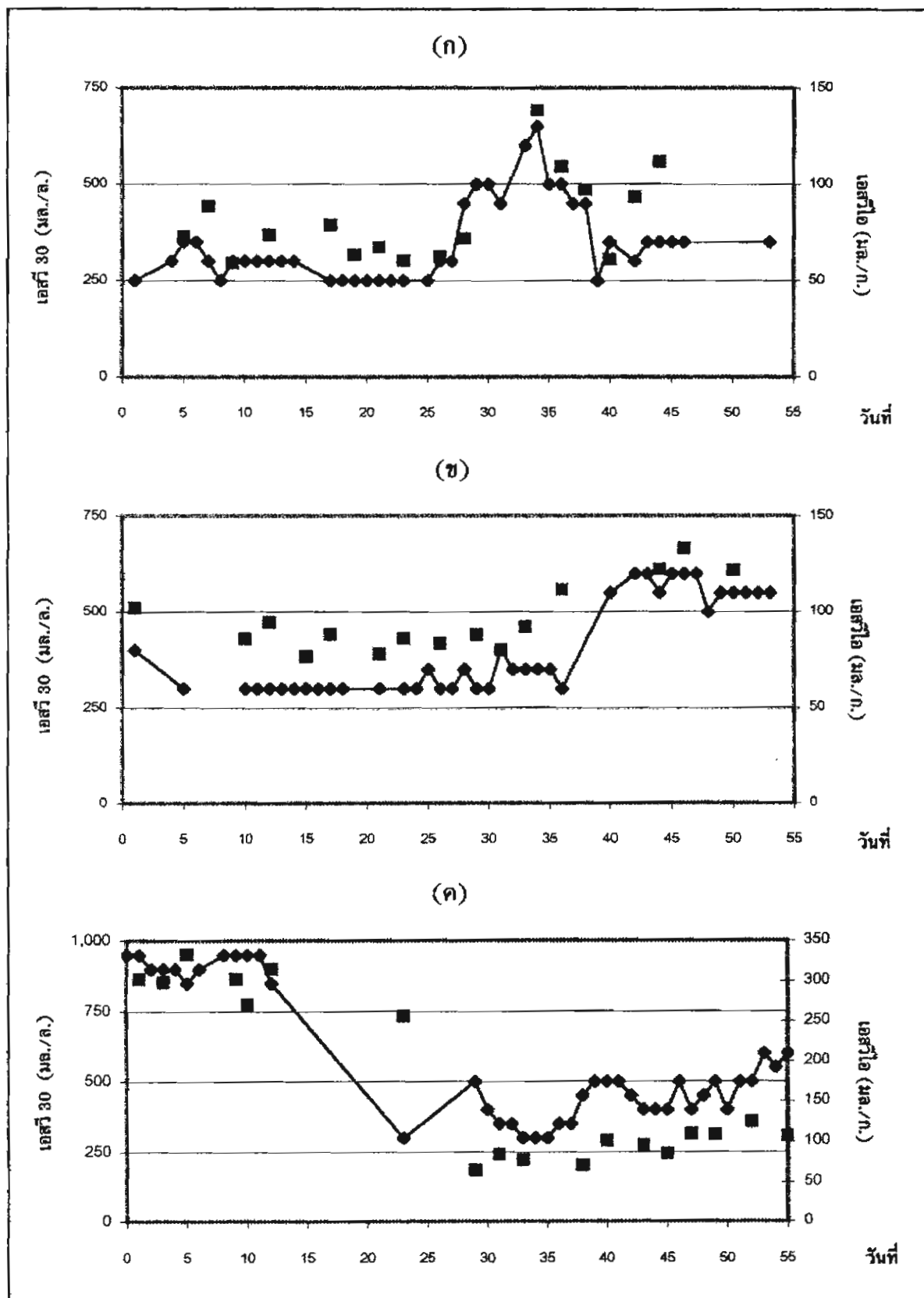
อย่างไรก็ตาม แม้จะพบแบคทีเรียแบบเส้นใยในระบบ แต่ค่าเอสวีไอ และเอสวี 30 ของทุกการทดลองก็มีค่าอยู่ในช่วงปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการสะสมแหล่งคาร์บอนในส่วนแอนน็อกซิก กับส่วนไร้ออกซิเจนของระบบ ซึ่งแบคทีเรียแบบสร้างฟล็อกในระบบมีความเร็วสูงสุดในการเก็บสะสมสารอาหารมากกว่าแบคทีเรียแบบเส้นใย (Van Loosdrecht และคณะ, 1997) นอกจากนี้สภาวะไร้ออกซิเจนในระบบก็จำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบเส้นใยอีกด้วย จึงช่วยควบคุมไม่ให้เกิดสลัดจ์อัดขึ้นในระบบ และแบคทีเรียแบบเส้นใยในระบบยังช่วยประสานระหว่างแบคทีเรียกลุ่มต่างๆในฟล็อก ทำให้ฟล็อกของระบบมีเสถียรภาพ และอาจมีส่วนทำให้ฟล็อกในระบบมีขนาดใหญ่ด้วย

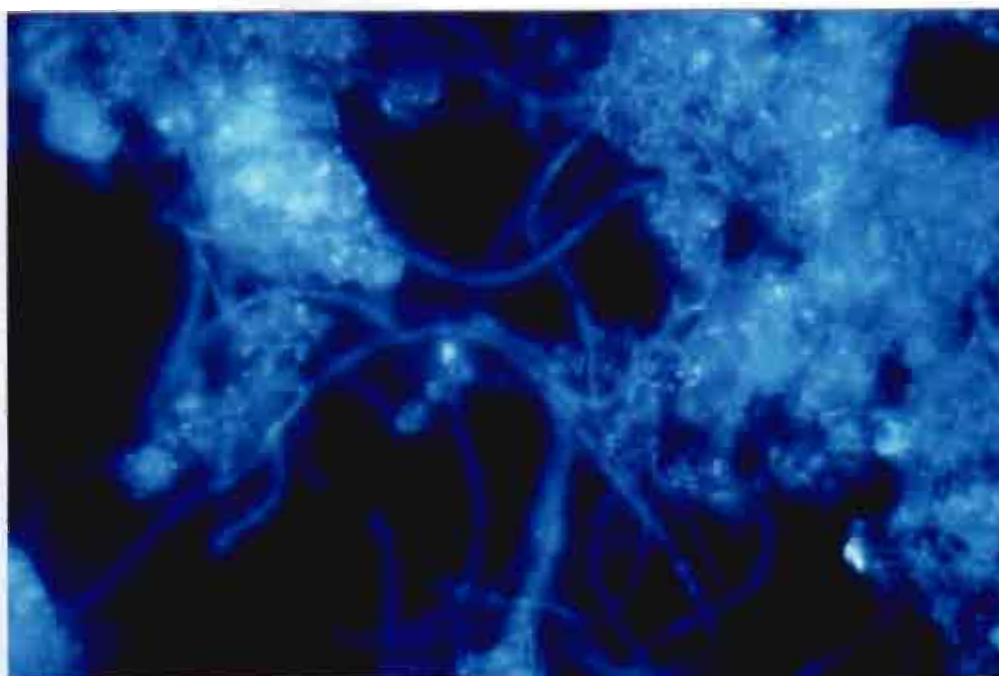
ตารางที่ 4-7 ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอของส่วนเติมออกซิเจน

การทดลองที่		เอสวี 30 มล./ล.	เอสวีไอ มล./ก.
1	avg.	428	98
	N	18	7
	S.D.	105	26
2	avg.	479	107
	N	21	7
	S.D.	118	20
3	avg.	478	105
	N	16	7
	S.D.	68	12

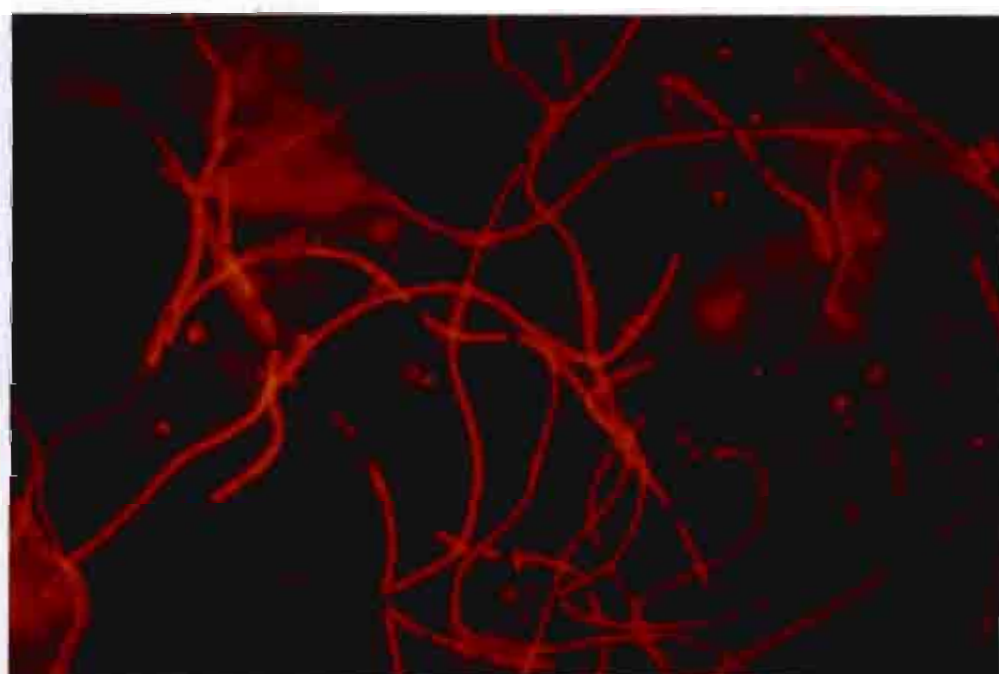
4.3 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ

ในงานวิจัยแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลองย่อย การทดลองที่ 1 และ 2 ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน การทดลองที่ 3 ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 80 วัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อค่าอายุสลัดจ์เพิ่มขึ้นค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) และเอ็มแอลวีเอสเอส (MLVSS) ในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย





(ก)



(ข)

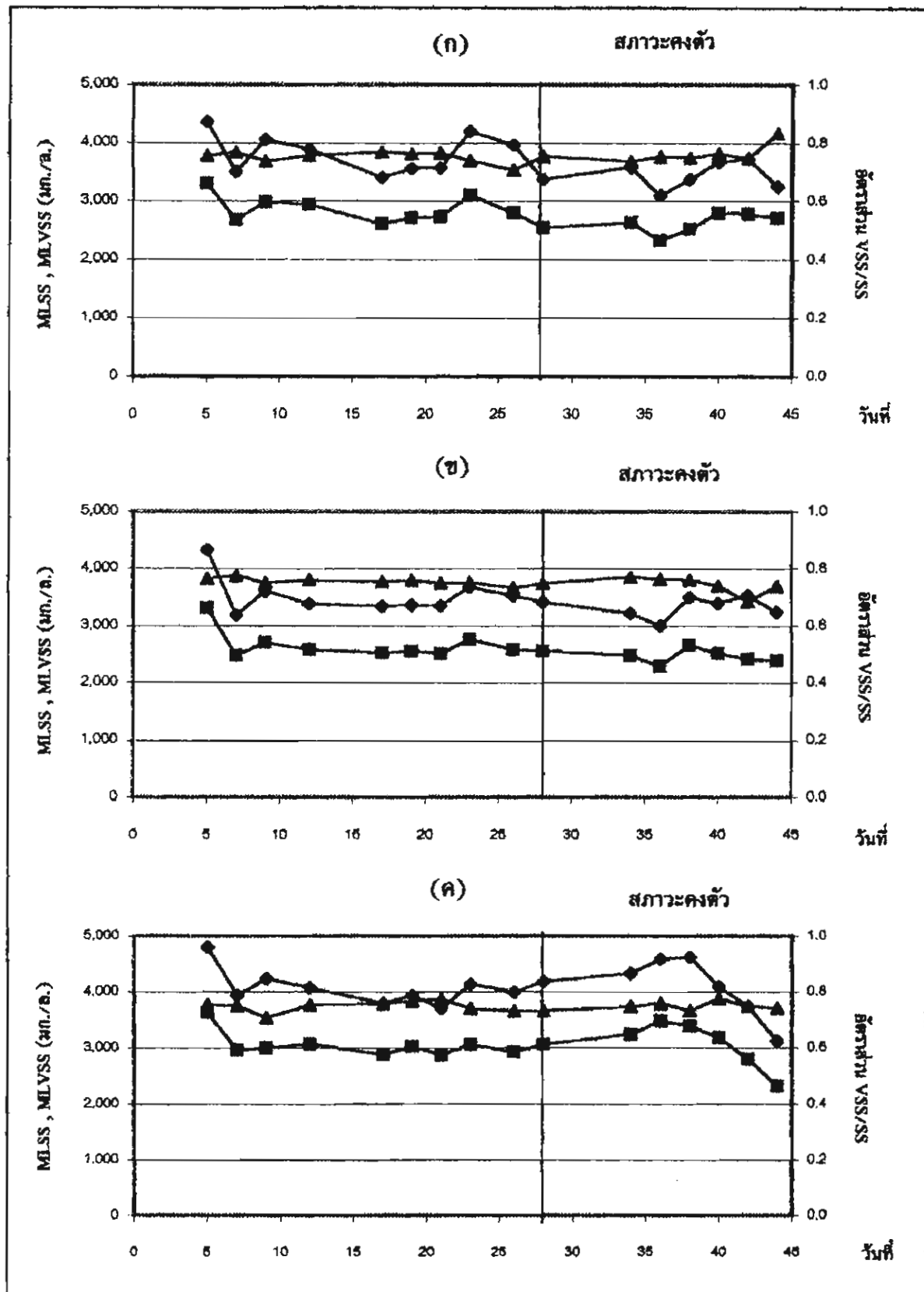
รูปที่ 4-7 การวิเคราะห์ชนิดแบคทีเรียแบบเส้นใยด้วยวิธีฟิช
จุลชีพที่ตอบสนองต่อ DAPI (ข) จุลชีพที่ตอบสนองต่อโพรบ GAM42

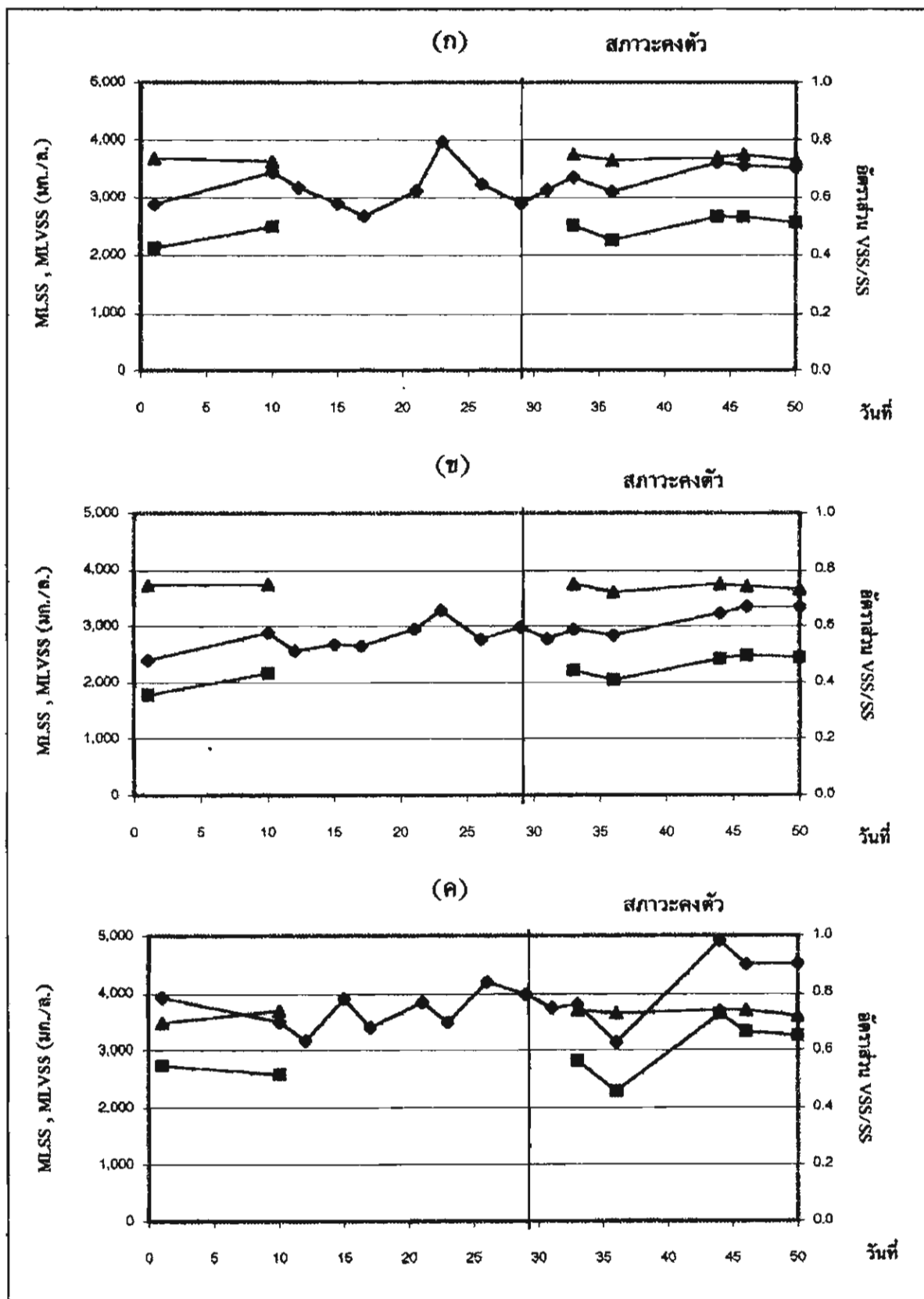
ตารางที่ 4-8 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ส่วนแอนนอกซิก		ส่วนไร้ออกซิเจน		ส่วนเติมออกซิเจน	
		MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)
1	avg.	3,444	2,625	3,330	2,475	4,100	3,073
		VSS/SS = 0.76		VSS/SS = 0.74		VSS/SS = 0.75	
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	230	166	185	119	523	397
2	avg.	3,314	2,540	3,066	2,318	4,084	3,064
		VSS/SS = 0.74		VSS/SS = 0.74		VSS/SS = 0.73	
	N	7	5	7	5	7	5
	S.D.	269	168	238	202	598	569
3	avg.	4,037	3,229	3,675	2,921	4,582	3,611
		VSS/SS = 0.80		VSS/SS = 0.79		VSS/SS = 0.79	
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	294	308	463	443	403	358

จากตารางที่ 4-8 พบว่า ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของส่วนต่าง ๆ ในถังปฏิกรณ์มีค่าที่ไม่เท่ากัน ในส่วนแอนนอกซิกจะมีค่าสูงกว่าส่วนไร้ออกซิเจนเล็กน้อย และส่วนเติมออกซิเจนมีค่าสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับกลไกการกำจัดซีโอไซด์และฟอสฟอรัสของระบบ ซึ่งในส่วนแอนนอกซิก และส่วนไร้ออกซิเจน จุลชีพในระบบจะดึงสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเซลล์ มาเก็บสะสมไว้ในเซลล์ ในอัตราที่สูงกว่าการนำสารอินทรีย์คาร์บอนไปใช้สังเคราะห์เซลล์ (Dionisi และคณะ, 2001) ทำให้ในส่วนแอนนอกซิก และส่วนไร้ออกซิเจนมีอัตราการสังเคราะห์เซลล์ที่ต่ำ ซึ่งในส่วนเติมออกซิเจน จุลชีพที่เก็บกักสารอินทรีย์คาร์บอนไว้ จึงจะใช้สารอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมไว้ในเซลล์สังเคราะห์เซลล์ ดังนั้นการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบส่วนใหญ่ จึงเกิดขึ้นในส่วนเติมออกซิเจน

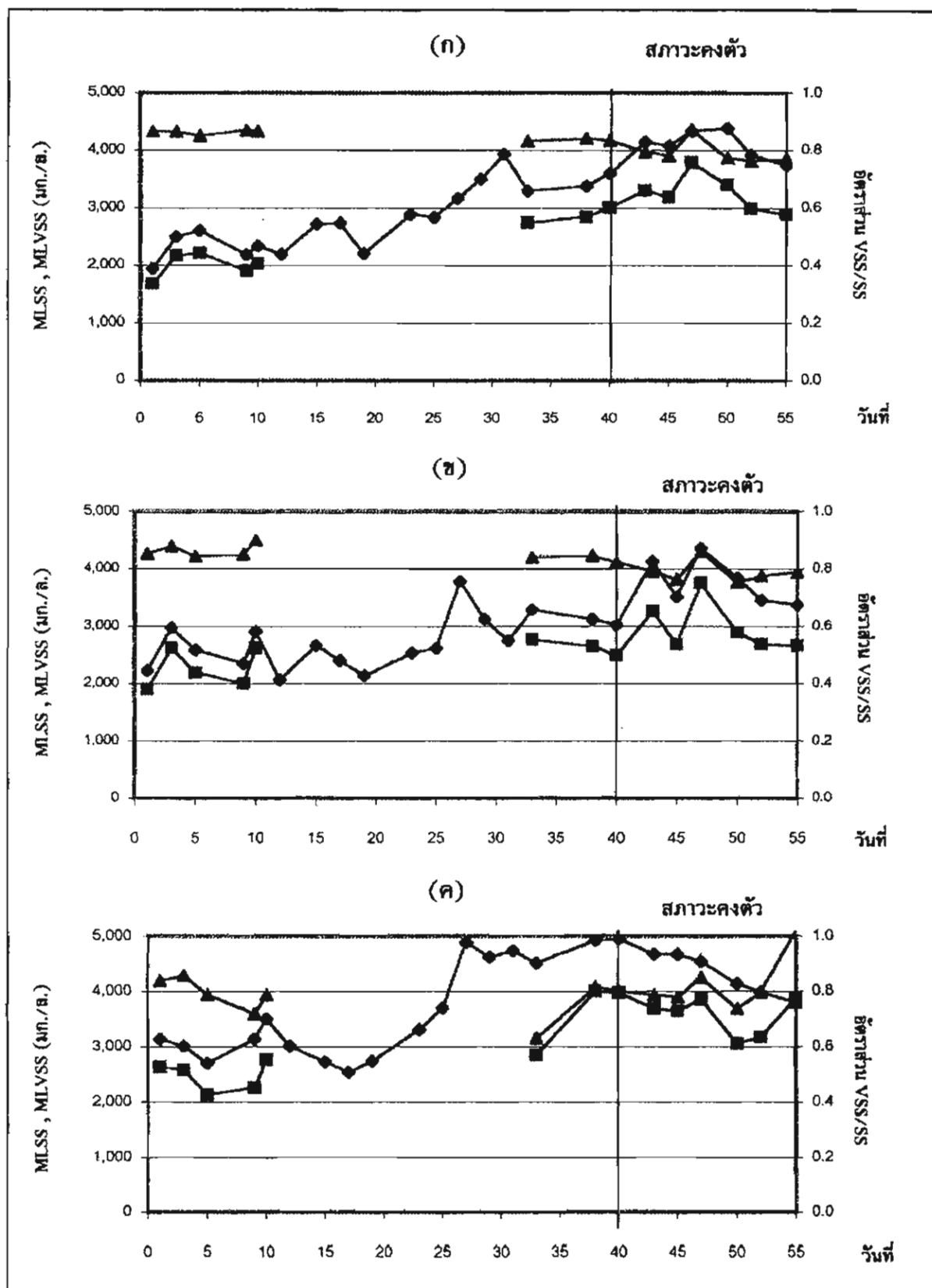
อัตราส่วนวีเอสเอสต่อเอสเอสของระบบ เมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าประมาณ 0.45 แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็น 0.60 0.65 และ 0.70 เมื่อเลี้ยงเชื้อผ่านไปได้ 80 140 และ 200 วันตามลำดับ ในการทดลองที่ 1 และ 2 อัตราส่วนวีเอสเอสต่อเอสเอสมีค่าค่อนข้างคงที่ที่ 0.75 ส่วนในการทดลองที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เป็น 0.79 สอดคล้องกับอัตราส่วนวีเอสเอสต่อเอสเอส ของระบบเอ็มปียาร์ที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้ (Fan และคณะ, 1996 ; Ueda และ Hata, 1999 ; Wagner และ Rosenwinkel, 2000)



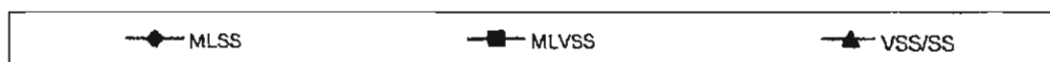


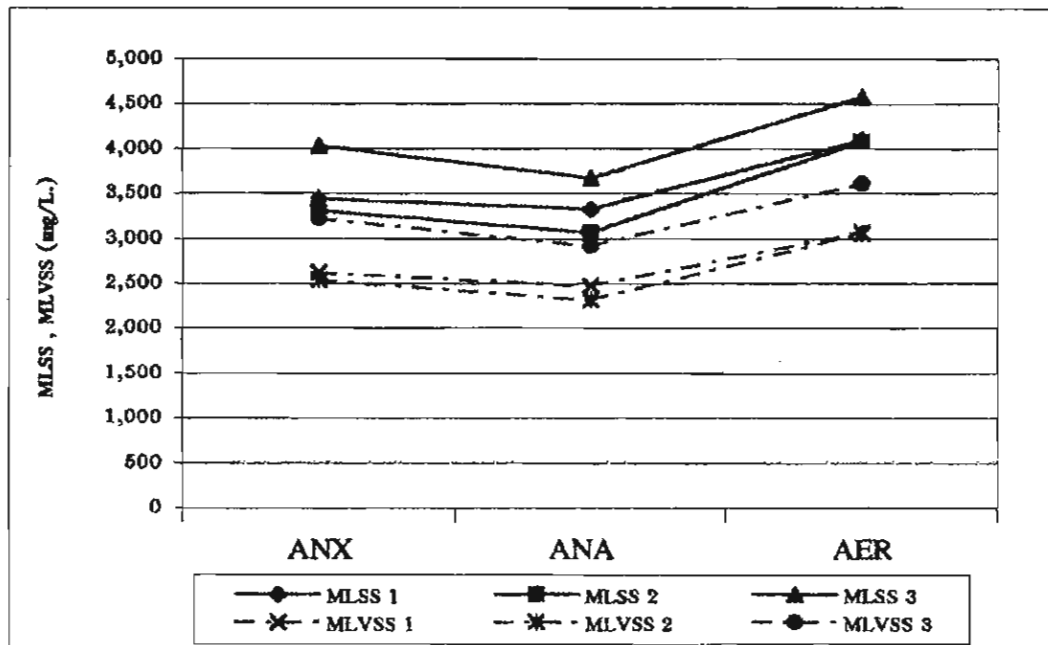
รูปที่ 4-9 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบของการทดลองที่ 2
 (ก) ส่วนแอนนอนอกซิก (ข) ส่วนไร้ออกซิเจน (ค) ส่วนเติมออกซิเจน





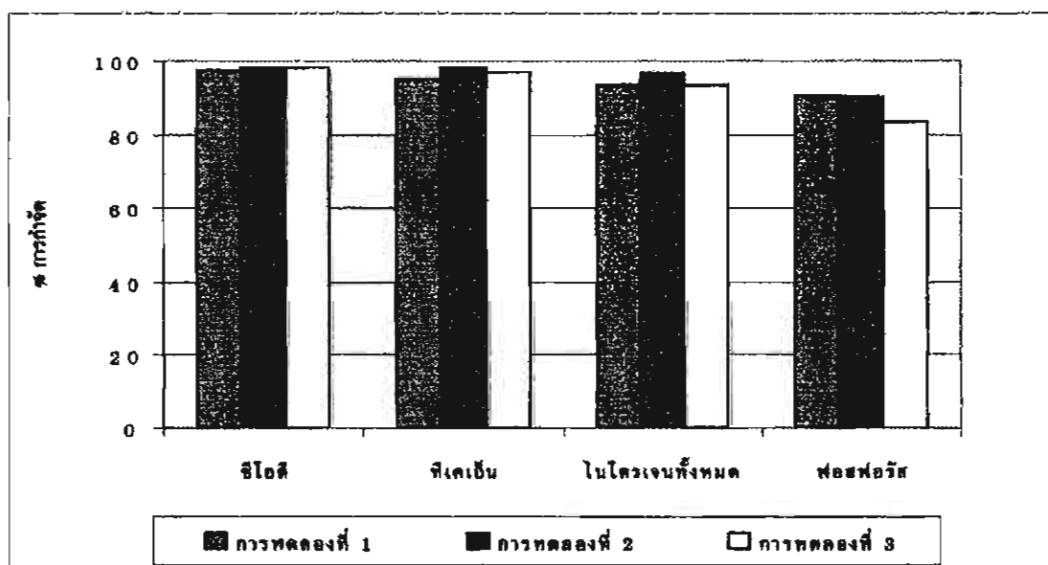
รูปที่ 4-10 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบของการทดลองที่ 3
(ก) ส่วนแอนนอกซิก (ข) ส่วนไร้ออกซิเจน (ค) ส่วนเติมออกซิเจน





รูปที่ 4-11 ค่า MLSS และ MLVSS ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ซึ่งควบคุมอายุสลัดจ์เท่ากันที่ 40 วัน พบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสของการทดลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองที่ 2 มีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำกว่าในการทดลองที่ 1 เพราะมีอัตราการป้อนน้ำเสียและค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงมีสารอินทรีย์ที่จะนำไปใช้สร้างเซลล์ที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัสระหว่างการทดลองต่างๆของระบบที่พัฒนาขึ้นนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนักในแต่ละการทดลอง ทั้งนี้จะได้อธิบายในหัวข้อการกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัสของระบบต่อไป

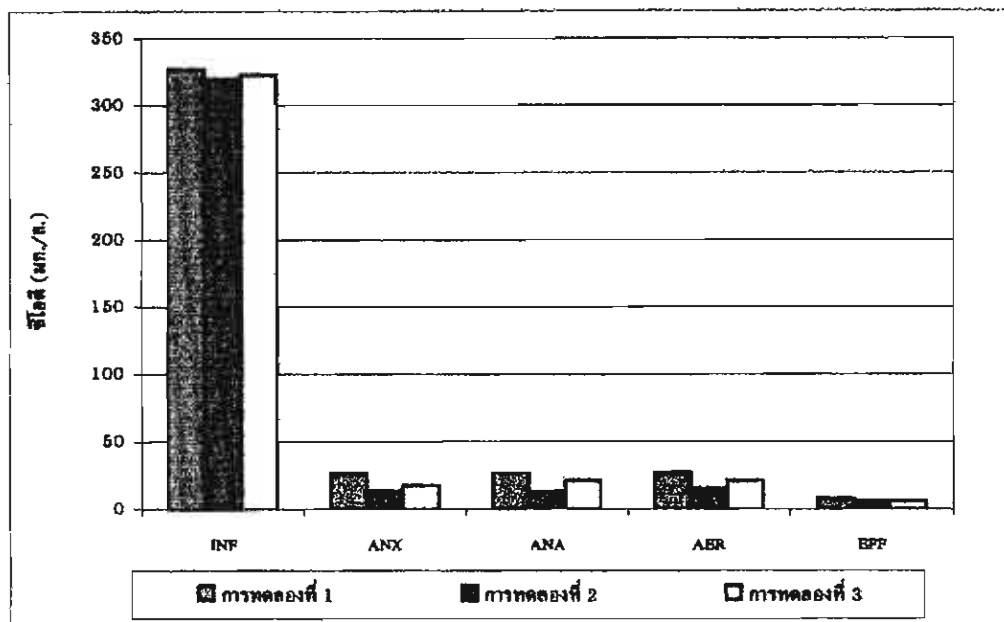
4.4 การกำจัดซีโอดีของระบบ

ค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมาจาก 2 แหล่ง ได้แก่ น้ำตาลทราย และกรดอะซิติก ซึ่งเป็นซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายทางชีวภาพ ดังนั้นจุลชีพในระบบจึงสามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว ค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ป้อนเข้าระบบมีค่าประมาณ 320 มก./ล. อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยของการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 96.5 ลิตรต่อวัน 92.3 ลิตรต่อวัน และ 99.7 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ คิดเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เท่ากับ 0.34 0.33 และ 0.35 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวในการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 97.5% 98.2% และ 98.1% ตามลำดับ

ตารางที่ 4-9 ค่าซีโอดีจากจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ค่าซีโอดี (มก./ล.)					% การกำจัด
		น้ำเข้า	ส่วนแอนนอนอกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	น้ำออก	
1	avg.	327	27	27	27	8	97.5
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	2.36	10.06	11.51	10.29	2.04	1.77
2	avg.	320	14	13	15	6	98.2
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	22.51	4.88	6.31	5.86	4.01	1.29
3	avg.	323	18	21	21	6	98.1
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	15.20	5.86	7.59	7.03	6.13	1.86

จากตารางที่ 4-9 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ ในแต่ละการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แม้การควบคุมระบบจะแตกต่างกันก็ตาม โดยค่าซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนแอนนอนอกซิก และส่วนไร้ออกซิเจน จาก 320 มก.ซีโอดี/ล.ในน้ำเข้า ลดลงเหลือต่ำกว่า 40 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งในส่วนเติมออกซิเจนค่าซีโอดีก็ยังคงใกล้เคียงกับทั้ง 2 ส่วนแรก และปริมาณซีโอดีในส่วนเติมออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 10 - 40 มก.ซีโอดี/ล. นั้นไม่ทำให้เกิดการยับยั้งการจับใช้ฟอสฟอรัสของระบบ



รูปที่ 4-13 ค่าซีโอดีจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

ค่าซีโอดีในน้ำเข้าที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่ระบบนั้นเนื่องจากกลไกการเก็บสะสมของจุลชีพในระบบ ทั้งนี้เพราะระบบดำเนินการในสภาวะที่ไม่สมดุล (unbalance condition) ซึ่งมีทั้งการเติมน้ำเสียแบบเป็นพักๆ (intermittent-fed) และระบบมีสภาวะไร้ออกซิเจนสลับกับการเติมออกซิเจน ทำให้จุลชีพดึงซีโอดีในระบบเข้าไปสะสมไว้ในเซลล์ในรูปพียูเอ และกลัยโคเจนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นซีโอดีที่เหลือในระบบจึงมีค่าต่ำมาก (10 – 40 มก.ซีโอดี/ล.)

จากการควบคุมวลซีโอดีของระบบพบว่าค่าซีโอดีที่หายไปในการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 59.5% 61.7% และ 75.7% ตามลำดับ ซึ่งซีโอดีที่หายไปในแต่ละการทดลองเกิดจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลชีพ โดยเฉพาะระบบเอ็มบีอาร์ซึ่งมีการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบสามัญทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นซีโอดีที่หายไปจากระบบส่วนใหญ่จึงเกิดจากการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่ถูกจำกัดเนื่องจากอัตราการทิ้งสลัดจ์ที่ลดลง เช่นเดียวกับกับ Wagner และ Rosenwinkel (2000) ซึ่งทดลองเดินระบบเอ็มบีอาร์โดยไม่ทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินเป็นเวลา 1 ปี พบว่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ในน้ำเสียถูกย่อยสลายโดยจุลชีพในระบบ และออกจากระบบในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้ซีโอดีบางส่วนยังถูกใช้ไปในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในส่วนแอนน็อกซิก แม้ว่าซีโอดีถูกใช้เพื่อรีดิวซ์ไนเตรดไปเป็นก๊าซไนโตรเจนนี้ในระบบมีค่าไม่สูงนัก เนื่องจากใน

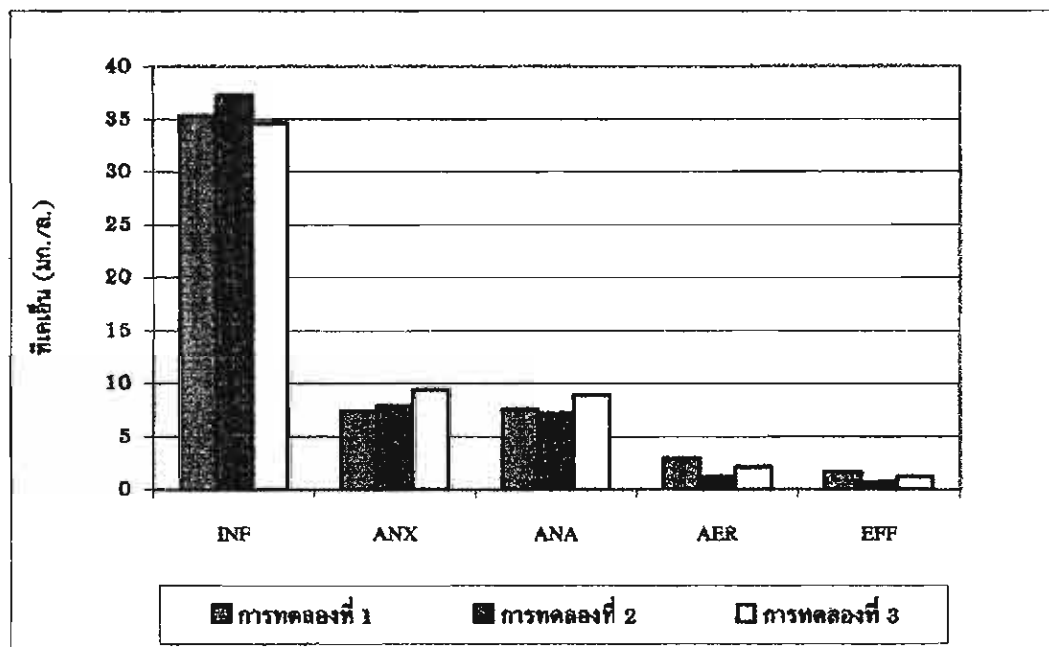
เตรตที่เวียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนเกิดมีค่าต่ำ และซีโอดีที่ถูกใช้ไปในกลไกการเก็บกักโดยจุลชีพลุ่มพีเอโอ และกลุ่มจีเอโอเพื่อกำจัดฟอสฟอรัส

4.5 การกำจัดไนโตรเจนของระบบ

ค่าที่เคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเตรียมมาจาก แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) มีค่าเฉลี่ยที่ป้อนเข้าสู่ระบบ 35 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วน COD/TKN เท่ากับ 9.1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนดีเยี่ยม (Grady และคณะ, 1999) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นที่สภาวะคงตัวในการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 95.2% 98.2% และ 96.7% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่สภาวะคงตัวในการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 93.4% 96.5% และ 93.3% ตามลำดับ มีไนโตรเจนในน้ำออกต่ำกว่า 0.02 มก./ล. และไนเตรตในน้ำออกต่ำกว่า 0.80 มก./ล. ในการทดลองที่ 1 และ 2 มีไนเตรตในน้ำออกต่ำกว่า 0.01 มก./ล. และไนเตรตในน้ำออกต่ำกว่า 1.60 มก./ล. ในการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4-10 ค่าที่เคเอ็นจากจุดต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ค่าที่เคเอ็น (มก./ล.)					% การกำจัด
		น้ำเข้า	ส่วนแอนนอกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	น้ำออก	
1	avg.	35.4	7.4	7.6	2.9	1.7	95.2
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	1.08	0.48	0.99	0.66	0.10	0.32
2	avg.	37.3	7.9	7.2	1.2	0.7	98.2
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	1.35	2.07	2.71	0.35	0.23	0.65
3	avg.	34.6	9.4	8.9	2.1	1.2	96.7
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	2.50	3.99	3.70	0.87	0.35	0.95



รูปที่ 4-14 ทีเคเอ็นจากจุดต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

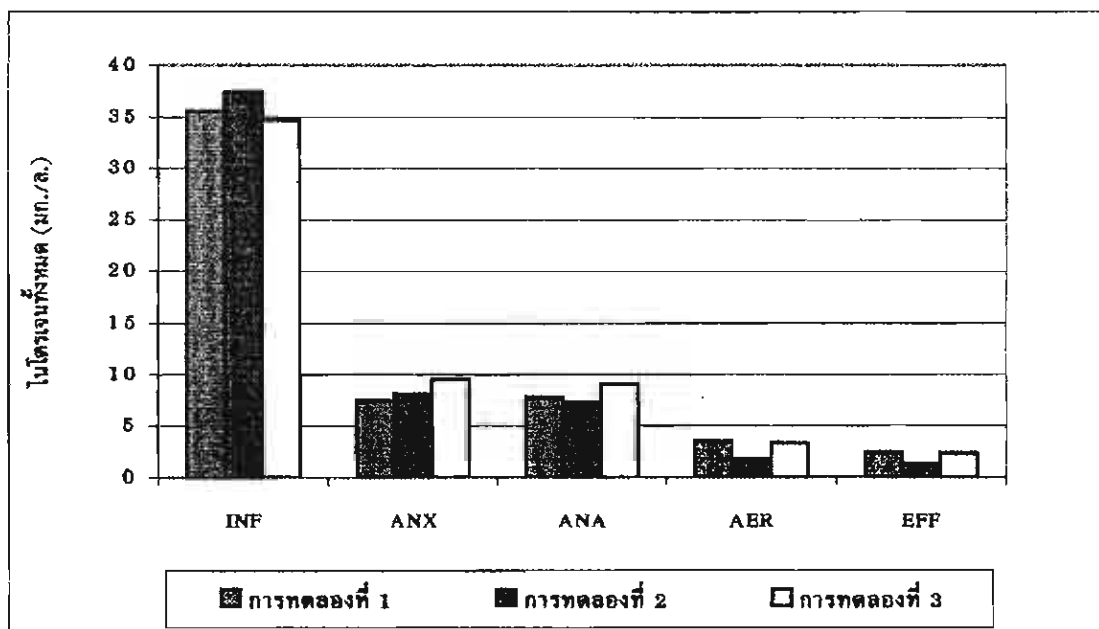
ทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเขาลดลงอย่างมากเมื่อเข้าสู่ระบบในส่วนแอนนออกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจน ทีเคเอ็นที่ลดลงเนื่องจากถูกน้ำที่เวียนสลับจากส่วนเดิมออกซิเจนซึ่งมีค่าทีเคเอ็นต่ำมาเจือจาง และทีเคเอ็นที่ถูกใช้ไปในการสังเคราะห์เซลล์ซึ่งเท่ากับ 716 810 และ 643 มก./วัน ในการทดลองที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ทำให้ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากส่วนไร้ออกซิเจนแล้วเข้าส่วนเดิมออกซิเจนมีค่าต่ำเพียง 7.2 - 8.9 มก./ล. และทีเคเอ็นที่ผ่านส่วนเดิมออกซิเจนแล้วจะลดลงอีก เนื่องจากถูกออกซิโดซ์ด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในส่วนเดิมออกซิเจน ทำให้ค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งมีค่า 0.7-1.7 มก./ล.

ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจนของระบบตลอดทั้ง 3 การทดลองมีค่าที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ใช้ระบบเอ็มปียาร์ในการกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจน โดย Fan และคณะ (2000) ได้ทดลองใช้ระบบเอ็มปียาร์ในการกำจัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสีย 43 - 56 มก./ล. ซึ่งระบบสามารถกำจัดทีเคเอ็นด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน จนค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ถึงอย่างไรก็ตามไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าสูงถึง 32 - 43 มก./ล. ซึ่งขัดแย้งกับผลของงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เพราะว่าระบบของ Fan และคณะ เป็นเพียงถังเดิมออกซิเจนเพียงใบเดียวจึงไม่สามารถกำจัดไนเตรตไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ขณะที่ระบบที่ใช้ในงานวิจัยมีสภาวะแอนนออกซิกซึ่งทำให้เกิดการกำจัดไนเตรตด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ไนเตรตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในส่วนเดิมออกซิเจนของงานวิจัยนี้ยังมีค่าต่ำเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีขึ้นในระบบ

ตารางที่ 4-11 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดจากจุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล.)					% การกำจัด
		น้ำเข้า	ส่วนแอนนอกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	น้ำออก	
1	avg.	35.5	7.5	7.8	3.5	2.4	93.4
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	1.12	0.49	1.01	0.59	0.18	0.6
2	avg.	37.4	8.1	7.3	1.8	1.3	96.5
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	1.34	2.04	2.67	0.45	0.30	0.82
3	avg.	34.6	9.6	9.1	3.3	2.3	93.3
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	2.51	3.88	3.54	1.14	0.50	1.30



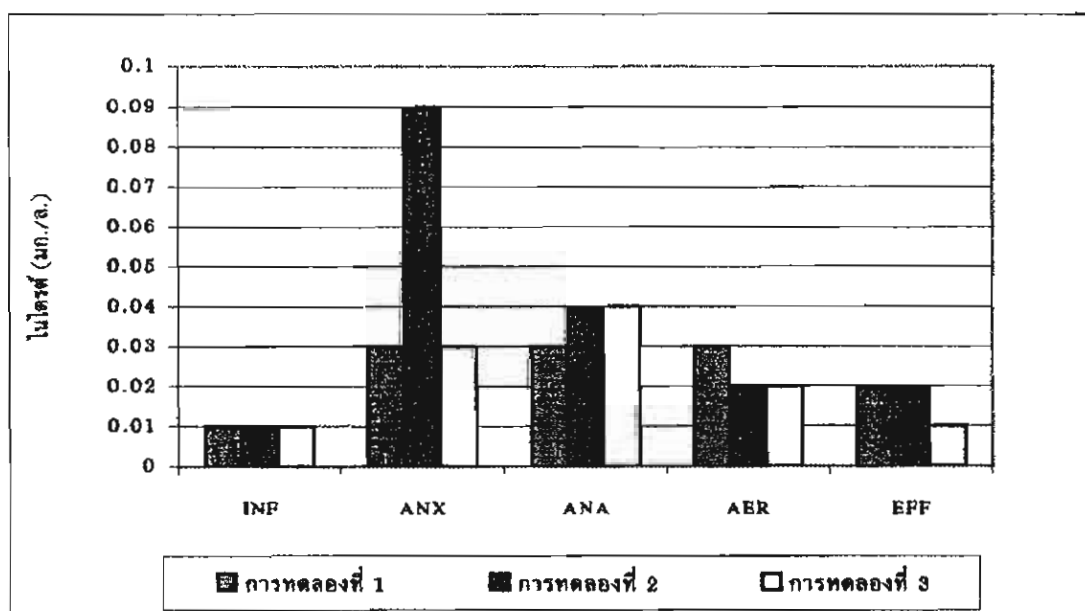
รูปที่ 4-15 ไนโตรเจนทั้งหมดจากจุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูง สอดคล้องกับการทดลองของ Choo และ Stensel (2000) ที่ใช้ระบบ SBMBR (Sequencing batch membrane biological reactor) บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยในหนึ่งรอบการทำงานของระบบมีช่วงเวลาเติมน้ำเสีย 0.5 ชม. ช่วงเวลาเติมออกซิเจน 2.0 ชม. และช่วงกรองออกกับพักถึงรวมกันเท่ากับ 1.5 ชม. พบว่า เกิด

ปฏิกิริยาเอสเอ็นดีขึ้นในระบบ แม้ว่าค่าออกซิเจนในช่วงเติมออกซิเจนจะมีค่า 0.1 – 7.2 มก./ล. ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด 87 – 93% โดยเมื่อค่าออกซิเจนลดลง จะทำให้อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในระบบจะได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.9 ต่อไป

ตารางที่ 4-12 ค่าไนไตรต์จากจุดต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ค่าไนไตรต์ (มก./ล.)				
		น้ำเข้า	ส่วนแอนนออกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	น้ำออก
1	avg.	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02
	N	7	7	7	7	7
	S.D.	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
2	avg.	0.01	0.09	0.04	0.02	0.02
	N	7	7	7	7	7
	S.D.	0.01	0.05	0.04	0.02	0.02
3	avg.	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01
	N	7	7	7	7	7
	S.D.	0.01	0.30	0.04	0.02	0.01



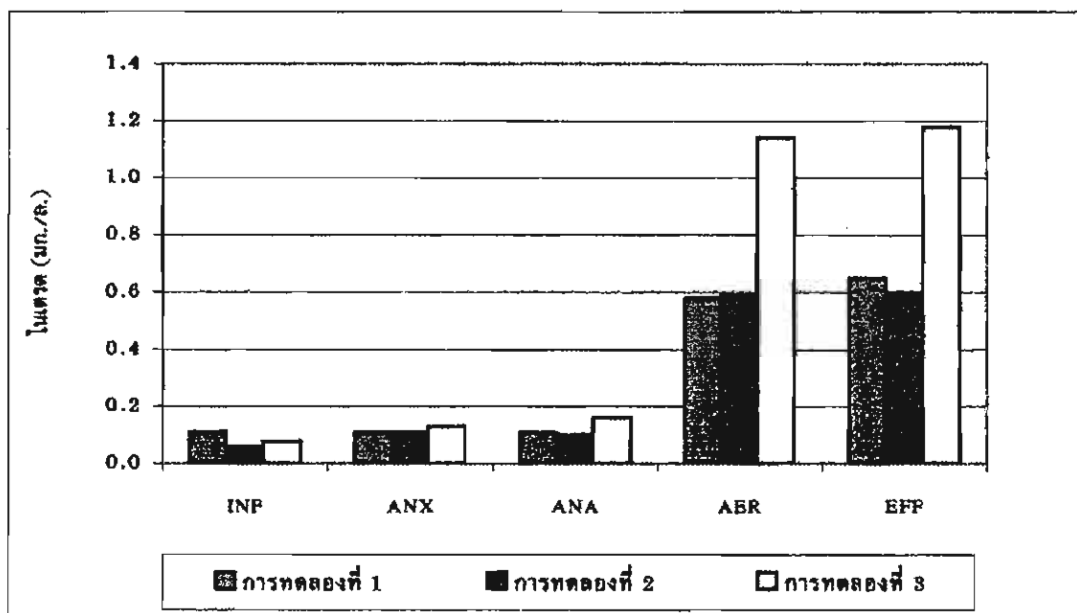
รูปที่ 4-16 ไนไตรต์จากจุดต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

ไนโตรเจนไนโตรเจนในน้ำเข้าระบบมาจากน้ำประปาที่ใช้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากมิได้เติมสารเคมีใดที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์น้ำเสีย ไนโตรเจนไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในส่วนแอนนออกซิก กับส่วนไร้ออกซิเจน เนื่องมาจากไนโตรเจนที่เวียนมาจากส่วนเดิมออกซิเจนทำให้ค่าไนโตรเจนในทั้งสองส่วนสูงขึ้น ในส่วนเดิมออกซิเจนไนโตรเจนลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาไนเตรเตชัน (เปลี่ยนไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต) และเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไนโตรเตชัน (เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนโตรเจน) แต่เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนเตรเตชันที่สมบูรณ์ เพราะมีออกซิเจนที่มากเกินไป ทำให้ไนโตรเจนในส่วนเดิมออกซิเจนมีค่าลดลง

ในการทดลองที่ 2 ไนโตรเจนในส่วนแอนนออกซิกที่สภาวะคงตัวมีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 1 และ 3 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลองที่ 2 มีค่าที่เคเอ็นสูงกว่าการทดลองที่ 1 และ 3 (37.3 มก./ล.สำหรับการทดลองที่ 2 และ 35.4 กับ 34.6 สำหรับการทดลองที่ 1 และ 3) และอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนนออกซิกของการทดลองที่ 2 เท่ากับ 75% ของทั้งหมด ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาไนเตรฟิเคชันขึ้นในส่วนแอนนออกซิกมากจึงมีไนโตรเจนสูงกว่าการทดลองอื่นๆ อย่างไรก็ตามไนโตรเจนที่เกิดขึ้นก็เปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรตหรือก๊าซไนโตรเจนสมบูรณ์เมื่อผ่านส่วนไร้ออกซิเจน

ตารางที่ 4-13 ค่าไนเตรตจากจุดต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่		ค่าไนเตรต (มก./ล.)				
		น้ำเข้า	ส่วนแอนนออกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเดิมออกซิเจน	น้ำออก
1	avg.	0.11	0.11	0.11	0.58	0.65
	N	7	7	7	7	7
	S.D.	0.04	0.05	0.07	0.13	0.17
2	avg.	0.06	0.11	0.10	0.59	0.60
	N	7	7	7	7	7
	S.D.	0.02	0.02	0.02	0.14	0.14
3	avg.	0.08	0.13	0.16	1.14	1.18
	N	7	7	7	7	7
	S.D.	0.04	0.15	0.21	0.32	0.31



รูปที่ 4-17 ไนเตรตจากจุดตัวอย่างต่างๆที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

ไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเข้าระบบมาจากน้ำประปาที่ใช้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากมิได้เติมสารเคมีใดที่มีไนเตรตเป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์น้ำเสีย ไนเตรตที่ถูกเขียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนมีค่าลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในส่วนแอนนออกซิก เนื่องจากไนเตรตที่เขียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนมีค่าต่ำ การลดไนเตรตด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจึงเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนแอนนออกซิกเท่านั้น โดยมีอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเตรตที่ถูกกำจัดเท่ากับ 680 640 และ 300 กรัมซีโอดีต่อกรัมไนเตรตที่ถูกกำจัด ในการทดลองที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้ถูกราชงานไว้ใน WEF (1998) สำหรับระบบที่ใช้เมทานอลเป็นสารอาหาร ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.2 – 6.0

ในส่วนเติมออกซิเจนไนเตรตมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามค่าที่เกิดขึ้นก็มียังต่ำกว่าในระบบเอ็มบีอาร์ทั่วไป (Ueda และ Hata, 1999 ; Yoon และคณะ, 2000) เพราะไนเตรตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่วนใหญ่ถูกรีดิวซ์ด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในฟล็อกซึ่งเกิดสภาวะแอนนออกซิกขึ้น

ไนเตรตในส่วนเติมออกซิเจน และในน้ำทิ้งที่สภาวะคงตัวของการทดลองที่ 3 มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เนื่องจากผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

4.6 กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ

ค่าฟอสฟอรัสสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเตรียมจาก โพแทสเซียมไดไฮดรอเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) มีค่าเฉลี่ยที่ป้อนเข้าสู่ระบบ 7.9 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วน COD/TP เท่ากับ 41 ซึ่งถือว่าเหมาะสมแก่การบำบัดด้วยระบบทางชีวภาพ (Grady และคณะ, 1999) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวในการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 90.5% 90.2% และ 83.3% ตามลำดับ

ตารางที่ 4-14 ค่าฟอสฟอรัสจากจุดต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

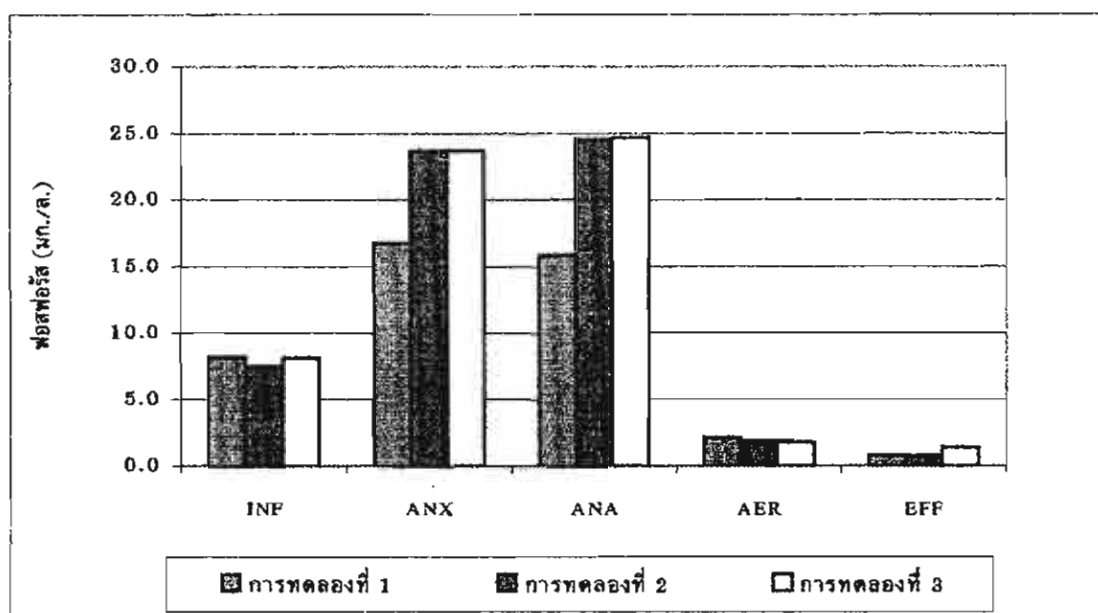
การทดลองที่		ค่าฟอสฟอรัส (มก./ล.)					% การกำจัด
		น้ำเข้า	ส่วนแอนน็อกซิก	ส่วนไร้ออกซิเจน	ส่วนเติมออกซิเจน	น้ำออก	
1	avg.	8.2	16.8	15.9	2.1	0.8	90.5
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	1.12	8.36	9.38	1.12	0.53	6.87
2	avg.	7.5	23.7	24.6	1.9	0.7	90.2
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	0.98	8.54	9.60	1.76	0.88	12.03
3	avg.	8.1	23.7	24.7	1.8	1.4	83.3
	N	7	7	7	7	7	7
	S.D.	0.84	8.17	9.48	1.85	1.85	19.63

ในการทดลองเริ่มต้นซึ่งควบคุมระบบที่ค่าอายุสลัดจ์ 80 วัน และอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ส่วนแอนน็อกซิก ต่อส่วนไร้ออกซิเจนเท่ากับ 25% ต่อ 75 % ตั้งแต่วันที่ 29 กรกฎาคม 2544 ถึงวันที่ 31 มกราคม 2545 รวมระยะเวลา 6 เดือน ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ออกจากระบบ ระหว่างวันที่ 21 มกราคม 2545 ถึง 31 มกราคม 2545 มีค่าอยู่ระหว่าง 4.0 – 7.5 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 28 % แม้ระบบมีการคายฟอสฟอรัสในส่วนแอนน็อกซิก กับส่วนไร้ออกซิเจนตลอดการทดลอง แต่กลับไม่สามารถจะจับใช้ฟอสฟอรัสได้มากพอในส่วนเติมออกซิเจน ทำให้มีค่าฟอสฟอรัสที่สูงในน้ำออก แม้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ (Phosphorus Content) 0.057 กรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมวีเอสเอส (5.7%) ซึ่งมากกว่าปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของระบบทั่วไปก็ตาม (1.0–2.5%)

หลังจากนั้นได้ควบคุมระบบตามการทดลองที่ 1 พบว่า ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสตั้งแต่วันที่แรกที่ทำการศึกษา ค่าฟอสฟอรัสในน้ำออกส่วนใหญ่ต่ำกว่า 1.0 มก./ล. มีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ 0.076 กรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมวีเอสเอส การทดลองที่ 2 มีปริมาณฟอสฟอรัส

ในเซลล์ 0.084 กรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมวีเอสเอส และการทดลองที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ 0.107 กรัมฟอสฟอรัสต่อกรัมวีเอสเอส

ตลอดทั้ง 3 การทดลองจุลชีพในระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ ด้วยกลไกการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอย่างชัดเจน กล่าวคือในส่วนแอนอนอกซิก กับส่วนไร้ออกซิเจน จุลชีพคายฟอสฟอรัสออกมาจากเซลล์ และจับใช้ในส่วนเติมออกซิเจน แสดงว่าในระบบมีจุลชีพในกลุ่มฟิเอโอแอคัยอยู่



รูปที่ 4-18 ฟอสฟอรัสจากจุดต่างๆที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

ค่าฟอสฟอรัสละลายที่เพิ่มขึ้นจากน้ำเข้าในส่วนแอนอนอกซิกและส่วนไร้ออกซิเจน เนื่องจากการคายฟอสฟอรัสของจุลชีพกลุ่มฟิเอโอในระบบ ซึ่งฟอสฟอรัสละลายที่ถูกคายออกมาภายนอกเซลล์เกิดจากการย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ของฟิเอโอ พลังงานที่ได้จากการย่อยสลายโพลีฟอสเฟตนี้ใช้ในการดึงแหล่งคาร์บอนภายนอกเซลล์ ซึ่งได้แก่อะซิเตตและน้ำตาลทรายในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมเข้าสู่ระบบ โดยจะเก็บเข้าไปสะสมไว้ในเซลล์ในรูปของฟิเอเอ

ส่วนค่าฟอสฟอรัสละลายที่ลดลงในส่วนเติมออกซิเจนนั้น เกิดจากการจับใช้ฟอสฟอรัสละลายที่ออกมาจากส่วนไร้ออกซิเจนเข้าไปเก็บสะสมไว้ในเซลล์ของฟิเอโอ พลังงานที่ใช้ในการดึงฟอสฟอรัสละลายนี้เกิดจากการย่อยสลายฟิเอเอที่ถูกสะสมไว้ขณะที่อยู่ในส่วนไร้ออกซิเจน

ในการทดลองที่ 1 ในส่วนแอนอนอกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจนมีการคายฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่าการทดลองที่ 2 และ 3 เนื่องจากสัดส่วนของฟิเอโอในระบบมีน้อยกว่า หากเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์แล้วพบว่าในการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด โดยในการทดลองที่ 1 มีค่า 7.6% ขณะที่การทดลองที่ 2 และ 3 มีค่า 8.4% และ 10.7% ตามลำดับ ดังนั้นสำหรับการควบคุมระบบ

ด้วยอายุสลัดจ์ 40 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของระบบที่ทำให้ระบบยังสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างเพิ่มพูนมีค่าน้อยเท่ากับ 7.6%

ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมากกว่า 80% ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองที่ผ่านมาของ อภิรติ์ ดวงใจ (2543) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิคงที่ที่ 20 25 30 32.5 และ 35 องศาเซลเซียส ด้วยกระบวนการเอสบีอาร์แบบไร้ออกซิเจน/เติมออกซิเจน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ เท่ากับ 58% และ 40% ตามลำดับ และมีความเข้มข้นเอ็มแอลเอสเอสเท่ากับ 1,658 และ 1,210 มก./ล. ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในงานวิจัยนี้ควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบให้มีค่าที่สูงทำให้มีเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในระบบปริมาณมาก จึงสามารถลดผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดลงได้

อย่างไรก็ตามนอกจากพีเอโอที่เกิดขึ้นในระบบแล้ว เชื่อว่ายังเกิดจุลินทรีย์กลุ่มจีเอโอขึ้นในระบบด้วย เนื่องจากการเดินระบบที่ส่งเสริมให้จีเอโอสามารถดำรงอยู่ในระบบได้ (Mino และคณะ, 1998) ได้แก่

- ก.) มีการเติมน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งกลูโคสให้จีเอโอ
- ข.) มีเวลากัก และอายุสลัดจ์สูง
- ค.) มีเวลาเติมออกซิเจนที่มากเกินไป

ตารางที่ 4-15 อัตราส่วนซีไอดีที่ใช้ต่อฟอสฟอรัสที่กำจัดที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

การทดลองที่	ซีไอดีที่ใช้ (มก.COD/ล.)	ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มกP./ล.)	อัตราส่วน COD /TP (มก.COD/มก.P)
1	319	7.4	43.1
2	314	6.8	46.6
3	317	6.7	47.3

จากตารางที่ 4-15 พบว่าอัตราส่วนซีไอดีที่ใช้ต่อฟอสฟอรัสที่กำจัดได้ของระบบมีค่าระหว่าง 43.1 - 47.3 แม้จะต่ำกว่าช่วง 50 - 59 ซึ่ง Ekama และ Marais (1984) สรุปไว้สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน แต่เนื่องจากระบบเติมน้ำเสียที่ย่อยได้ง่ายกว่าน้ำเสียชุมชน ซึ่ง Abu-ghararah และ Randall (1991 อ้างโดย Randall และคณะ, 1992) ได้เปรียบเทียบแหล่งคาร์บอนหลายชนิดที่ป้อนแก่ระบบอีบีอาร์ พบว่าเมื่อเติมอะซิเตตเป็นแหล่งคาร์บอน จะทำให้อัตราส่วนซีไอดีที่ใช้ต่อฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 16.8

นั่นหมายความว่าในการกำจัดฟอสฟอรัสปริมาณเท่ากัน ระบบที่ใช้ในการทดลองต้องใช้แหล่งคาร์บอน (ซีไอดี) ปริมาณที่มากกว่าระบบที่เติมอะซิเตตอย่างเดียวยถึง 2.6 เท่า ทั้งที่ระบบก็มีทั้งอะซิเตต และน้ำตาลทราย ซึ่งถูกจับใช้ได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าคาร์บอนที่ใช้ไปโดยระบบไม่ได้ถูกใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยพีเอโอเพียงอย่างเดียวและจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นใน

ระบบน่าจะเป็นจีเอโอ ซึ่งบนพื้นฐานความเชื่อที่ว่าจีเอโอ กับพีเอโอเป็นจุลชีพคนละชนิดกัน จุลชีพทั้งสองกลุ่มจึงแย่งชิงแหล่งคาร์บอน เนื่องจากเมตาบอลิซึมของจีเอโอที่แตกต่างจากพีเอโอ คือ มีการสะสมแหล่งคาร์บอนในรูปพีเอชเอ และใช้กลัยโคเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน มีการสะสม กลัยโคเจน และใช้พีเอชเอในสภาวะเติมออกซิเจน แต่ไม่มีการคายและจับใช้ฟอสฟอรัส (Mino และคณะ, 1998) จึงทำให้จีเอโอไม่ช่วยในการกำจัดฟอสฟอรัส แต่แข่งขันในการแย่งชิงแหล่งคาร์บอนกับพีเอโอ

4.7 ผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียต่อการกำจัด

การเปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิก ต่อส่วนไร้ออกซิเจน ที่มีการบำบัดนั้น ได้เปรียบเทียบการทดลองที่ 1 ซึ่งมีอัตราการแบ่งน้ำเสีย 25 % ต่อ 75 % กับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีอัตราการแบ่งน้ำเสีย 75 % ต่อ 25 % โดยได้ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน เท่ากันทั้ง 2 การทดลอง

การดำเนินการของระบบซึ่งมีวิธีการลดการอุดตันของแผ่นเยื่อด้วยการไม่กรองอย่างต่อเนื่อง โดยให้มีการเติมน้ำเสีย 10 นาทีและหยุดเติมน้ำเสีย 10 นาทีทำให้ระบบมีการดำเนินการในรูปแบบเติมน้ำเสียเป็นพัก ๆ (Intermittently-fed)

ดังนั้นขณะที่ระบบหยุดพักการเติมน้ำเสีย 10 นาทีนี้ ไบโกลใน ส่วนแอนน็อกซิก และส่วนไร้ออกซิเจนยังคงทำงานอยู่ จึงเกิดการกวนผสมเข้ากันระหว่างส่วนแอนน็อกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจนทำให้ค่าเอ็มแอลเอสเอสของทั้ง 2 ส่วน มีค่าไม่ต่างกันมากนัก

จากการทดสอบความแตกต่างของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในส่วนแอนน็อกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจนทางสถิติด้วยการทดสอบชนิดที่แบบ 2 ด้าน (two-tailed t-test) ตามตารางที่ 4-16 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ระหว่างส่วนแอนน็อกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจน

ดังนั้นอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจน จึงไม่มีนัยสำคัญต่อกลไกการกำจัดโดยรวมของระบบ เพราะการเดินระบบในลักษณะแบบเติมน้ำเสียเป็นพัก ๆ ทำให้เกิดการกวนผสมระหว่างส่วนแอนน็อกซิก และส่วนไร้ออกซิเจน ในช่วงที่ไม่มีการการเติมน้ำเสีย

นอกจากนี้ปฏิกิริยาเอสเอ็นดีที่เกิดขึ้นในส่วนเติมออกซิเจน ทำให้ค่าไนเตรดที่เวียนมาพร้อมกับสลัดจ์จากส่วนเติมออกซิเจนมีค่าต่ำ ดังนั้นปริมาณคาร์บอนที่ใช้ในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน จึงไม่มีนัยสำคัญต่อการกำจัดไนเตรด จึงทำให้อัตราการแบ่งน้ำเสียไม่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ดังจะได้อธิบายต่อไป

ตารางที่ 4-16 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบระหว่าง
ส่วนแอนนอกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจนด้วย T-Test

พารามิเตอร์	df	α	Critical Value	t value	C
COD					
การทดลองที่ 1	29	0.05	2.045	0.504	S
การทดลองที่ 2	28	0.05	2.052	0.604	S
Phosphorus					
การทดลองที่ 1	27	0.05	2.052	-0.118	S
การทดลองที่ 2	27	0.05	2.052	0.055	S
TKN					
การทดลองที่ 1	28	0.05	2.048	-0.544	S
การทดลองที่ 2	26	0.05	2.056	0.121	S
Total-N					
การทดลองที่ 1	28	0.05	2.048	-0.570	S
การทดลองที่ 2	26	0.05	2.056	0.140	S
NO3-N					
การทดลองที่ 1	30	0.05	2.042	-0.150	S
การทดลองที่ 2	28	0.05	2.048	-0.826	S
NO2-N					
การทดลองที่ 1	25	0.05	2.060	-0.601	S
การทดลองที่ 2	24	0.05	2.064	1.654	S

df - องศาความเป็นอิสระ

α - ระดับนัยสำคัญ

Critical value - ค่าที่เปิดได้จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที่

T value - ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Microsoft Excel

S - ประสิทธิภาพเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

D - ประสิทธิภาพไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-17 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกำจัดเปรียบเทียบระหว่าง
อัตราการแบ่งน้ำเสีย 25% : 75% และ 75% : 25% ด้วย T-Test

พารามิเตอร์	df	α	Critical Value	t value	C
COD	27	0.05	2.052	-2.052	S
Phosphorus	25	0.05	2.060	0.110	S
TKN	26	0.05	2.056	-4.615	D
Total-N	26	0.05	2.056	-4.540	D
NO ₃ -N	29	0.05	2.045	-1.283	S
NO ₂ -N	29	0.05	2.045	-0.753	S

4.7.1 ผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียต่อการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4-17 พบว่า อัตราการแบ่งน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เพราะว่าซีโอดีที่เติมให้แก่ระบบเป็นซีโอดีที่ข่อยสลายได้ง่าย จุลชีพในระบบจึงสามารถนำไปใช้ในกลไกต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องไฮดรอลิซิสก่อน

นอกจากนี้การควบคุมค่าอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วันทั้งการทดลองที่ 1 และ 2 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทั้ง 2 การทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วย ซึ่งอธิบายได้ด้วยจากสมการที่ 4-1 และสมการที่ 4-2

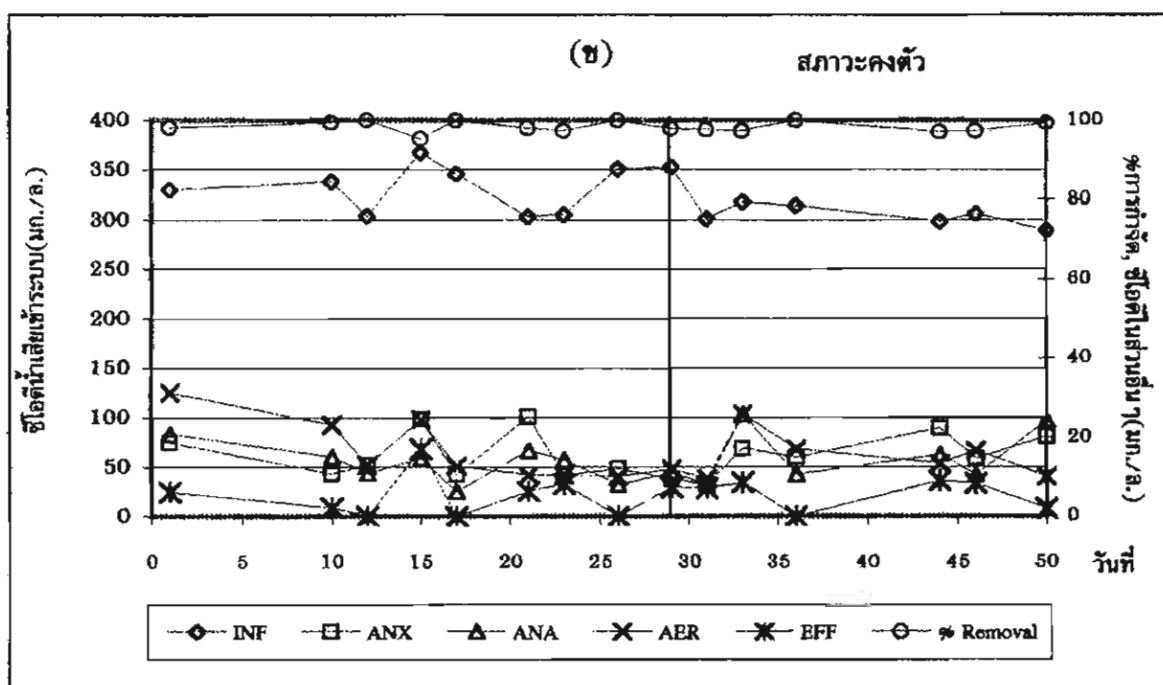
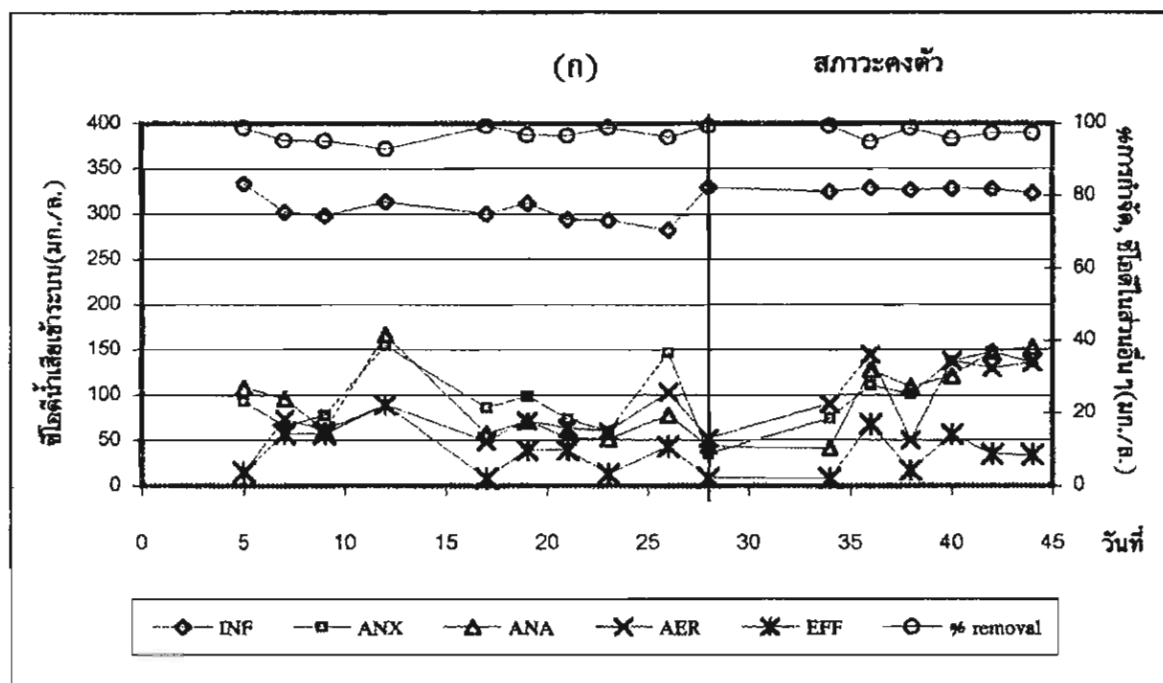
$$X = \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{\tau (1 + k_d \theta_c)} \quad (4-1)$$

$$\eta = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \quad (4-2)$$

เมื่อ	X	คือ ความเข้มข้นของจุลชีพในส่วนเติมออกซิเจน (มก./ล.)
	θ_c	คือ อายุสลัดจ์ (วัน)
	Y	คือ ค่าyield ของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟในระบบ
	S_0	คือ ค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ (มก./ล.)
	S	คือ ค่าซีโอดีในน้ำจากส่วนเติมออกซิเจน (มก./ล.)
	τ	คือ เวลาเก็บกักของระบบ (วัน)
	k_d	คือ อัตราการสลายตัวของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟในระบบ
	η	คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)

จากสมการที่ (4-2) จะได้ว่า

$$\eta \cdot S_0 = (S_0 - S) \quad (4-3)$$



รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียที่มีต่อชีโอดี
อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ANX : ANA (ก) 25% : 75% (ข) 75% : 25%

และแทนค่าจากสมการที่ (4-3) ในสมการที่ (4-1) จะได้ว่า

$$X = \frac{\theta_c Y \eta S_0}{\tau (1 + k_d \theta_c)} \quad (4-4)$$

ดังนั้น

$$\eta = \frac{X \tau (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c Y S_0} \quad (4-5)$$

$$\eta = \frac{X \tau (1/\theta_c + k_d)}{Y S_0} \quad (4-6)$$

จากสมการที่ 4-6 เนื่องจากค่ายิลด์ (Y) ค่าอัตราการสลายตัว (k_d) และเวลากัก (τ) ของระบบมีค่าคงที่ทั้ง 2 การทดลอง และค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ของทั้งสองการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน (การทดลองที่ 1 เท่ากับ 327 มก./ล. และการทดลองที่ 2 เท่ากับ 320 มก./ล.) ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (η) จึงแปรผกผันกับอายุสลัดจ์ (θ_c) และแปรผันกับความเข้มข้นของจุลชีพในส่วนเติมออกซิเจน (X)

เมื่อกำหนดให้ $\tau / Y S_0$ เท่ากับค่าคงที่ a ส่วน k_d เท่ากับค่าคงที่ b สมการที่ 4-6 จึงจัดรูปสมการใหม่ได้ตามสมการที่ 4-7

$$\eta = \frac{aX + bX}{\theta_c} \quad (4-7)$$

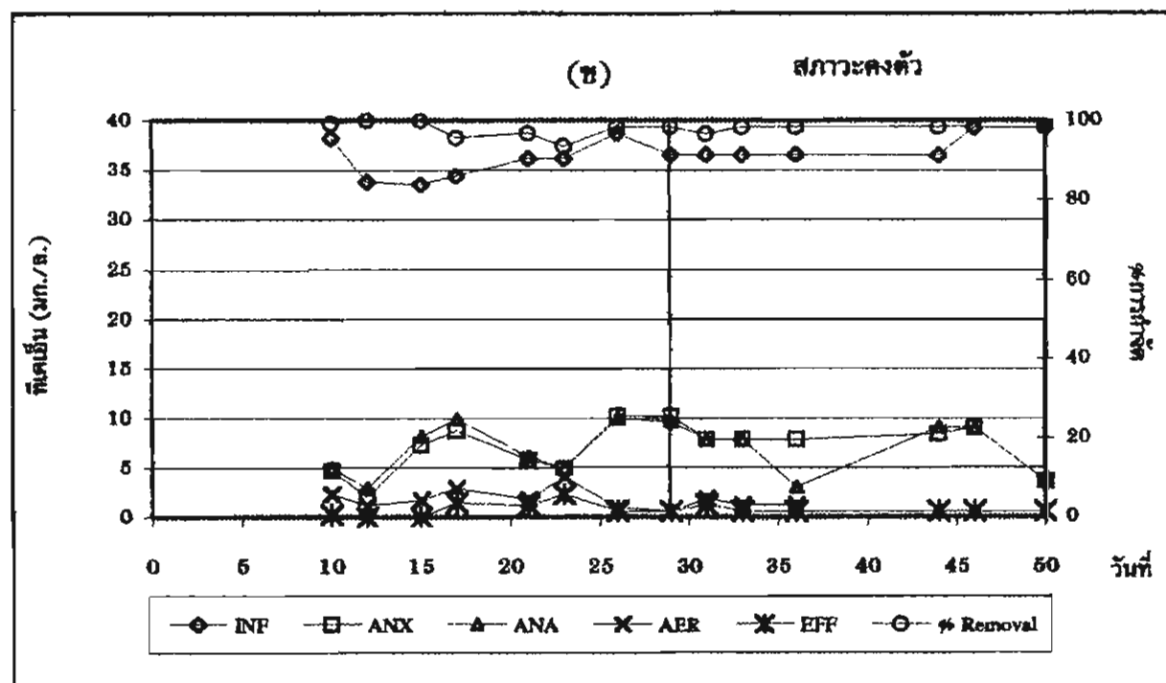
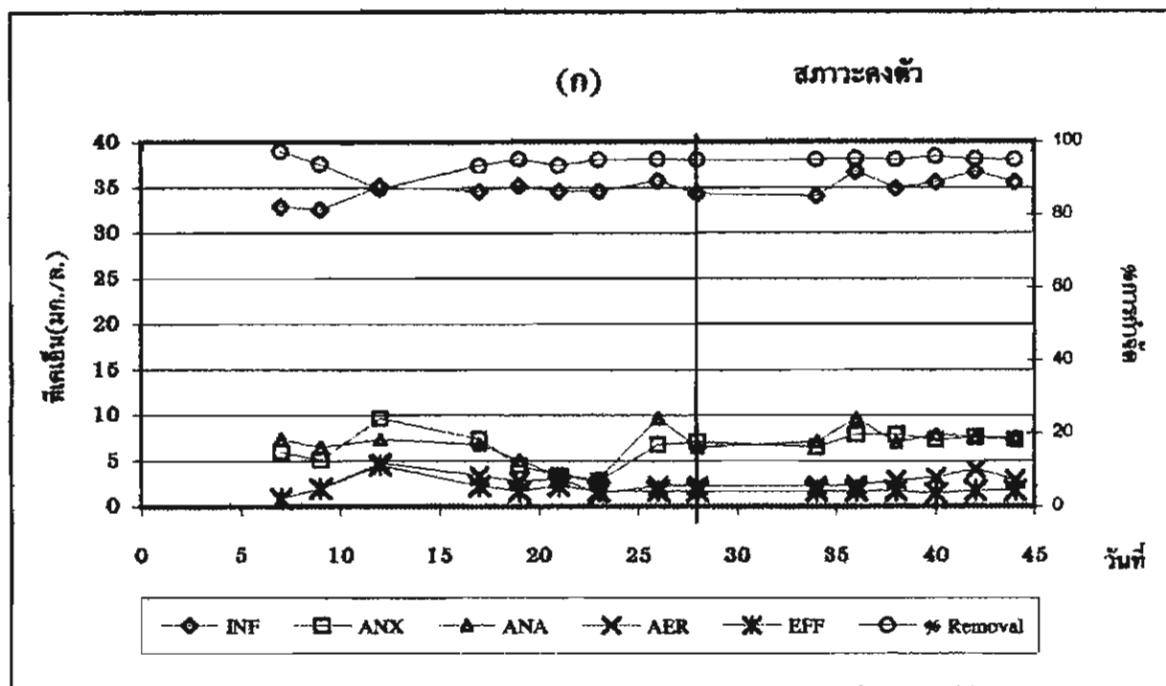
ซึ่งในการทดลองที่ 1 และ 2 ได้ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วันเท่ากัน ทำให้ความเข้มข้นของจุลชีพในส่วนเติมออกซิเจนมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเมื่อแทนค่า θ_c และ X ที่เท่ากันทั้ง 2 การทดลองในสมการที่ 4-7 จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทั้งสองการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

จากการวิเคราะห์จึงพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจึงมีผลเนื่องมาจากการควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบไว้ที่ 40 วัน มากกว่าอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าระบบ

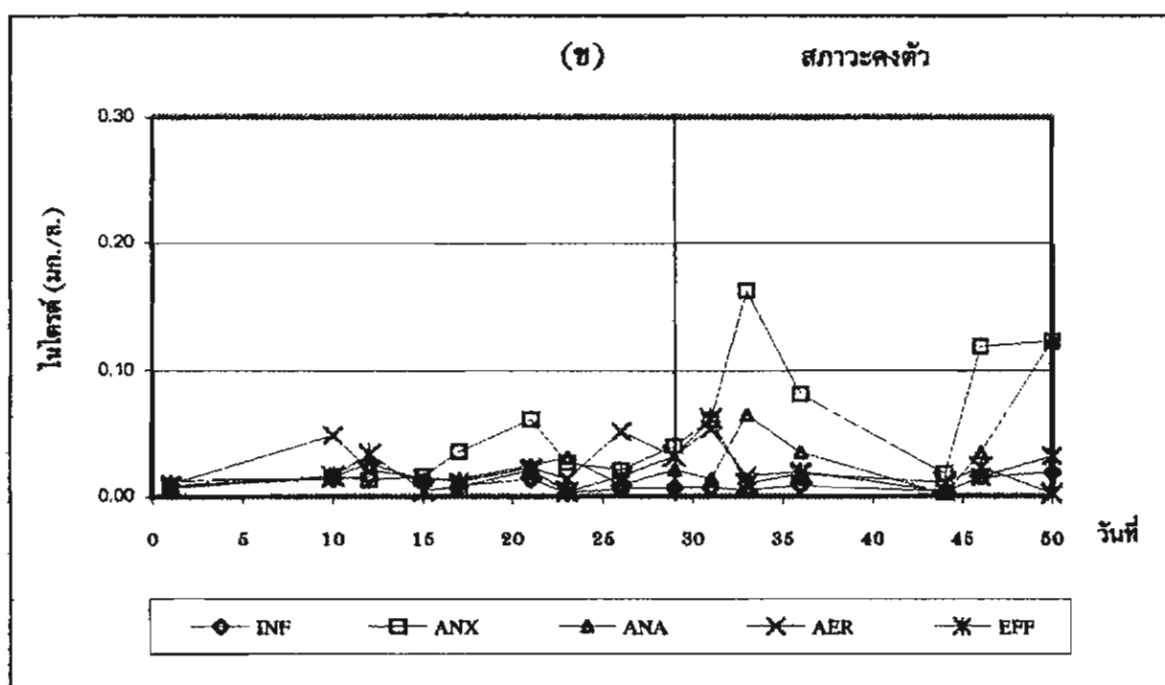
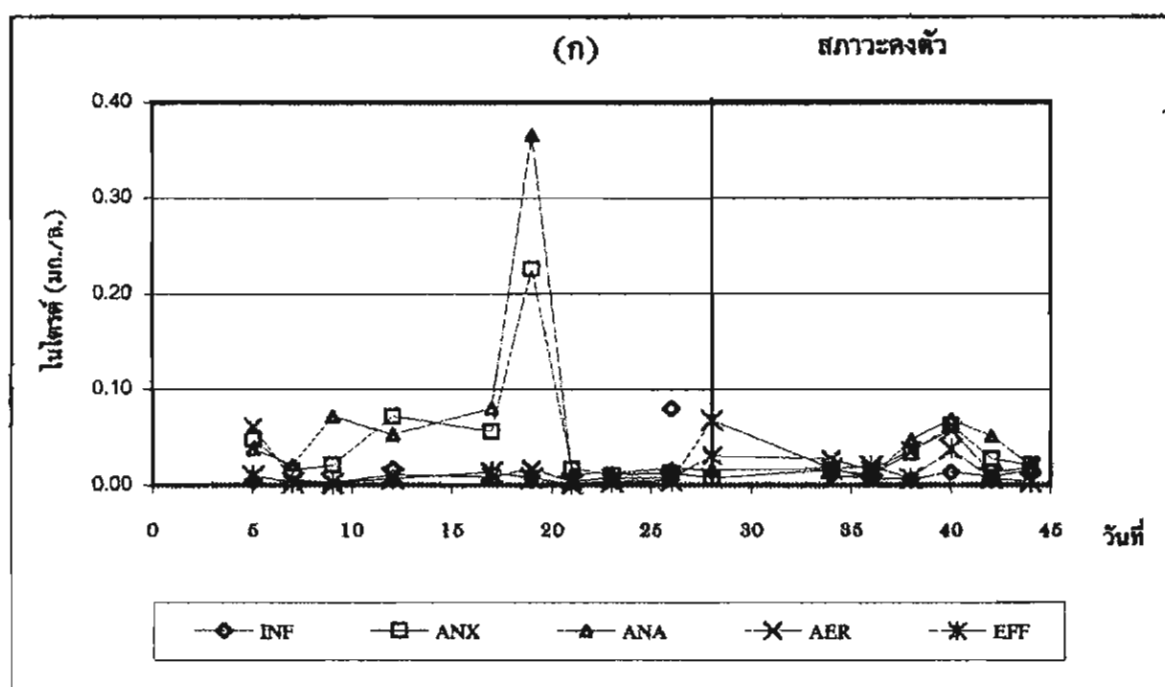
4.7.2 ผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียต่อการกำจัดไนโตรเจน

จากการทดลองพบว่า อัตราการแบ่งน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นและไนโตรเจนทั้งหมดเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อค่าไนเตรต และไนไตรต์ในน้ำทิ้ง

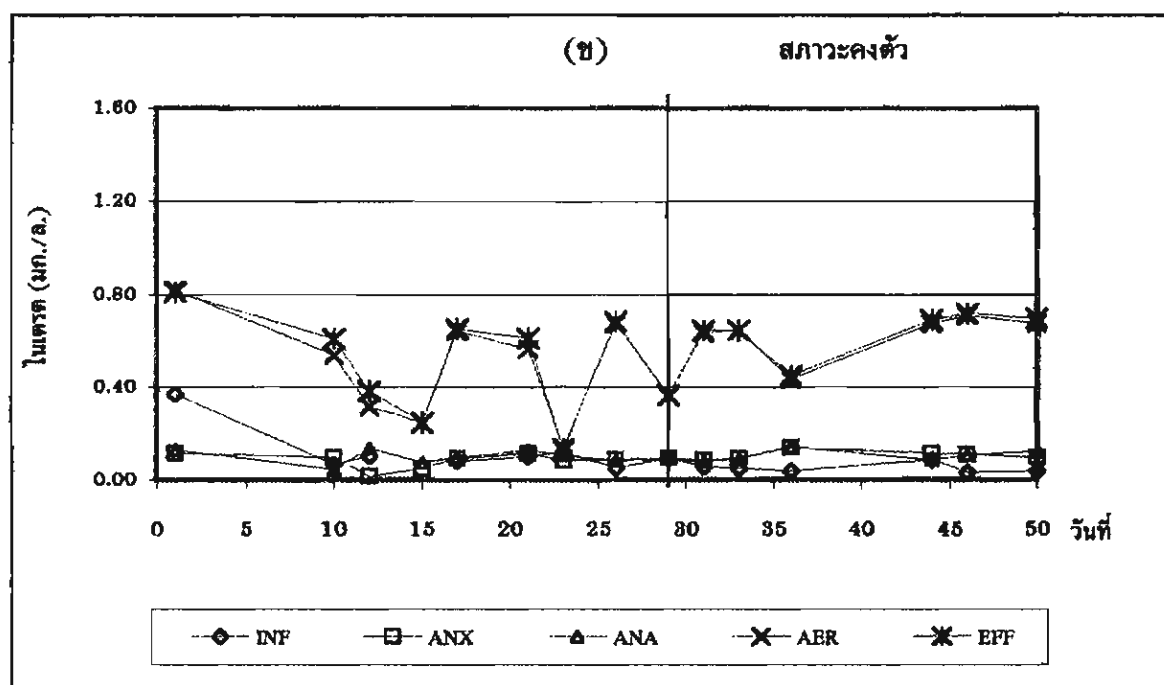
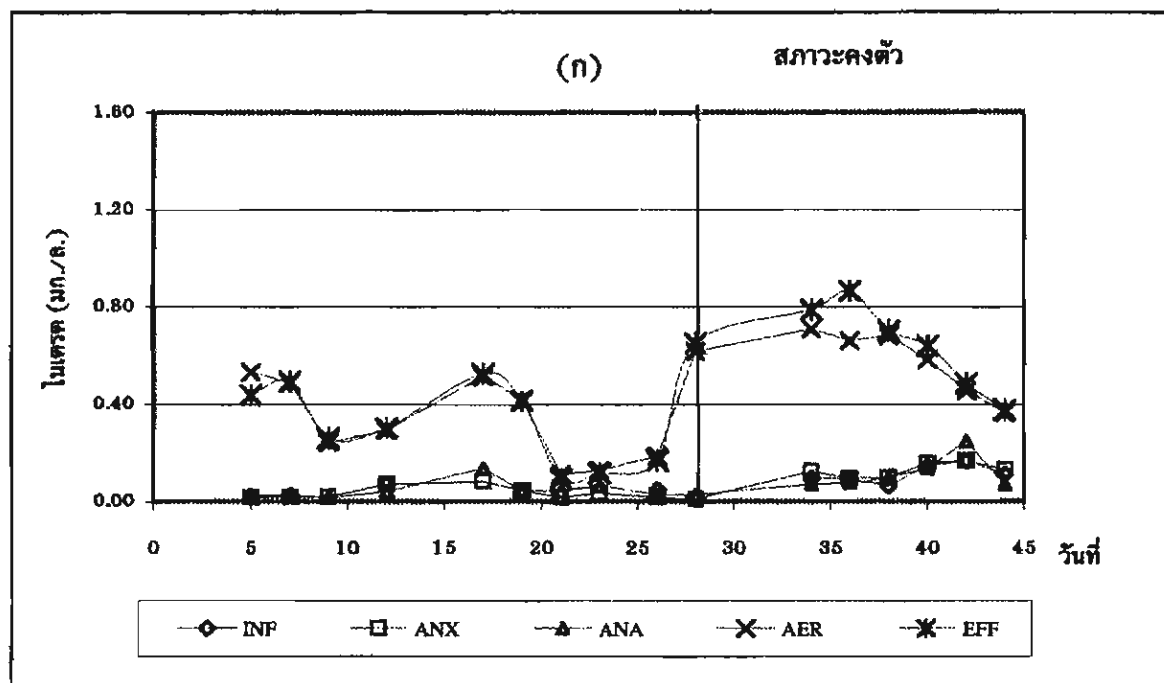
จากตารางที่ 4-6 ค่าที่เคเอ็นที่ออกจากส่วนไร้ออกซิเจนของทั้ง 2 การทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 7.6 มก./ล. ในการทดลองที่ 1 และเท่ากับ 7.2 มก./ล. ในการทดลองที่ 2 แต่เมื่อผ่านส่วนเติมออกซิเจนแล้ว ในการทดลองที่ 2 สามารถลดค่าที่เคเอ็นได้มากกว่าในการทดลองที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากซีโอดีที่เหลือในส่วนเติมออกซิเจนของการทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าของการทดลองที่ 2 ซึ่งซีโอดีที่เหลืออยู่ในส่วนเติมออกซิเจนนี้ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยา



รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียที่มีต่อที่เคเอ็น
อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ANX : ANA (ก) 25% : 75% (ข) 75% : 25%



รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียที่มีต่อไนโครต์
อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ANX : ANA (ก) 25% : 75% (ข) 75% : 25%



รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียที่มีต่อโนเตรต
อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ANX : ANA (ก) 25% : 75% (ข) 75% : 25%

ไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามค่าที่เคเอ็นที่ผ่านส่วนเดิมออกซิเจนของทั้ง 2 การทดลองก็มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยในการทดลองที่ 1 มีค่า 2.9 มก./ล. และในการทดลองที่ 2 มีค่า 1.2 มก./ล.

ดังนั้นผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียเองจึงไม่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนในส่วนแอนนออกซิก และส่วนไร้ออกซิเจน

จากแนวคิดของระบบที่ต้องการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนนออกซิก เพื่อให้เกิดการกำจัด ไนเตรต ด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแบบใช้แหล่งคาร์บอนภายนอก (Exogenous Denitrification) ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่แบ่งเข้าส่วนแอนนออกซิก ยิ่งปริมาณคาร์บอนมากก็จะกำจัดไนเตรตที่เวียนมาจากส่วนเดิมออกซิเจนได้มาก แต่เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเอ็นดีที่เกิดขึ้นในส่วนเดิมออกซิเจน ทำให้ไนเตรตที่เวียนมามีค่าต่ำมากจนทำให้อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเตรตที่ถูกกำจัดมีค่า 680 และ 640 ในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 3.2 – 6.0 ซึ่งรายงานโดย WEF (1998) อยู่มาก ดังนั้นปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากความแตกต่างของอัตราการแบ่งน้ำเสียจึงไม่มีผลต่อการกำจัดไนเตรตของระบบ

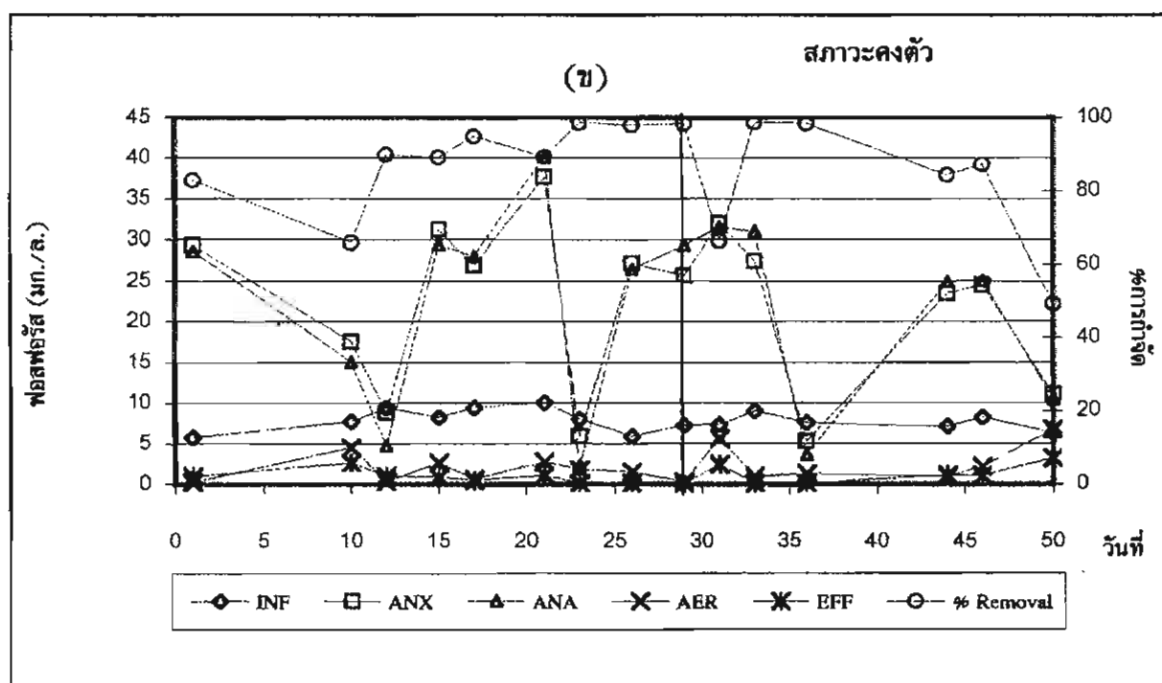
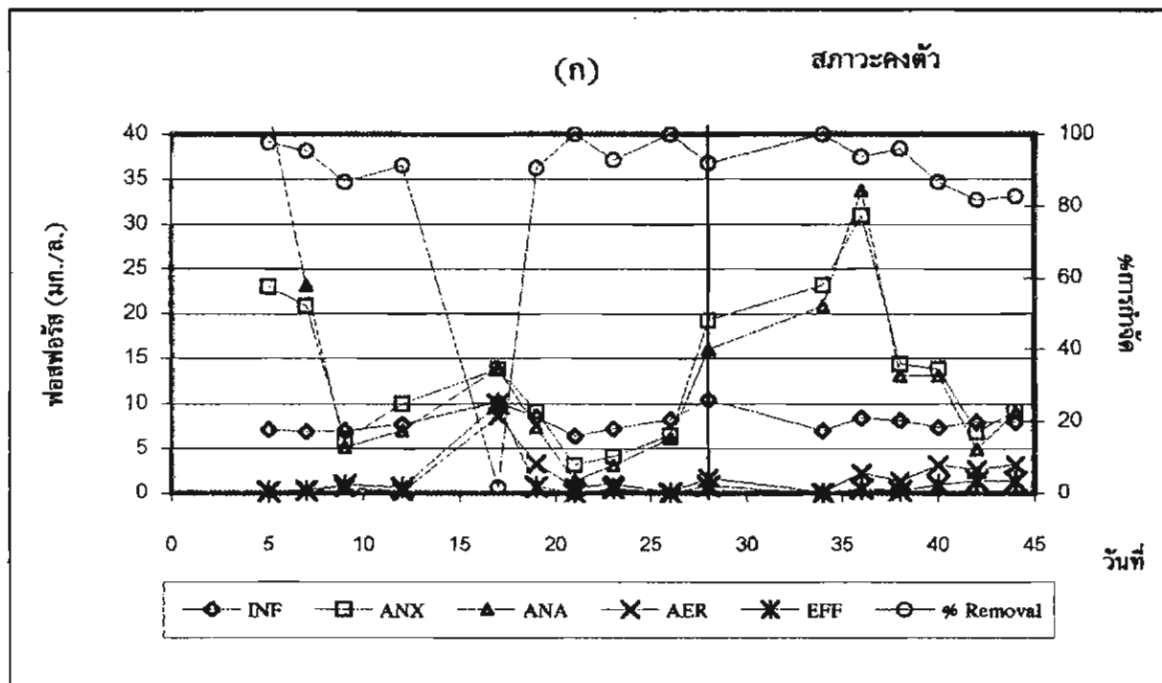
4.7.3 ผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

จากตารางที่ 4-17 พบว่า อัตราการแบ่งน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากแนวคิดของระบบที่ต้องการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนไร้ออกซิเจนนั้น เพื่อให้เกิดการคายฟอสฟอรัสขึ้น และแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนนออกซิก เพื่อลดไนเตรตด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการลดผลกระทบของไนเตรตที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัส (Henze และคณะ, 1996)

แต่เนื่องจากไนเตรตที่ลดลงอย่างมากด้วยปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในส่วนเดิมออกซิเจน ทำให้ไนเตรตที่เวียนมาในส่วนแอนนออกซิกจึงไม่รบกวนกลไกการกำจัดฟอสฟอรัส และการเดินระบบแบบเติมน้ำเสียเป็นพักๆ ทำให้เกิดการกวนผสมระหว่างส่วนแอนนออกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจน

ดังนั้นอัตราการแบ่งน้ำเสียจึงไม่ผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส เนื่องจากไม่มีไนเตรตมารบกวนกลไกการกำจัด แม้ว่าอัตราการคายฟอสฟอรัสในการทดลองที่ 1 จะมีค่าต่ำกว่าการทดลองที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นจากสัดส่วนของพีเอไอในระบบของการทดลองที่ 1 มีต่ำกว่าในการทดลองที่ 2

อย่างไรก็ตามแม้ผลที่ได้จากการทดลองจะพบว่า อัตราการแบ่งน้ำเสียไม่ผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้ในงานวิจัยกับระบบของ Ueda และ Hata (1999) และ Yoon และคณะ (2000) ซึ่งมีรูปแบบของกระบวนการใกล้เคียงกับระบบที่ใช้ในงานวิจัย ต่างกันเพียงการทดลองทั้งสองมีการเติมน้ำเสียที่ถึงแรกเพียงจุดเดียว พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบที่ใช้ในงานวิจัยสูงกว่าระบบทั้งสอง ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากลักษณะการเติมน้ำเสียที่ต่างกันนี้ก็เป็นได้ นอกจากนี้เวลากักของส่วนต่างๆใน



รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียที่มีต่อฟอสฟอรัส
 อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้า ANX : ANA (ก) 25% : 75% (ข) 75% : 25%

ระบบมีมากเกินไป จึงไม่เห็นความแตกต่างในการกำจัดอันเนื่องมาจากอัตราการแบ่งน้ำเสียอย่างชัดเจน

4.8 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัด

การเปรียบเทียบผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อการบำบัดนั้น ได้เปรียบเทียบการทดลองที่ 2 ซึ่งควบคุมอายุสลัดจ์ 40 วัน กับการทดลองที่ 3 ซึ่งควบคุมอายุสลัดจ์ 80 วัน โดยมีอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนเท่ากันทั้ง 2 การทดลอง ซึ่งเท่ากับ 75% ต่อ 25%

ตารางที่ 4-18 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกำจัดเปรียบเทียบระหว่างอายุสลัดจ์ 40 และ 80 วันด้วย T-Test

พารามิเตอร์	df	α	Critical Value	t value	C
COD	23	0.05	2.069	0.841	S
Phosphorus	19	0.05	2.093	1.279	S
TKN	27	0.05	2.052	3.048	D
Total-N	27	0.05	2.052	5.545	D
NO ₃ -N	24	0.05	2.064	-6.108	D
NO ₂ -N	28	0.05	2.048	0.778	S

4.8.1 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4-18 พบว่า อายุสลัดจ์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เพราะว่าซีโอดีที่เติมให้แก่ระบบเป็นซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่าย จุลชีพในระบบจึงสามารถนำไปใช้ในกลไกต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าอายุสลัดจ์ของการทดลองที่ 3 ซึ่งมากกว่าจะทำให้ปริมาณของเชื้อจุลชีพในระบบมีมากกว่า แต่ก็ไม่มีผลต่อการกำจัดนัก

จากสมการที่ 4-2 และ 4-6

$$\eta = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \quad (4-2)$$

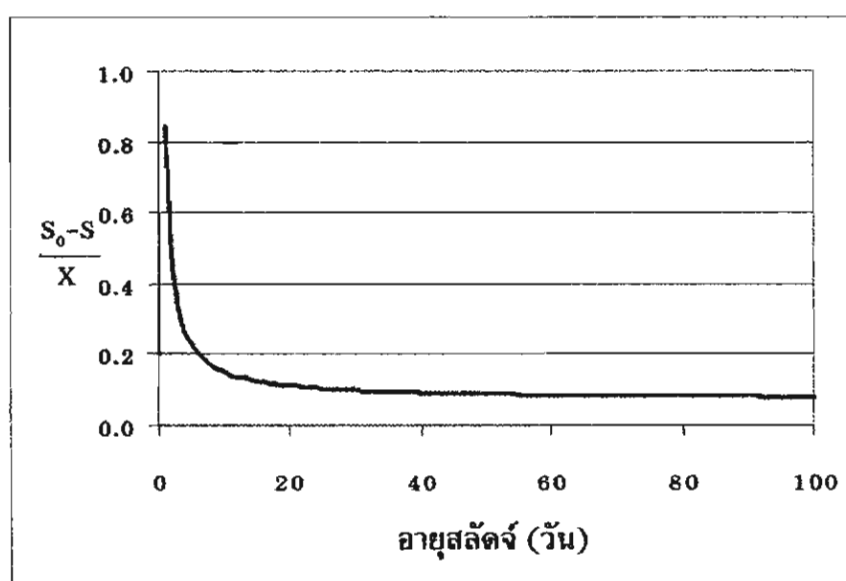
$$\eta = \frac{X \tau (1/\theta_c + k_d)}{Y S_0} \quad (4-6)$$

เมื่อแทนค่า τ จากสมการที่ 4-2 ในสมการที่ 4-6 จะได้

$$\frac{(S_0 - S)}{S_0 X} = \frac{\tau (1/\theta_c + k_d)}{Y S_0} \quad (4-8)$$

$$\frac{(S_0 - S)}{X} = \frac{\tau (1/\theta_c + k_d)}{Y} \quad (4-9)$$

เมื่อสร้างความสัมพันธ์ของอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ [Specific substrate utilization rate, SSUR ในเทอรัม $(S_0 - S)/X$] กับค่าอายุสลัดจ์ โดยแทนค่า τ , k_d , Y และ S_0 ที่ได้จากการทดลอง จะได้กราฟตามรูปที่ 4-24

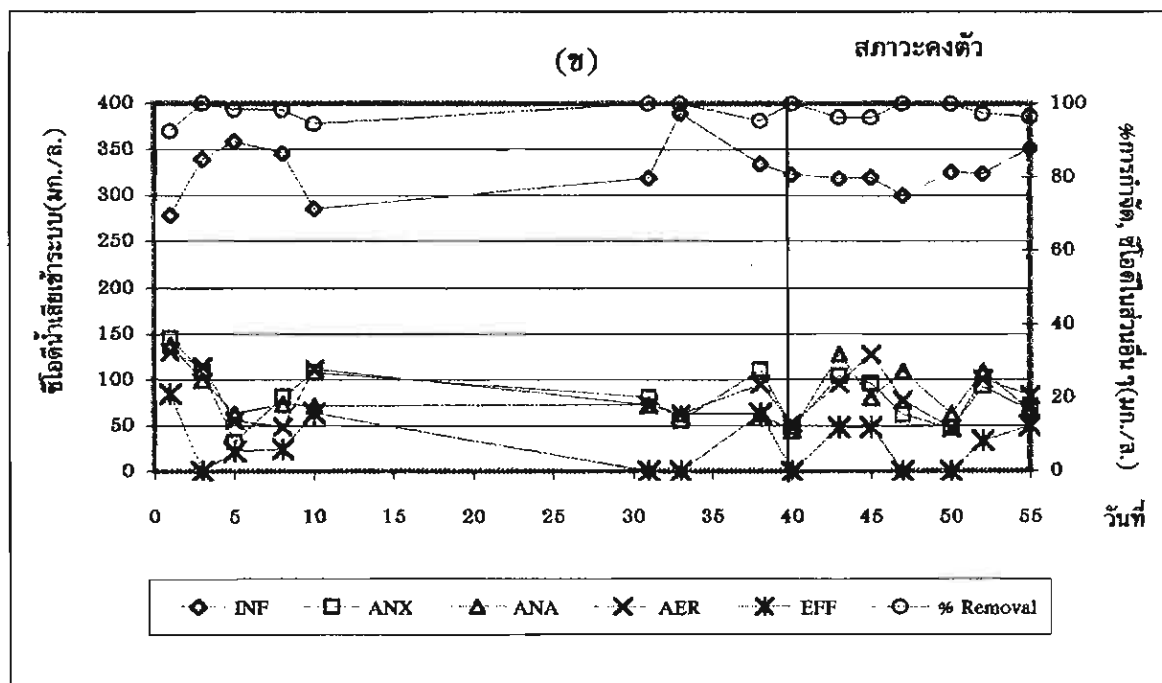
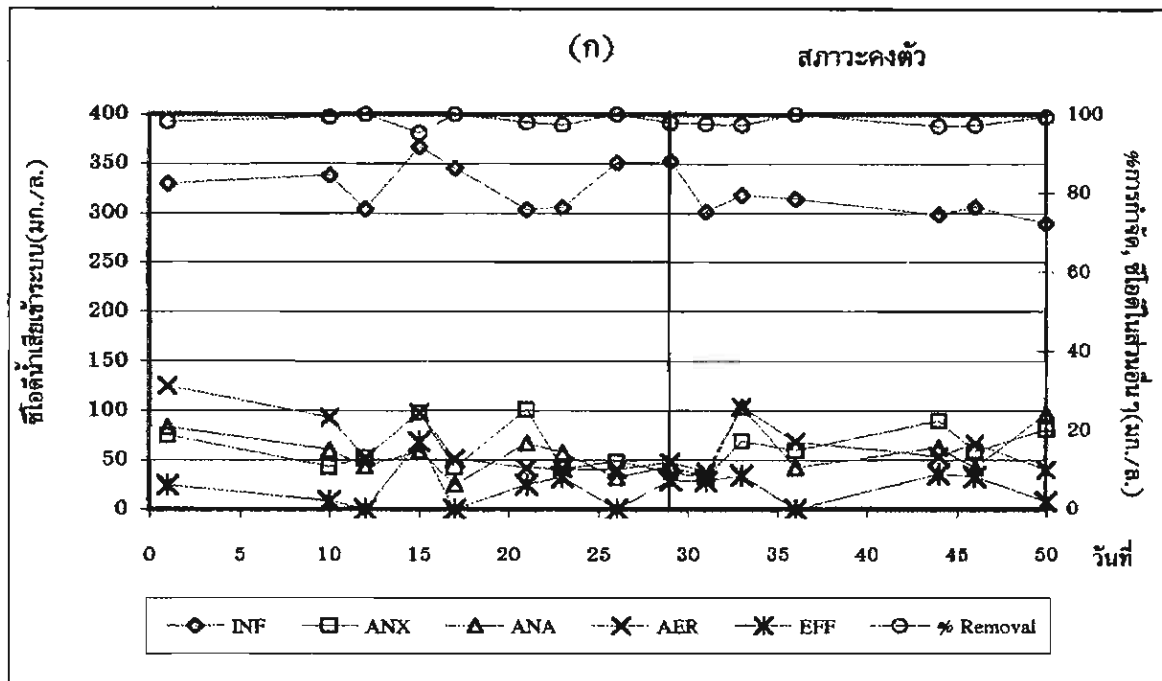


รูปที่ 4-24 ความสัมพันธ์ของอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะกับอายุสลัดจ์

จากรูปที่ 4-24 พบว่าอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะมีค่าคงที่ประมาณ 0.10 เมื่อเริ่มควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบไว้ที่ 10 วัน และอัตราดังกล่าวมีค่า 0.092 และ 0.082 ที่อายุสลัดจ์ 40 และ 80 วันตามลำดับ แล้วเมื่อคูณกลับด้วยค่าความเข้มข้นจุลชีพที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเท่ากับ 4,084 และ 4,582 มก./ล. ที่อายุสลัดจ์ 40 และ 80 วันตามลำดับ จะได้อัตราการใช้สารอาหารของทั้ง 2 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

4.8.2 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดไนโตรเจน

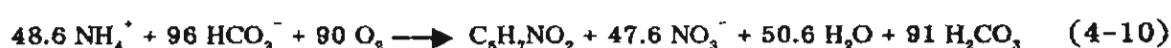
จากตารางที่ 4-18 พบว่า อายุสลัดจ์มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็น ไนโตรเจนทั้งหมดและไนเตรตในน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อควบคุมอายุสลัดจ์ให้สูง



รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อซีโอดีน
(ก) อายุสลัดจ์ 40 วัน (ข) อายุสลัดจ์ 80 วัน

ขึ้นเป็น 80 วันโดยการทิ้งเซลล์ที่น้อยลงในการทดลองที่ 3 ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่นำไปใช้สังเคราะห์เซลล์ใหม่มีค่าลดลง ปริมาณไนโตรเจนที่นำไปสังเคราะห์เซลล์ใหม่มีค่า 702 มก./วัน ในการทดลองที่ 2 และ 436 มก./วัน ในการทดลองที่ 3 เป็นผลให้ค่าที่เคเอ็น และไนโตรเจนทั้งหมดที่ออกจากส่วนไร้ออกซิเจน (TKNana, TNana) เข้าสู่ส่วนเติมออกซิเจนของการทดลองที่ 2 ต่ำกว่าการทดลองที่ 3

จากสมการสโตยชิโอเมตริกของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในส่วนเติมออกซิเจนของ Halling-Sorensen และ Jorgensen (1993 อ้างโดย Seviour และ Blackall, 1999) ตามสมการที่ 4-10



แสดงว่าแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+) ที่เข้ามาในส่วนเติมออกซิเจน จะถูกแปรเปลี่ยนเป็น 2 รูปได้แก่ 1.) ถูกใช้เพื่อสังเคราะห์เซลล์ของไนตริไฟเออร์แบคทีเรีย ($\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_2$) และ 2.) ถูกเปลี่ยนรูปด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันไปเป็นไนเตรต (NO_3^-)

และเนื่องจากระบบมีการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน ดังนั้นไนโตรเจนที่ถูกใช้เพื่อสังเคราะห์เซลล์ใหม่จะเท่ากับปริมาณไนโตรเจนที่ทิ้งไปกับสลัดจ์ส่วนเกิน

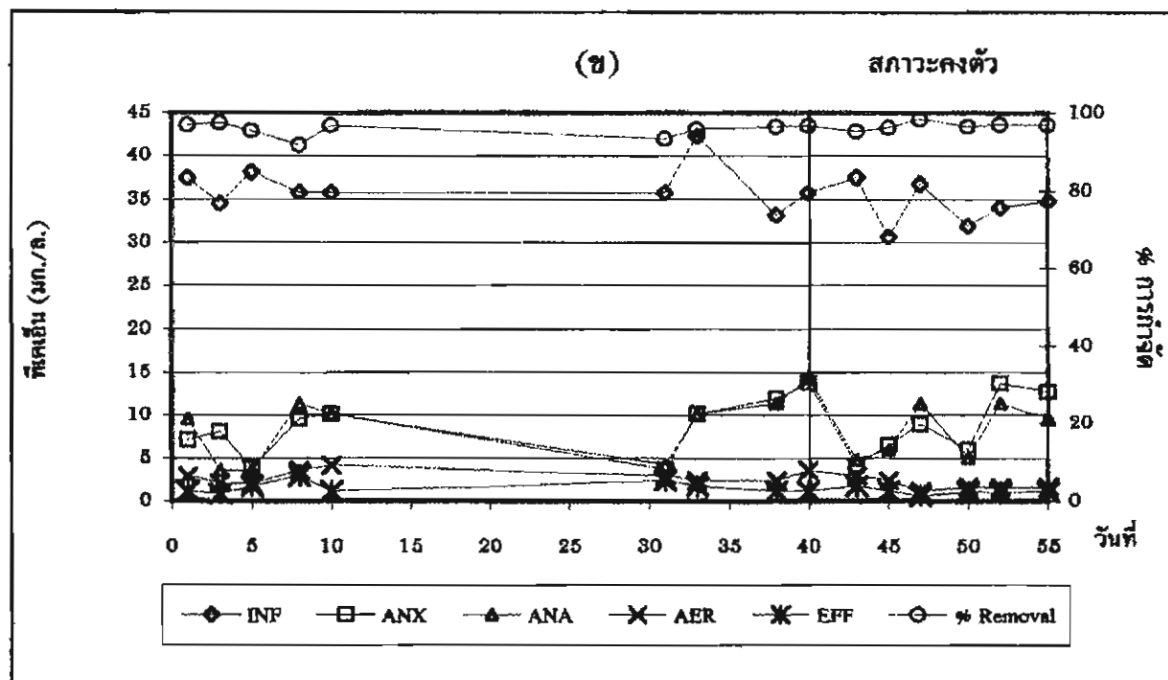
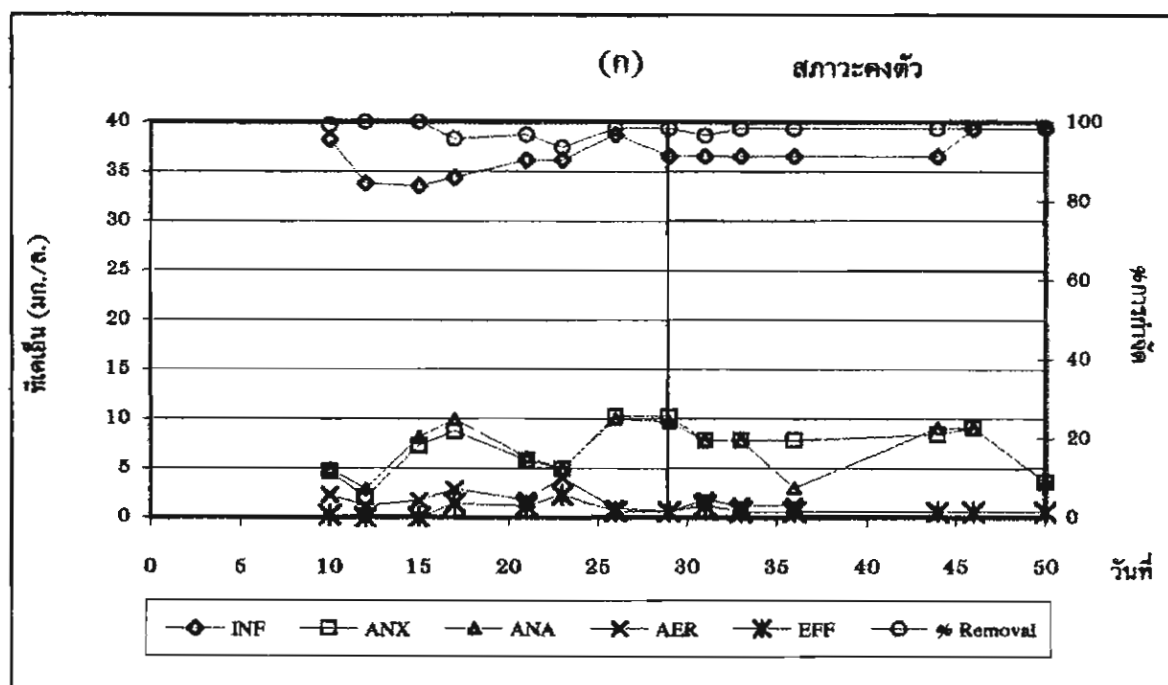
ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่จุลชีพใช้สังเคราะห์เซลล์ในส่วนเติมออกซิเจนของการทดลองที่ 2 เท่ากับ 429 มก.ไนโตรเจน/วัน (1.250 ลิตร/วัน x 0.112 มก.ไนโตรเจน/มก.วีเอสเอส x 3,066 มก.วีเอสเอส/ลิตร) และเท่ากับ 260 มก.ไนโตรเจน/วัน (0.625 ลิตร/วัน x 0.115 มก.ไนโตรเจน/มก.วีเอสเอส x 3,611 มก.วีเอสเอส/ลิตร) สำหรับการทดลองที่ 3

ดังนั้นปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4-10 โดยแอมโมเนียที่เหลือจากการสังเคราะห์เซลล์แล้วจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตทั้งหมด

ตารางที่ 4-19 การคำนวณตามสมการสโตยชิโอเมตริก

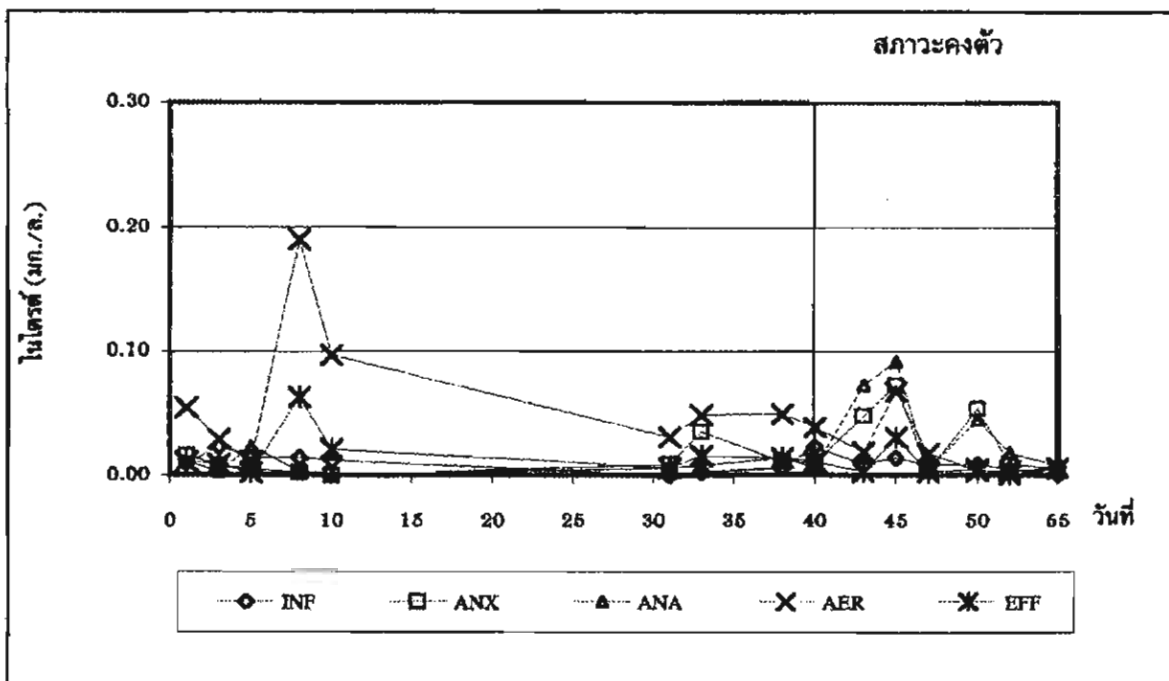
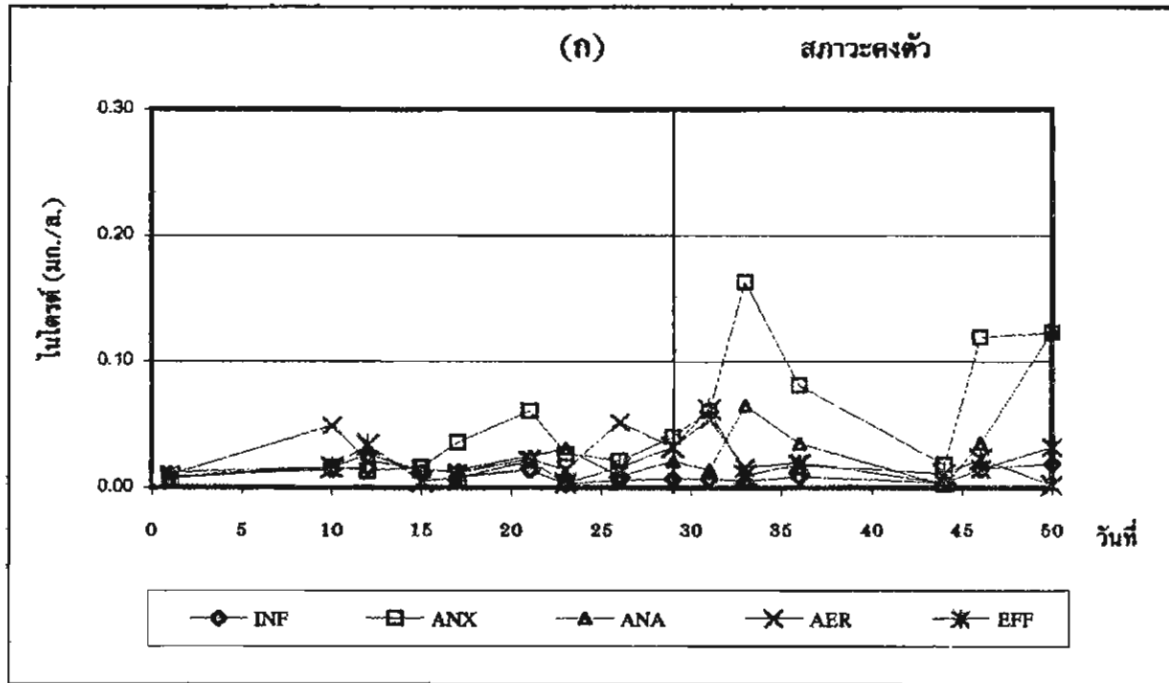
การทดลองที่	total NH_4^+ for Oxidized (มก.N/วัน)	NH_4^+ for cell synthesis (มก.N/วัน)	Calculate NO_3^- occur (มก.N/วัน)	Measured NO_3^- occur (มก.N/วัน)	NO_3^- loss by SND (มก.N/วัน)
2	1120	429	677	125	552
3	1490	260	1205	250	955

เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์เตรียมมาจากแอมโมเนียคลอไรด์ จึงใช้ค่าที่เคเอ็นเป็นตัวแทนของแอมโมเนียในน้ำ ซึ่งจากการคำนวณในตารางที่ 4-19 แสดงว่าอัตราการผลิตปฏิกิริยา

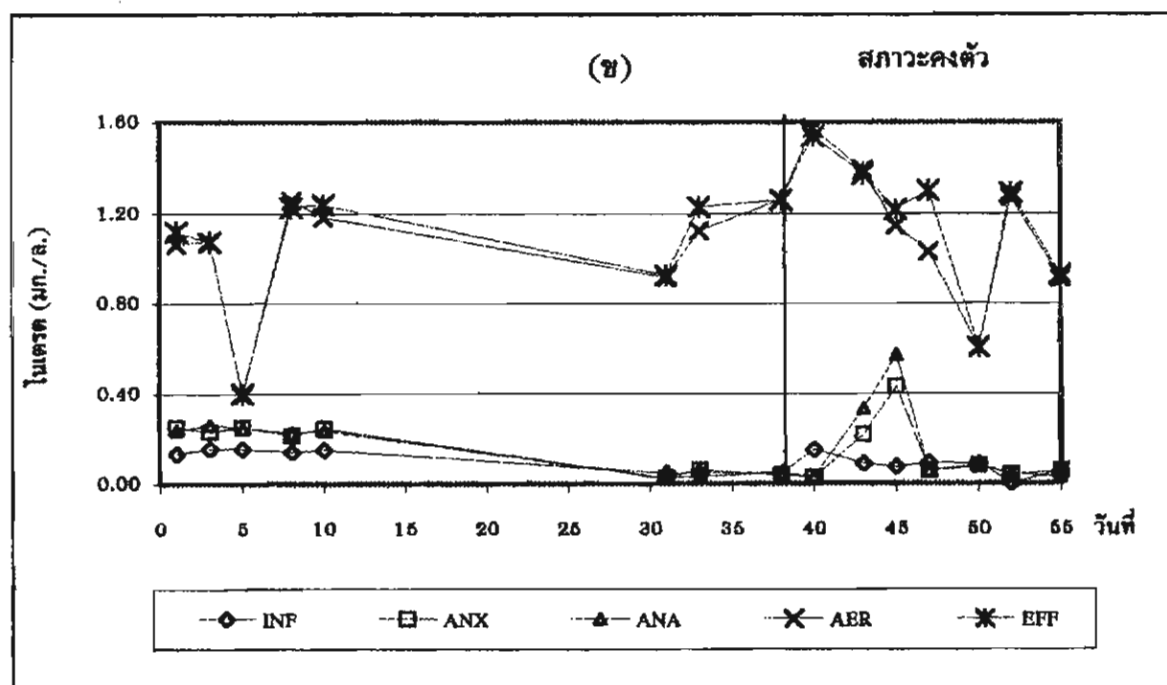
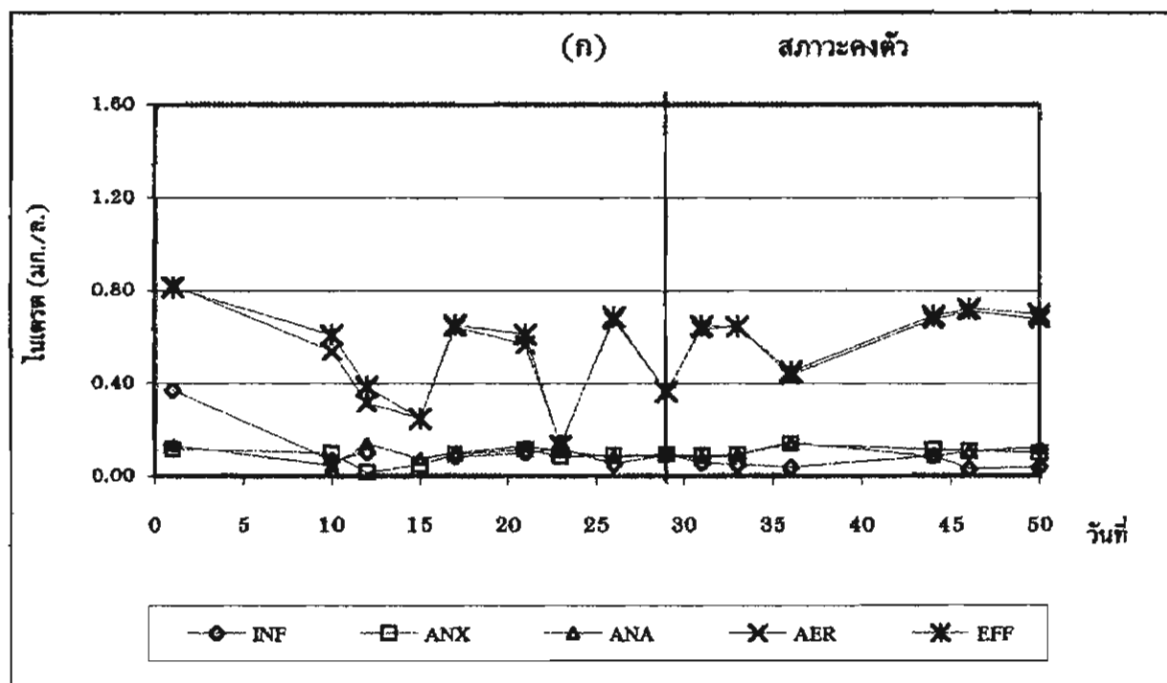


รูปที่ 4-26 เปรียบเทียบผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อที่เคเอ็น

(ก) อายุสลัดจ์ 40 วัน (ข) อายุสลัดจ์ 80 วัน



รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบผลของอายุสัปดาห์ที่มีต่อไนไตรต์
(ก) อายุสัปดาห์ 40 วัน (ข) อายุสัปดาห์ 80 วัน



รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบผลของอายุสัณฐานที่มีต่อโนเตรด
(ก) อายุสัณฐาน 40 วัน (ข) อายุสัณฐาน 80 วัน

เอสเอ็นดีของอายุสลัดจ์ 80 วันมีค่าสูงกว่าที่อายุสลัดจ์ 40 วัน ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนแอมโมเนียมไนโตรเจนในฟล็อกที่มากกว่า ซึ่งจะได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.9 ต่อไป

อย่างไรก็ตามแม้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีที่อายุสลัดจ์ 80 วันจะสูงกว่าที่ 40 วันก็ตาม แต่เนื่องจากแอมโมเนียที่เข้าส่วนเดิมออกซิเจนที่สูงกว่ามาก ทำให้ไนเตรตในน้ำทิ้งที่อายุสลัดจ์ 80 วันมีค่าสูงกว่าที่ 40 วัน

เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบแบคทีเรียเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate, SNR) พบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1.49 และ 1.39 มก.ทีเคเอ็น/ก.วีเอสเอส-ชม. ในการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของค่าอายุสลัดจ์ทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีอัตราต่ำกว่าการทดลองของ Zhang และคณะ (1997) ซึ่งเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ระหว่างระบบเอ็มปิอาร์กับระบบซีเอสเอส (Conventional A/S) พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบเอ็มปิอาร์สูงกว่าระบบซีเอสเอส โดยระบบเอ็มปิอาร์เท่ากับ 2.28 มก.แอมโมเนีย/ก.MLSS-ชม. และระบบซีเอสเอสเท่ากับ 0.96 มก.แอมโมเนีย/ก.MLSS-ชม.

อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าของระบบเนื่องจากในงานวิจัยต้องการให้อัตราของปฏิกิริยามีความใกล้เคียงกับสภาพของระบบมากที่สุด จึงไม่ได้เติมแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มก่อนการทดลองแบบแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าเท่ากับที่ออกจากส่วนไร้ออกซิเจน ซึ่งเท่ากับ 10.3 และ 13.2 มก./ล.สำหรับการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองตามมาตรฐานแล้วจะเติมแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนการทดลองให้ได้ประมาณ 20 มก.ไนโตรเจน/ล.

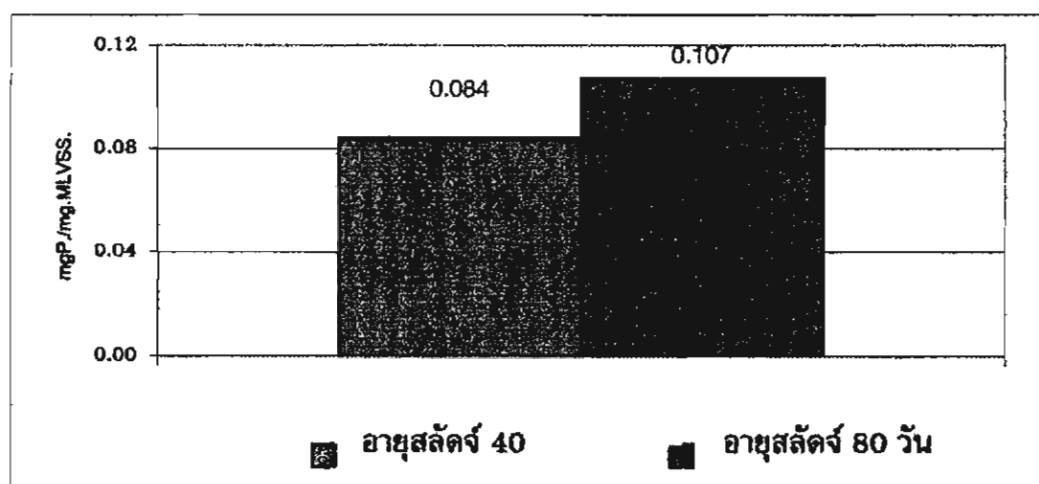
เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบแบคทีเรียเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate, SDNR) พบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.07 และ 0.19 มก. NO_3 /ก.วีเอสเอส-ชม. ในการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีค่าสูงขึ้นเมื่ออายุสลัดจ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากในการทดลองแบบแบคทีเรียของการทดลองที่ 3 มีค่าไนเตรตเริ่มต้นสูงกว่าในการทดลองที่ 2 โดยในการทดลองที่ 3 มีค่าไนเตรตเริ่มต้น 0.95 มก./ล. และการทดลองที่ 2 มีค่า 0.35 มก./ล.

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบต่ำกว่าการทดลองของ Zhang และคณะ (1997) ซึ่งพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของระบบเอ็มปิอาร์ที่มีการเติมสารอินทรีย์ในปฏิกิริยา มีค่าระหว่าง 4.25 – 6.40 ก.ไนเตรต/กก.SS-ชม. และ Metcalf และ Eddy (2002) ซึ่งรายงานว่าการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบแบบ Pre-Denitrification เท่ากับ 0.04 – 0.42 ก. NO_x / ก.VSS-วัน วัน (1.67–17.5 มก.ไนเตรต/ก.VSS-ชม.) ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองตามมาตรฐานแล้วจะเติมไนเตรตไนโตรเจนก่อนการทดลองให้ได้ประมาณ 20 มก.ไนโตรเจน/ล. ส่วนในงานวิจัยนี้ต้องการให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงสภาพจริง จึงไม่ได้เติมไนเตรตเพิ่มเข้าไป ทำให้ปริมาณไนเตรตเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากับไนเตรตและไนไตรต์ในส่วนเดิมออกซิเจน

จากการทดลองแบบแบตช์พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ในระบบสามารถลดไนเตรดไนโตรเจนให้ต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ภายใน 90 นาที และ 180 นาทีในการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จึงเป็นไปได้ว่าเวลากักน้ำของส่วนแอนนอนอกชีวมกับส่วนไร้ออกซิเจนที่ยาวนาน ทำให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จนส่วนใหญ่ของส่วนแอนนอนอกชีวมเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้น

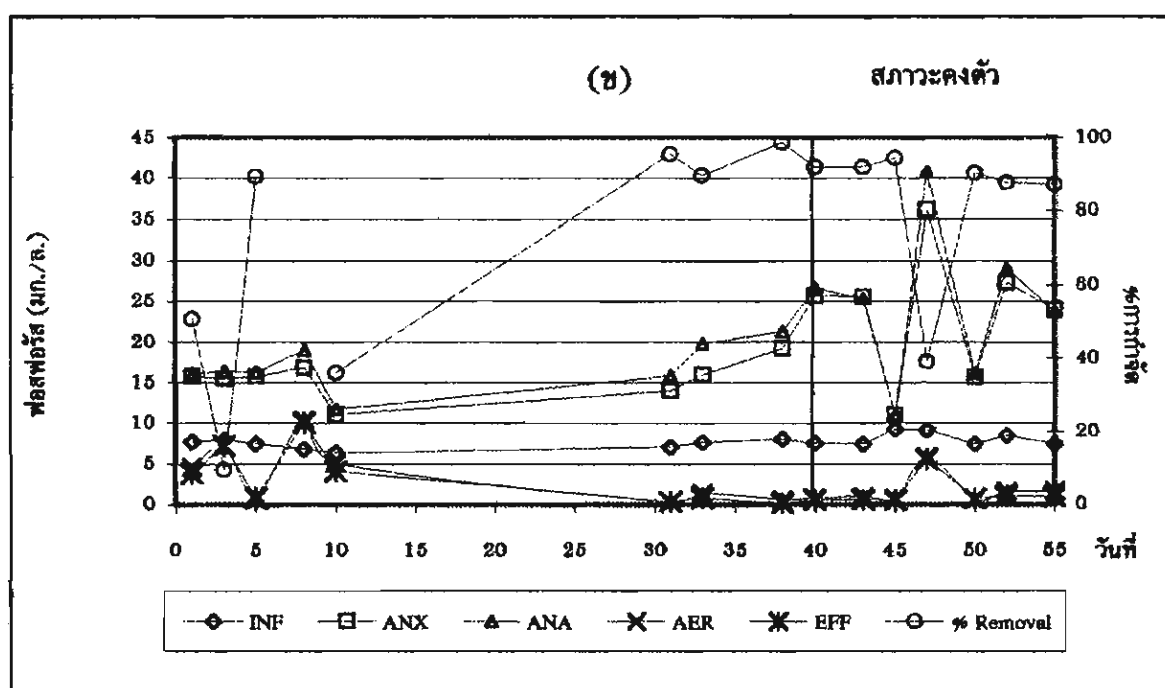
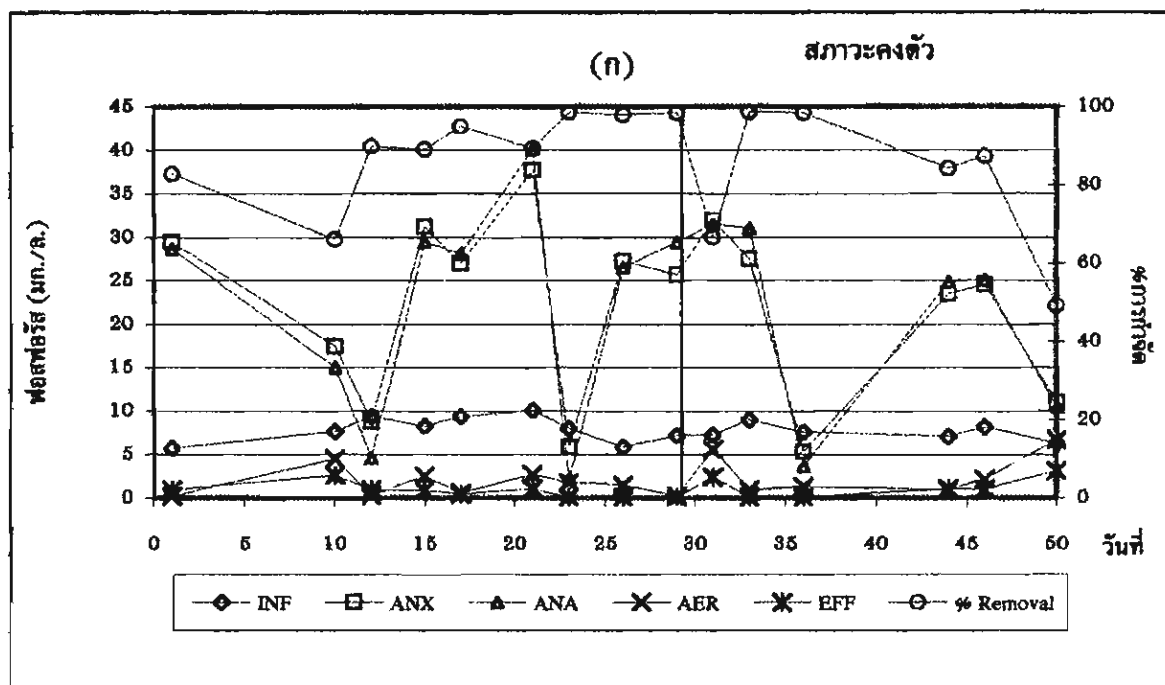
4.8.3 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

จากตารางที่ 4-18 พบว่า อายุสลัดจ์ของระบบที่ 40 วันและ 80 วันมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจาก อายุสลัดจ์ที่มากขึ้นทำให้ค่าฟอสฟอรัสในเซลล์ (Phosphorus Content) ของจุลินทรีย์มีค่ามากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดยังคงสูงอยู่ แม้มีอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินที่ลดลง ซึ่งการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินเป็นวิธีการเดียวที่จะระบายฟอสฟอรัสออกจากระบบในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ สอดคล้องกับการทดลองของ Wentzel และคณะ (1988 อ้างโดย WEF, 1998) ซึ่งพบว่าอัตราส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่าสูงขึ้นเมื่ออายุสลัดจ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการสลายตัวของพีเอไอมีค่าต่ำกว่าแบบที่เรียกแบบเฮเทอโรโทรฟในระบบ เมื่อควบคุมอายุสลัดจ์ให้สูงขึ้นจะทำให้สัดส่วนของพีเอไอในระบบสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของอายุสลัดจ์ที่ค่าต่าง ๆ

เมื่อนำจุลินทรีย์ในระบบมาทดลองแบบแบตช์เพื่อหาอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate, SPRR) พบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 17.05 และ 7.35 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม. ในการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับ ปริยดา เหล่ารุจิจินดา (2541) ได้ค่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะเท่ากับ 8.4 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม. เมื่อทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ อภิรติ คงใจ



รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบผลของอายุสัต์ที่มีต่อฟอสฟอรัส

(ก) อายุสัต์ 40 วัน (ข) อายุสัต์ 80 วัน

(2543) ซึ่งทดลองที่ 30 องศาเซลเซียสได้ค่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะเท่ากับ 17.69 มก. ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม.

อัตราการคายฟอสฟอรัสที่ต่ำเมื่ออายุสลัดจ์สูงขึ้น เนื่องจากการทดลองแบบแบตช์ของจุลชีพที่มีอายุสลัดจ์ 80 วัน มีในเครตที่เวียนมาจากส่วนเดิมออกซิเจนมากกว่าที่อายุสลัดจ์ 40 วัน พบว่าในเตรตครบวงจรอัตราการคายฟอสฟอรัสในระยะแรก ทำให้ในช่วง 90 นาทีแรก อัตราการคายฟอสฟอรัสที่อายุสลัดจ์ 40 วัน มีมากกว่าที่อายุสลัดจ์ 80 วันถึง 2 เท่า แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึง 300 นาที ค่าฟอสฟอรัสที่คายออกมาของทั้ง 2 การทดลองก็มีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการทดลองที่ว่าค่าฟอสฟอรัสที่ผ่านส่วนไร้ออกซิเจนแล้วมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 การทดลอง ดังนั้นเวลาเก็บกากของส่วนแอนน็อกซิก กับส่วนไร้ออกซิเจนจึงมีค่าเพียงพอดังกล่าวในการกำจัดฟอสฟอรัส จึงช่วยลดผลกระทบของไนเตรตได้ทั้งหมด

เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบแบตช์เพื่อหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR) พบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 3.38 และ 4.10 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม. ในการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในการทดลองของปรีดา เหล่าจุจินดา (2541) ได้ค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะเท่ากับ 18.0 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม. เมื่อทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ อภิรดี ดวงใจ (2543) ซึ่งพบว่าอัตราการจับใช้จำเพาะที่ 30 องศาเซลเซียสเท่ากับ 28.81 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม. เนื่องจากการทดลองแบบแบตช์สำหรับการทดลองนี้ ต้องการให้มีความใกล้เคียงกับสภาพของระบบมากที่สุด จึงไม่มีการเติมฟอสฟอรัสเพิ่มก่อนการทดลองแบบแบตช์ ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสละลายเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับในส่วนไร้ออกซิเจน ซึ่งในการทดลองปกติจะมีการเติมฟอสฟอรัส เพื่อให้ได้ค่าฟอสฟอรัสละลายเริ่มต้น 30 – 50 มก./ล.

การจับใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเดิมออกซิเจนของทั้ง 2 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกันตลอดที่ทำการทดลองแบบแบตช์ และสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสจนมีค่าต่ำกว่า 1 มก./ล. เมื่อทดสอบไปได้ 180 และ 360 นาที สำหรับการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

4.9 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในฟล็อก

จากการทดลองพบว่า ไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบมีค่าสูง ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในส่วนเดิมออกซิเจนของระบบ

เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเอ็นดีเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การเกิดเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของฟล็อก และการเกิดเนื่องจากชนิดของเชื้อจุลชีพ ดังนั้นในการทดลองจึงได้วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของระบบที่ค่าอายุสลัดจ์ 40 และ 80 วัน เพื่ออธิบายการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีอันเนื่องมาจากลักษณะกายภาพ รวมทั้งการบ่งบอกชนิดแบคทีเรียด้วยวิธีการฟิชเพื่อบอกชนิดของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจนเกิดขึ้นในระบบ

โดยการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Floc) ของระบบใช้เครื่อง Particle Size Analyser ของ Malvern Mastersizer ซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_{50}) หลังการทดลองที่ 2 เท่ากับ 140 ไมครอน และหลังการทดลองที่ 3 เท่ากับ 190 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคในทุกส่วนแอนนออกซิก ส่วนไร้ออกซิเจน และส่วนเติมออกซิเจนมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่ออายุสัปดาห์เท่ากัน

ขนาดอนุภาคในระบบมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคในระบบเอ็มปียาร์ที่ศึกษามาของ Zhang และคณะ (1997) ที่พบว่าขนาดอนุภาคในระบบเอ็มปียาร์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 60 ไมครอน อย่างไรก็ตามยังมีความสอดคล้องอยู่ที่ว่าขนาดอนุภาคในระบบเอ็มปียาร์เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นเอ็มแอลเอสเอสในระบบ โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กลง เมื่อความเข้มข้นเอ็มแอลเอสเอสลดลง

แต่จากการทดลองของ Choo และ Stensel (2000) ซึ่งใช้ระบบ SBMBR ในการบำบัดน้ำเสียพบว่า เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีขึ้นในระบบ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด 87 - 93% ซึ่งในระบบมีขนาดอนุภาคของฟล็อกประมาณ 140 ไมครอน ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับการทดลองนี้ ผู้วิจัยจึงเชื่อว่ามีปฏิกิริยาเอสเอ็นดีเกิดขึ้นในระบบด้วย

แต่เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดี ขึ้นอยู่กับขนาดของฟล็อก ค่าออกซิเจนละลาย และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (Pochana และ Keller, 1999) ผู้วิจัยจึงได้คำนวณอัตราส่วนสภาวะแอนนออกซิกต่อสภาวะเติมออกซิเจนในฟล็อก ตามขั้นตอนในงานวิจัยของ Choo และ Stensel (2000) โดยใช้สมการของ Muller และคณะ (1966) [สมการที่ 4-11] และสมการของ LaMotta (1976) [สมการที่ 4-12] ดังนี้

$$D_{O_2} = (0.14 d - 4.0) \times 10^{-5} \quad (4-11)$$

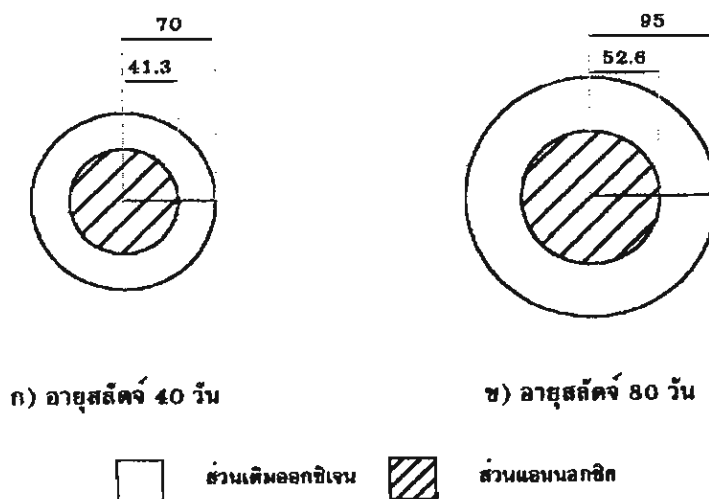
$$\delta = \left[\frac{2 D_{O_2} C_s}{\rho \text{ SOUR}} \right]^{0.5} \quad (4-12)$$

- เมื่อ D_{O_2} คือ อัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในฟล็อก (Oxygen Diffusivity)
 เท่ากับ 1.56×10^{-5} ซม.²/วินาที เมื่อขนาดฟล็อก 140 ไมครอน
 เท่ากับ 2.26×10^{-5} ซม.²/วินาที เมื่อขนาดฟล็อก 190 ไมครอน
- d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของฟล็อก (ไมครอน)
- δ คือ ความลึกของออกซิเจนที่ละลายเข้าไปในฟล็อก (ซม.)
- C_s คือ ออกซิเจนละลายที่ผิวหน้าฟล็อก (มก./ล.)
- ρ คือ ความหนาแน่นของฟล็อก เท่ากับ 1.06 กรัม/ซม.³
- SOUR คือ อัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ (มก./ก./ชม.)

ตารางที่ 4-20 เปรียบเทียบความลึกของออกซิเจนที่ซึมเข้าฟล็อก
ระหว่างอายุสัลต์จ์ 40 วัน และ 80 วัน

การทดลองที่	อายุสัลต์จ์รวม (วัน)	d (micron)	C _s (mg/L.)	SOUR (mgO ₂ /gVSS/hr.)	δ (micron)
2	40	140	5.12	18.270	28.7
3	80	190	4.57	10.830	42.4

จากการคำนวณพบว่า ทั้งการทดลองที่ 2 และ 3 ภายในฟล็อกจะเกิดสภาวะแอนน็อกซิกขึ้น เนื่องจากออกซิเจนไม่สามารถซึมเข้าไปในฟล็อกได้ทั้งหมด ตามรูปที่ 3-29 ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีโดยลักษณะทางกายภาพขึ้นในระบบ โดยการทดลองที่ 3 มีปริมาณส่วนแอนน็อกซิกสูงกว่าในการทดลองที่ 2 สอดคล้องกับการคำนวณโดยสมการสตอยชิโอเมตริกในหัวข้อที่ 4.8.2 ที่ว่าการลดลงของไนเตรตในการทดลองที่ 3 มีมากกว่าการทดลองที่ 2 ปฏิกิริยาเอสเอ็นดีที่เกิดขึ้น ทำให้ไนเตรตในน้ำทิ้งมีค่าต่ำทั้ง 2 การทดลอง



รูปที่ 4-31 สัดส่วนสภาวะแอนน็อกซิกต่อแอโรบิกในฟล็อก
ในส่วนเติมออกซิเจน

ตารางที่ 4-21 อัตราส่วนส่วนแอนนอกซิกและส่วนเติมออกซิเจนในฟล็อก

การทดลองที่	Vanx	Vaer	Vanx
	Vt	Vt	Vaer
2	0.20	0.80	0.26
3	0.17	0.83	0.20

อัตราส่วนของส่วนแอนนอกซิกและส่วนเติมออกซิเจนนี้มีความสำคัญต่ออัตรา การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะในส่วนเติมออกซิเจน เนื่อง จากแบบจำลองที่คำนวณนี้พบว่า จุลชีพในฟล็อกทั้งหมดไม่ได้ทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและ การจับใช้ฟอสฟอรัสขึ้น มีเพียงจุลชีพในส่วนเติมออกซิเจนในฟล็อกเท่านั้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น

ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะที่แท้จริง จึงต้องคำนวณเฉพาะ ส่วนเติมออกซิเจนในฟล็อกเท่านั้น แต่สำหรับการปรับแก้อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะไม่ สามารถคำนวณเฉพาะส่วนเติมออกซิเจนได้ เพราะในส่วนแอนนอกซิกภายในฟล็อกพีเอไอก็ สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้ เพียงแต่ใช้ในเตรตแทนออกซิเจนเท่านั้น ซึ่งการใช้ในเตรตออกซิโดซ์ พีเอเอนี้ให้อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสต่ำกว่าการใช้ออกซิเจน

ตารางที่ 4-22 เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ

การทดลองที่	Specific Nitrification Rate (mg.TKN/g.VSS-Hr.)	
	Observe	Truth
2	1.49	1.86
3	1.39	1.67

เมื่อพิจารณาว่าฟล็อกที่เกิดขึ้นในระบบมีขนาดเท่ากันทั้งในส่วนแอนนอกซิก ส่วน ไร้ออกซิเจน และส่วนเติมออกซิเจน ดังนั้นการแบ่งสภาวะของฟล็อกในส่วนแอนนอกซิก กับส่วน ไร้ออกซิเจน จึงควรจะมีลักษณะเดียวกัน แต่ในส่วนแอนนอกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจนจะเกิดสภาวะ แอนนอกซิกในส่วนนอกของผิวฟล็อก และในส่วนในของฟล็อกจะเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนเนื่อง จาก ไนเตรตซึมเข้าไปในฟล็อกได้บางส่วน

การคำนวณอัตราการแพร่ของไนเตรตเข้าไปในฟล็อกใช้สมการที่ 4-12 โดยใช้ ค่าไนเตรตรอบฟล็อกในระบบแทนค่า C_s ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (SDNR) แทนอัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ (SOUR) และใช้ค่าอัตราการแพร่ไนเตรตเข้าไป

ในฟล็อกจากสมการของ LaMotta (1976) สมการที่ 4-13 ซึ่งผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 4-23

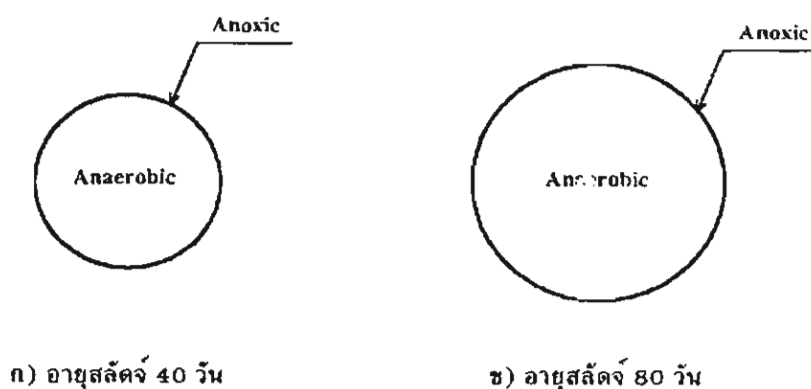
$$D = \frac{S_i (Qx)^2}{2 \rho \text{ SDNR } (1-x) A^2} \quad (4-13)$$

- เมื่อ D คือ อัตราการแพร่ของไนเตรตเข้าไปในฟล็อก
 S_i คือ ความเข้มข้นไนเตรตเริ่มต้น
 Q คือ อัตราการไหลผ่านฟล็อก
 x คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรต
 ρ คือ ความหนาแน่นของฟล็อก เท่ากับ 1.06 กรัม/ซม.³
 SDNR คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ
 A คือ พื้นที่ผิวของฟล็อก

ตารางที่ 4-23 เปรียบเทียบความลึกของไนเตรตที่ซึมเข้าฟล็อก
ระหว่างอายุสัตจ์ 40 วัน และ 80 วัน

การทดลองที่	อายุสัตจ์รวม (วัน)	D ($\times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s.}$)	C_{NO_x} (mg/L.)	SDNR (mgNO ₃ /gVSS/hr.)	δ (micron)
2	40	7.92	0.60	0.070	1.1
3	80	7.30	1.20	0.190	0.9

จากการคำนวณพบว่าเกิดส่วนแอนนอนอกซิกที่ฟล็อกน้อยมาก เนื่องจากมีไนเตรต
 เวียนมาจากส่วนเดิมออกซิเจนต่ำ ดังนั้นฟล็อกและส่วนแอนนอนอกซิกส่วนใหญ่ จึงเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้น ตามรูปที่ 4-32



รูปที่ 4-32 สัดส่วนสถานะแอนน็อกซิกต่อแอนแอโรบิกในฟล็อก
ในส่วนแอนน็อกซิก

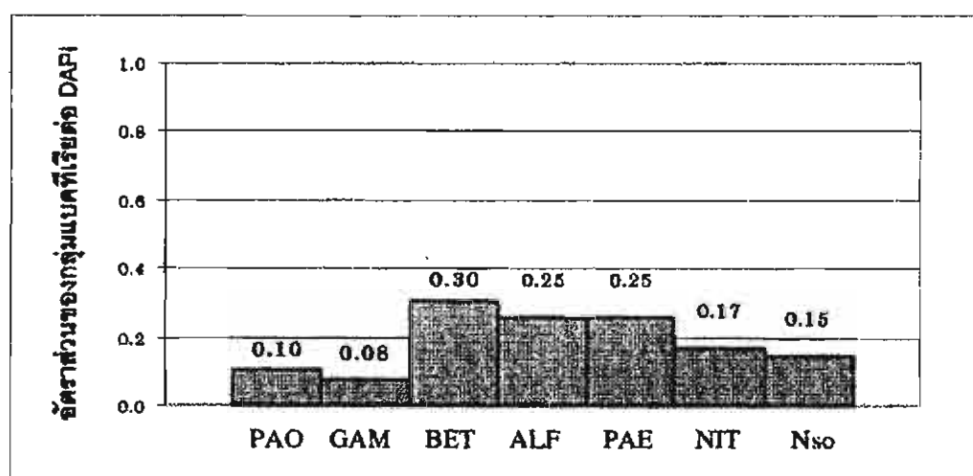
4.10 ชุมชนของแบคทีเรียในระบบ (Bacterial Community)

จากการวิเคราะห์ชุมชนของแบคทีเรียในระบบด้วยวิธีการพีช โดยใช้ไพรอบชนิดต่างๆ ที่
จำเพาะกับแบคทีเรียแต่ละกลุ่ม และแต่ละชนิดตามตารางที่ 4- 24

ตารางที่ 4-24 ไพรอบที่ใช้ในการทดลองและความจำเพาะต่อแบคทีเรีย

ไพรอบที่ใช้	แบคทีเรียที่จำเพาะต่อไพรอบ
PAO(mix)	PAO-cluster
GAM42	gamma subclass Proteobacteria
BET42	beta subclass Proteobacteria
ALF968	alpha subclass Proteobacteria
PAE997	Pseudomonas spp.
NTT8	Nitrobacter spp.
Nso190	betaproteobacterial ammonia-oxidizing bacteria

การวิเคราะห์ได้กระทำหลังการทดลองที่ 2 และ 3 จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนของ
แบคทีเรียในระบบเป็นไปตามรูปที่ 4-33



รูปที่ 4-33 อัตราส่วนของแบคทีเรียกลุ่มต่างๆในระบบ

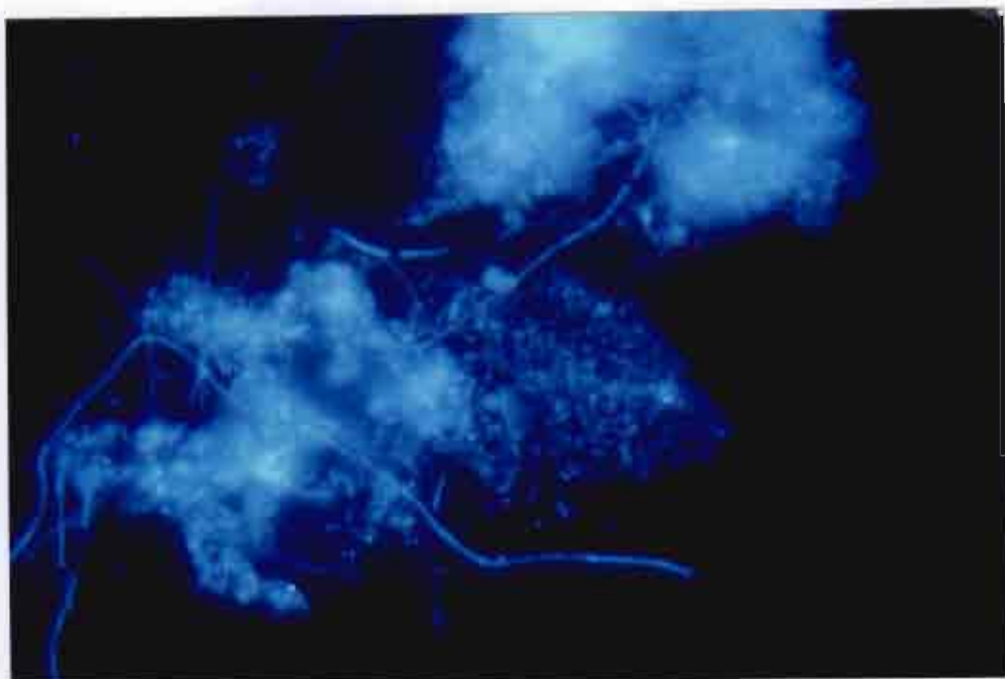
จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียกลุ่มเด่นในระบบได้แก่ beta subclass Proteobacteria และ alpha subclass Proteobacteria ดังแสดงในรูปที่ 4-34 และ 4-35 ตามลำดับ ส่วน gamma subclass Proteobacteria ในรูปที่ 4-36 นั้นมีสัดส่วนน้อยที่สุดในระบบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาว่าระบบที่กำลังจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้อย่างเพิ่มพูนนั้นมี beta subclass Proteobacteria และ High % G+C gram positive bacteria (HGCGPB) เป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่นของระบบ (Lee และคณะ, 2002 ; Bond และคณะ, 1999) เช่นเดียวกับระบบเอ็มบีอาร์ที่ใช้กำลังจัดไนโตรเจนในการศึกษาของ Luxmy และคณะ (2000) ซึ่งพบ beta subclass Proteobacteria และ alpha subclass Proteobacteria เป็นแบคทีเรียกลุ่มเด่นในระบบ

4.10.1 ชุมชนแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจน

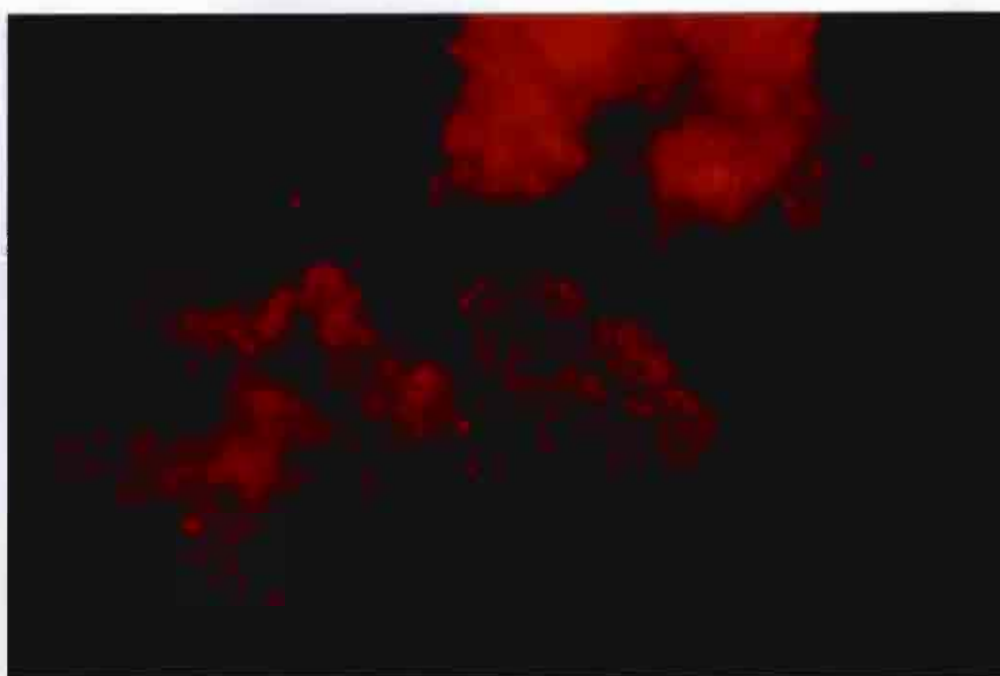
แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม beta subclass proteobacteria ammonia oxidizing bacteria (AOB) ซึ่งบ่งชนิดได้ด้วยโพรบ Nso190 ดังแสดงในรูปที่ 4-37 และ *nitrobacter ssp.* ซึ่งบ่งชนิดได้ด้วยโพรบ NIT3 ดังแสดงในรูปที่ 4-38 ทั้งนี้เนื่องจากระบบควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ค่าสูงทำให้แบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มที่มีอัตราการเติบโตจำเพาะต่ำ สามารถดำรงอยู่ในระบบได้

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเอสเอ็นดีที่ถูกยอมรับได้แก่ *Thiosphaera Pantotropha* ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ในเวลาเดียวกัน (Seviuor และ Blackall, 1999)

นอกจากนี้แบคทีเรียตัวอื่นที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีได้แก่ *Alcaligenes faecalis* *Pseudomonas aeruginosa* และ *Zoogloea ramigera* (Robertson และ Kuenen, 1992 อ้างโดย Seviuor และ Blackall, 1999)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-34 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าซัคคลาสด้วยวิธีฟิช
 (ก) จุลชีพที่ตอบสนองต่อ DAPI (ข) จุลชีพที่ตอบสนองต่อโพรบ BET42