

ผลของอัตราส่วนเวลากักแวนแวนโรบิก/แวนโรบิกที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์
แป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการแยกทีเวเต็ดสลดัจชนิดเอสปีอาร์แบบแวนแวนโรบิก/แวนโรบิก



นายฉนิทร์ ปัญญาภิญโญผล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

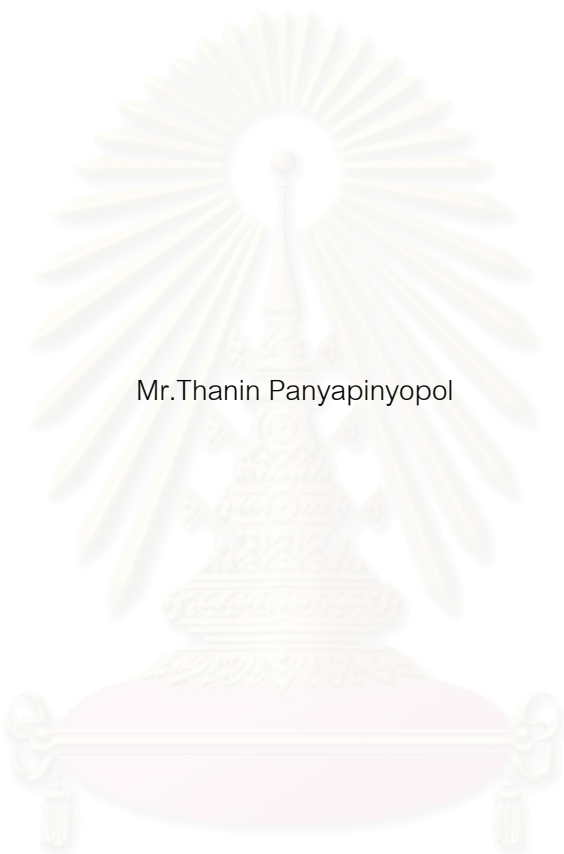
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0583-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF ANAEROBIC/AEROBIC RETENTION TIME RATIO ON THE EFFICIENCY OF SYNTHETIC
TAPIOCA WASTEWATER TREATMENT BY AN ANAEROBIC/AEROBIC SBR ACTIVATED SLUDGE PROCESS



Mr.Thanin Panyapinyopol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0583-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของอัตราส่วนเวลาพักแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่มีผลต่อประสิทธิภาพ
ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลังโดยกระบวนการ
แยกทีเวเต็ดสลดจ์ชนิดเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก
โดย นายธนิษฐ์ ปัญญาภิญโญผล
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง ไฉ่ห้วงศ์วัฒน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

ธนินทร์ ปัญญาภิญญผล : ผลของอัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แบ่งมันสำปะหลังโดยกระบวนการแยกที่เวเต็ดสล์ดจ์ชนิดเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก. (Effect of Anaerobic/Aerobic Retention Time Ratio on the Efficiency of Synthetic Tapioca Wastewater Treatment by an Anaerobic/Aerobic SBR Activated Sludge Process) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 124 หน้า. ISBN 974-13-0583-4

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์แบ่งมันสำปะหลังที่มี ซีไอดี 8,256-9,090 มก./ล. (บีไอดี 6,000-6,800 มก./ล.) โดยใช้ระบบเอสปีอาร์ขนาด 10 ลิตร เวลาวัฏจักร 12 ชั่วโมง อัตราส่วนน้ำที่เติม (V_d) ต่อน้ำค้างถัง (V_0) เท่ากับ 1 : 9 งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกแปรสัดส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิก 3 ค่า ได้แก่ 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8 ชั่วโมง ที่อายุสล์ดจ์ 7 วัน เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวพบว่า 3 ชุดการทดลองดังกล่าว มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีร้อยละ 98.7, 99.2 และ 99.4 ตามลำดับ โดยมีค่า F/M_v เท่ากับ 0.21-0.26 และซีไอดีที่ลดลงเกือบทั้งหมดถูกกำจัดในช่วงแอนแอโรบิก สำหรับขั้นตอนที่ 2 ได้เลือกสัดส่วนเวลากัก 5.5/5.5 มาทำการแปรค่าอายุสล์ดจ์เพิ่มเติมอีก 2 ค่า คือ 3 และ 5 วัน โดยเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวชุดการทดลองที่อายุสล์ดจ์ 3 และ 5 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากันที่ร้อยละ 98.9 ทั้งนี้มีค่า F/M_v เท่ากับ 0.47 และ 0.34 ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่เหมาะสมคือ 5.5/5.5 ชม. และอายุสล์ดจ์ 7 วัน โดยพิจารณาจากความไวในการเกิดสล์ดจ์อัดและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่ากระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกเมื่อเดินระบบอย่างถูกต้อง สามารถช่วยลดปัญหาสล์ดจ์อัดเนื่องจากสารอาหารชนิดแบ่งมันสำปะหลังได้ โดยสามารถให้ค่าเอสวีไอ 26-32 มล./ก.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2543.....

4070296021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORDS : ANAEROBIC-AEROBIC PROCESS / ANAEROBIC-OXIC PROCESS /
A/O PROCESS / TAPIOCA STARCH / HYDRAULIC RETENTION TIME

THANIN PANYAPINYOPOL : EFFECT OF ANAEROBIC/AEROBIC RETENTION
TIME RATIO ON THE EFFICIENCY OF SYNTHETIC TAPIOCA WASTEWATER
TREATMENT BY ANAEROBIC/AEROBIC SBR ACTIVATED SLUDGE PROCESS.

THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D., pp.124. ISBN 974-
13-0583-4

The effect of the ratio of anaerobic/aerobic retention time on the COD removal efficiency was studied by using 10 L SBR reactors with an influent volume (V_i) : retaining volume (V_0) ratio of 1 : 9 and 12-hours cycle time. A tapioca starch wastewater was synthesized to have COD concentration in the range of 8,256-9,090 mg/l (BOD 6,200-6,800 mg/l). The experiments consisted of 2 parts; firstly, three anaerobic/aerobic retention time ratio of 8/3, 5.5/5.5 and 3/8 hours were used at 7 days sludge age, from which the COD removal efficiencies at steady state and F/M_v ratio of 0.21-0.26 day^{-1} were 98.7, 99.2, and 99.4 percent, respectively. Most of COD removal occurred in the anaerobic condition.

Secondly, the anaerobic/aerobic retention time ratio of 5.5/5.5 was selected for a subsequent study at sludge age of 3 and 5 days. During the steady state, the COD removal efficiencies was 98.9 percent for both sludge age, at F/M ratio of 0.47 and 0.34 day^{-1} , respectively.

The results shown that the anaerobic/aerobic retention time ratio of 5.5/5.5 at sludge age of 7 days was considered to be the most suitable operating condition based on sensitivity to sludge bulking and operating cost, and also indicated that if this process was properly operated, it could decrease sludge bulking problem which might be caused by substrate like tapioca starch. The sludge volume index (SVI) of this experiment was in the range of 26-32 ml/g.

Department Environmental Engineering..... Student's signature.....

Field of study Environmental Engineering..... Advisor's signature.....

Academic year 2000.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาตรวจทานงานวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

คุณจันทวรรณ ต้นเจริญ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปริญาโท-เอก เพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการทุกท่าน น้องชายผู้วิจัย และ นส.สุธิดา นิธิกุล ซึ่งได้ช่วยพิมพ์และตรวจทาน และทำยี่สิบสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาซึ่งช่วยสนับสนุนทุกๆด้านจนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
2. ทบทวนเอกสาร.....	5
2.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch แบบมาตรฐาน.....	5
2.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง.....	11
2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง.....	11
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง.....	12
2.5 กระบวนการแยกทิวเต็ดสไลด์จ์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก.....	13
2.6 จีเอไอ.....	18
2.7 การควบคุมสไลด์จ์.....	22
2.8 กระบวนการเอสปีอาร์.....	24
2.9 การศึกษาที่ผ่านมา.....	26
3. แผนการทดลอง.....	30
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2 แผนการทดลอง.....	33
3.3 ตัวแปรคงที่ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม.....	34
3.4 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	38
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	39
4.1 พารามิเตอร์ทั่วไป.....	45
4.1.1 อุณหภูมิ.....	45
4.1.2 พีเอช.....	45
4.1.3 ออกซิเจนละลาย.....	49
4.1.4 ไออาร์พี.....	51
4.1.5 สภาพต่างและสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย.....	53
4.1.6 เอสวี30 และเอสวีไอ.....	56
4.1.7 เอสเอส.....	61
4.1.8 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอส ต่อเอ็มแอลเอสเอส.....	61
4.1.9 ซีไอดีและบีไอดี.....	63
4.1.10 ทีเคเอ็น, ไนโตริต และไนเตรต.....	66
4.1.11 ฟอสฟอรัส.....	69
4.1.12 การวิเคราะห์กลุ่มจุลชีพในระบบ.....	71
4.2 อัตราส่วนเวลากักแวนแอโรบิก/แอโรบิก.....	72
4.3 อายุสลัดจ์.....	74
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก. ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองต่างๆ.....	91
ภาคผนวก ข. ข้อมูลโพรไฟล์ของชุดการทดลองต่างๆ.....	113
ภาคผนวก ค. วีดิโอแลตเตอร์.....	119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	124

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 11
ตารางที่ 2.2	มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตแป้งมันดัดแปรและโรงงานผลิตแป้งมันแปรรูป ที่ระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ..... 12
ตารางที่ 2.3	เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำเสียระหว่าง กระบวนการเอ/โอ และเอสธรรมดาที่ Seibu Sewage Work, ญี่ปุ่น..... 17
ตารางที่ 2.4	การดูดซึมและสะสมคาร์บอนในสถานะแอนแอโรบิกในระบบ แอนแอโรบิก/แอโรบิกแอกทิเวเต็ดสลัดจ์..... 20
ตารางที่ 2.5	การใช้งานกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ชนิดเอ/โอ ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม..... 23
ตารางที่ 2.6	จำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่พบจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยชนิดต่างๆ เป็นกลุ่มเด่นในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์..... 24
ตารางที่ 3.1	ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 35
ตารางที่ 3.2	สูตรน้ำเสียสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง..... 36
ตารางที่ 3.3	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ... 37
ตารางที่ 3.4	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 38
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 8/3..... 42
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 5.5/5.5..... 43
ตารางที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 3/8..... 44
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยสภาพต่างและสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8..... 53
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยซีไอดีในสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8..... 63
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8..... 68
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสละลายในวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8..... 69

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ที่อายุสัปดาห์ 3 วัน.....	75
ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ที่อายุสัปดาห์ 5 วัน.....	76



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเบ็งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน ที่ไม่มี การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่.....	9
รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเบ็งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน ที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่.....	10
รูปที่ 2.3 กระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก.....	13
รูปที่ 2.4 กลไกการทำงานของจุลชีพที่สะสมฟอสฟอรัส.....	15
รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของจุลชีพที่สะสมกลัยโคเจน.....	15
รูปที่ 2.6 การดูซึมกลูโคสในสภาวะแอนแอโรบิกและสะสมกลัยโคเจน ในแอนแอโรบิก/แอโรบิกแยกทีละขั้นตอน.....	20
รูปที่ 2.7 การทำงานของกระบวนการเอสปีอาร์.....	25
รูปที่ 2.8 กระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก.....	26
รูปที่ 2.9 กระบวนการที่แนะนำให้ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบ็งมันดัดแปร...	28
รูปที่ 3.1 ขนาดถึงปฏิกริยาแบบเอสปีอาร์.....	30
รูปที่ 3.2 Programmable controller.....	31
รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบเอสปีอาร์.....	32
รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้ควบคุมการเดินระบบ.....	40
รูปที่ 4.3 คุณสมบัติในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	46
รูปที่ 4.4 โพรไฟล์พีเอชของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	47
รูปที่ 4.5 พีเอชในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	48
รูปที่ 4.6 โพรไฟล์ออกซิเจนละลายของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	49
รูปที่ 4.7 ออกซิเจนละลายในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	50
รูปที่ 4.8 ไออาร์พีในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	52
รูปที่ 4.9 โพรไฟล์ไออาร์พีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8	53
รูปที่ 4.10 โพรไฟล์สภาพต่างและสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 เอสวีไอในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	57
รูปที่ 4.12 ลักษณะสัณฐานของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ในวันที่ 119.....	58
รูปที่ 4.13 ลักษณะของสัณฐานในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลอง 5.5/5.5.....	58
รูปที่ 4.14 เอสเอสในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	60
รูปที่ 4.15 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	62
รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	63
รูปที่ 4.17 ซีไอดีในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	64
รูปที่ 4.18 โพรไฟล์ซีไอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	65
รูปที่ 4.19 ทีเคเอ็นในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	67
รูปที่ 4.20 ฟอสฟอรัสละลายในวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	70
รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	73
รูปที่ 4.22 ค่าเอสวีไอของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8.....	74
รูปที่ 4.23 คุณสมบัติของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5 ซึ่งเดินระบบขนานกัน...	77
รูปที่ 4.24 พีเอชของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	78
รูปที่ 4.25 ไออาร์พีของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	78
รูปที่ 4.26 ออกซิเจนละลายของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	79
รูปที่ 4.27 เอสวีไอของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	79
รูปที่ 4.28 เอสเอสของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	80
รูปที่ 4.29 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	80
รูปที่ 4.30 ซีไอดีของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	81
รูปที่ 4.31 ทีเคเอ็นของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	81
รูปที่ 4.32 ฟอสฟอรัสละลายของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5.....	82

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.33	
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อายุสัปดาห์ต่างกันของอัตราส่วน	
เวลากักน้ำ 5.5/5.5.....	82
รูปที่ 4.34	
โพรไฟล์พารามิเตอร์ต่างๆของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3, 5.5/5.5-5	
และ 5.5/5.5-7.....	83
รูปที่ 4.34(ต่อ)	
โพรไฟล์พารามิเตอร์ต่างๆของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3, 5.5/5.5-5	
และ 5.5/5.5-7.....	84



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การเพาะปลูกมันสำปะหลังและอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นการเกษตรและอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ.2537 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 8.82 ล้านไร่ และพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยผลผลิตในปีนั้นมีประมาณ 19.1 ล้านตัน ร้อยละ 30 ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ส่วนอีกร้อยละ 70 ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด(สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้ เป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด native starch อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันดัดแปร (modified starch) และอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันแปรรูป โดยแป้งมันสำปะหลังชนิด native starch จะเป็นวัตถุดิบให้แก่การผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป

ในการผลิตแป้งมันดัดแปรจะนำแป้งมันสำปะหลังมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางกายภาพจากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แป้งมันดัดแปรมีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวนวลหรือสีน้ำตาลอ่อน ส่วนในการผลิตแป้งมันแปรรูปจะนำแป้งมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นกลูโคส ฟรุคโตสและซอร์บิตอลโดยกระบวนการย่อยแป้ง

แต่ในประเทศไทยโรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานผลิต native starch ซึ่งโรงงานชนิดนี้เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสูงและให้น้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก จากผลการศึกษาดังแสดงใน สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540) สรุปได้ว่า การผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้จำนวน 1 ตัน จะผลิตน้ำเสียปริมาณ 10-20 ลบ.ม. และมีค่าบีโอดีประมาณ 55-200 กิโลกรัม ซีโอดีประมาณ 130-400 กิโลกรัม ของแข็งแขวนลอย 40-140 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 0.2-0.6 กิโลกรัม และไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 3-10 กิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับ ความสกปรกในรูปบีโอดีจากประชากร 920-3,400 คน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมัน

ลำปะหลังชนิด native starch โดยทั่วไปจำนวน 1 แห่ง ที่มีกำลังผลิตเฉลี่ย 100-200 ตันแป้ง/วัน จึงให้น้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปบีโอดีเทียบเท่าประชากรจำนวน 92,000-680,000 คน

ในอดีต การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดใหญ่ และมีค่าใช้จ่ายสูง ดังเช่นระบบบำบัดแบบบ่อแอนแอโรบิก ซึ่งมีข้อดีคือการก่อสร้างและดำเนินการทำได้ง่าย มีการบำรุงรักษาน้อย แต่มักต้องตามด้วยบ่อแฟคัลเททีฟหรือบ่อแอโรบิก และต้องใช้พื้นที่มากเนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำ โดยอาจต้องใช้เวลากักน้ำรวมของระบบถึง 85 วัน ที่ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี 7,400 มก./ล. (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) และมักพบปัญหากลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ในบ่อแอนแอโรบิก ในปัจจุบันที่ดินมีราคาสูง และมีชุมชนอยู่รอบโรงงานมากขึ้น ดังนั้นปัญหาข้างต้นจึงทวีความรุนแรงมากขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งจำเป็นต้องดำเนินการหาวิธีแก้ไข

ในกรณีที่ดินมีราคาแพงโรงงานอาจเลือกใช้ระบบบำบัดแบบเอเอสหรือใช้ถังปฏิริยาแอนแอโรบิก เช่น ถังกรองไร้อากาศหรือยูเอเอสบี แล้วตามด้วยระบบเอเอส ซึ่งก็สามารถช่วยลดการใช้พื้นที่ลงได้มาก แต่จากรายงานของ Chudoba (1985) อ้างโดย Kanchit (1993) พบว่าน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของแซกคาไรด์จะทำให้ระบบเอเอสเกิดปัญหาสลดจืดได้ง่าย

กระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกเป็นกระบวนการหนึ่งที่พบว่ามีข้อดีและสมควรแก่การทดลองหาข้อมูลด้านการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เพื่อนำไปประยุกต์ในงานจริงต่อไป สำหรับข้อดีของกระบวนการนี้พอจะสรุปได้ ดังนี้

- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากแป้งมันสำปะหลังได้สูงมาก ในช่วงแอนแอโรบิก โดยสามารถลดซีโอดีได้เกือบหมดภายใน 2-3 ชั่วโมง เนื่องจากกลไกการกำจัดสารอาหารไม่ใช่เป็นการออกซิเดชันสารอินทรีย์ แต่เป็นกลไกการสะสมพลังงานในรูปพีเอชเอ (polyhydroxyalkanoate, PHA) และเปลี่ยนเป็นกลัยโคเจนในช่วงแอโรบิก (ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2543)

- ลดปัญหาการเกิดสลัดจ์จืด

การนำช่วงแอนแอโรบิกมานำหน้าช่วงแอโรบิกจะสามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนดีขึ้น (Randall และคณะ, 1992) และกระบวนการนี้ได้ถูกนำไปใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียชนิดที่มีความสกปรกในรูปบีโอดีสูงและมักเกิดปัญหาสลัดจ์จืดได้ง่าย เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตแป้ง อุตสาหกรรมการผลิตอาหาร (Kanchit Wongsangchantra, 1993)

- ความเสถียรของระบบ

กระบวนการนี้ถูกพบว่าสามารถให้น้ำออกที่มีคุณภาพดีกว่าระบบเอเอสในรูปของบีโอดีและเอสเอส (Randall และคณะ, 1992)

อย่างไรก็ตามเรายังไม่ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงของกระบวนการนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น เนื่องจากกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกมีกลไกการกำจัดสารอาหารที่แตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ คือเป็นการดูดซึมสารอาหารในช่วงแอนแอโรบิกเข้าไปสะสมภายในเซลล์ในรูปพีเอชเอ ทำให้ระบบสามารถลดซีโอดีได้เร็วมากในช่วงแอนแอโรบิก

เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ แบกที่เรียกจำเป็นต้องย่อยสลายเป็นสารโมเลกุลเล็กก่อนจึงสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ การแปรค่าสัดส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกนี้จึงเป็นการหาสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งจำเป็นในการบำบัดน้ำเสียชนิดนี้

นอกจากนี้การที่สัดส่วนแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าอุปกรณัมและค่าดำเนินการของระบบด้วย เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการกวนในช่วงแอนแอโรบิกจะน้อยกว่าพลังงานที่ต้องใช้ในการเติมอากาศ การใช้ช่วงแอนแอโรบิกที่นานขึ้นจะสามารถช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในระบบลงได้

การศึกษาเพื่อนำระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงมาใช้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดลง รวมทั้งสามารถควบคุมคุณภาพของน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานก่อนที่จะระบายออกสู่ภายนอกได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกมาบำบัดน้ำเสีย (สังเคราะห์ที่เลียนแบบน้ำเสีย)จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกโดยมีเวลาวัฏจักรเท่ากัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ใช้กระบวนการแยกที่เวเต็ดสลัดจ์ชนิดแอนแอโรบิก/แอโรบิกแบบเอสปีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง
2. ใช้น้ำเสียสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลัง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch แบบมาตรฐาน

หลักการในการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้คือการสกัดแป้งออกจากเนื้อของรากมันสำปะหลังโดยใช้น้ำเป็นตัวสกัดและใช้เครื่องกล เช่น การเหวี่ยงแยก (centrifuge) ในอัตรารอบสูงๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการผลิตก็จะมีวัตถุประสงค์เหลือทิ้งที่เป็นของแข็งและของเหลว โดยวัตถุประสงค์เหลือทิ้งที่เป็นของเหลวในขั้นตอนนั้นหากไม่มีการนำกลับไปใช้ใหม่ก็จะกลายเป็นน้ำทิ้งที่จะต้องนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

ขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด native starch แบบมาตรฐาน (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) มีดังนี้

2.1.1 การกำจัดเศษรากมันสำปะหลัง

เพื่อกำจัดเศษรากมันสำปะหลังที่ติดมาด้วยซึ่งจะลดประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือก วัตถุประสงค์เหลือจากขั้นตอนนี้จะเศษรากมันซึ่งจะถูกนำไปขายเพื่อทำเป็นเชื้อเพลิง หรือเผาทิ้งและฝังกลบภายในโรงงานเอง

2.1.2 การรับและตรวจสอบคุณภาพหัวมันสำปะหลัง

รากมันสำปะหลังจะถูกชั่งน้ำหนักและผ่านการทดสอบหาปริมาณแป้งโดยอาศัยหลักการลอยตัวของวัตถุในของเหลวเพื่อตีราคาซื้อขาย จากนั้นจะถูกนำไปเทรวมไว้บนลานวัตถุดิบและมักจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตใน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันปริมาณแป้งในหัวมันลดต่ำลง

2.1.3 การเตรียมรากมันสำปะหลัง

- การกำจัดเศษดินทราย

รากมันสำปะหลังที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะถูกส่งเข้าตะแกรงร่อนดินและทรายเพื่อกำจัดดินทรายที่ติดมาและทำให้ผิวนอกของรากมันหลุดออก ในขั้นตอนนี้โดยทั่วไปจะมีวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งประมาณ 20 กก./ตัน รากมันสำปะหลังสด

- การปอกเปลือกและการล้างรากมันสำปะหลัง

รากมันสำปะหลังที่ผ่านจากตะแกรงร่อนดินทรายจะถูกส่งเข้าเครื่องปอกเปลือกและเครื่องล้างรากมันสำปะหลังซึ่งจะใช้วิธีฉีดน้ำพ่นเป็นฝอยเพื่อทำความสะอาด เศษเปลือกมันสำปะหลังจะขายให้เกษตรกรที่จะนำไปใช้เพาะเห็ด สำหรับในขั้นตอนนี้จะได้วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวคือน้ำทิ้งจากการล้างรากมันสำปะหลัง 1.6 ลบ.ม./ตันรากมันสำปะหลังสด และวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เปลือกรากมันสำปะหลัง 0.03 ตัน/ตันรากมันสำปะหลังสดและเศษดินทราย 0.025 ตัน/ตันรากมันสำปะหลังสด

2.1.4 การบดรากมันสำปะหลัง

- การสับและขูดรากมันสำปะหลัง

เครื่องสับรากมันจะสับให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วชิ้นมันจะตกสู่เครื่องขูดรากมันซึ่งอยู่ด้านล่างทำให้ได้ชิ้นละเอียดขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดแป้ง

- การแยก Fruit water ด้วยดีแคนเตอร์

รากมันสำปะหลังสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากถึง 60-70% และในน้ำ (fruit water) จะมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ โพแทสเซียม (K) สารประกอบไนโตรเจน (N) และสารประกอบฟอสฟอรัส (P) ในปริมาณสูง ซึ่งน้ำในส่วนนี้สามารถย่อยสลายได้ง่ายทำให้เกิดอัลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ทำให้แป้งที่ได้มีคุณภาพต่ำลง โรงงานหลายแห่งจึงทำการแยก fruit water ออกก่อนโดยการใช้น้ำดีแคนเตอร์ซึ่งน้ำที่ได้จะไปปนกับน้ำทิ้งจากขั้นตอนสับและบดรากมันสำปะหลังสดรวมประมาณ 1.0 ลบ.ม./ตันรากมันสำปะหลังสด

2.1.5 การสกัดแบ่ง

หลังจากทำการแยก fruit water แล้ว กากมันจะถูกเติมน้ำและนำเข้าสู่เครื่องสกัดแบ่ง (extractor) เพื่อแยกเซลล์ลิวโซออกจากแบ่ง โดยในขั้นตอนนี้ในกรณีที่โรงงานไม่มีการแยก fruit water ออกหรือแยกออกได้ไม่หมดมักมีการเติมน้ำกำมะถันลงไปด้วยเพื่อป้องกันการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งจะเปลี่ยนแบ่งเป็นกรดแลคติก โรงงานส่วนใหญ่จะใช้ชุดสกัด 3 ชุดแต่โรงงานขนาดใหญ่อาจใช้ถึง 4 ชุดต่อเนื่องกัน โดยชุดแรกเป็นการสกัดหยาบจะใช้ตะแกรงขนาด 60-80 เมช (mesh) และชุดสุดท้ายจะเป็นการสกัดละเอียดโดยใช้ผ้ากรองขนาด 90 เมช การทำงานเป็นเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง ในขณะที่เครื่องหมุนอยู่ก็จะมี การป้อนมันสำปะหลังตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันก็จะมี การฉีดน้ำเข้ามาอย่างสม่ำเสมอในลักษณะ counter-current

กากมันสำปะหลังจากขั้นตอนี้จะมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 90-95 และมีปริมาณแบ่งน้อยมาก กากมันสำปะหลังจะถูกแยกออกจากน้ำแบ่งและนำเข้าสู่เครื่องอัดกากและนำไปตากแดดเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ต่อไป น้ำแบ่งที่ได้จะมีความเข้มข้นประมาณ 3 Be' (54 กก.แบ่งแห้งในน้ำ 1 ลบ.ม.) สำหรับสิ่งเจือปนต่างๆ ทั้งที่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน น้ำตาลหรือ fruit water และสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น กากมัน และเส้นใย จะถูกกำจัดออกหมดในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแบ่ง

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากขั้นตอนี้คือ กากมันสำปะหลัง 60 กก./ตันรอกมันสำปะหลังสด วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกาก 0.2 ลบ.ม./ตันรอกมันสำปะหลังสด

2.1.6 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแบ่ง

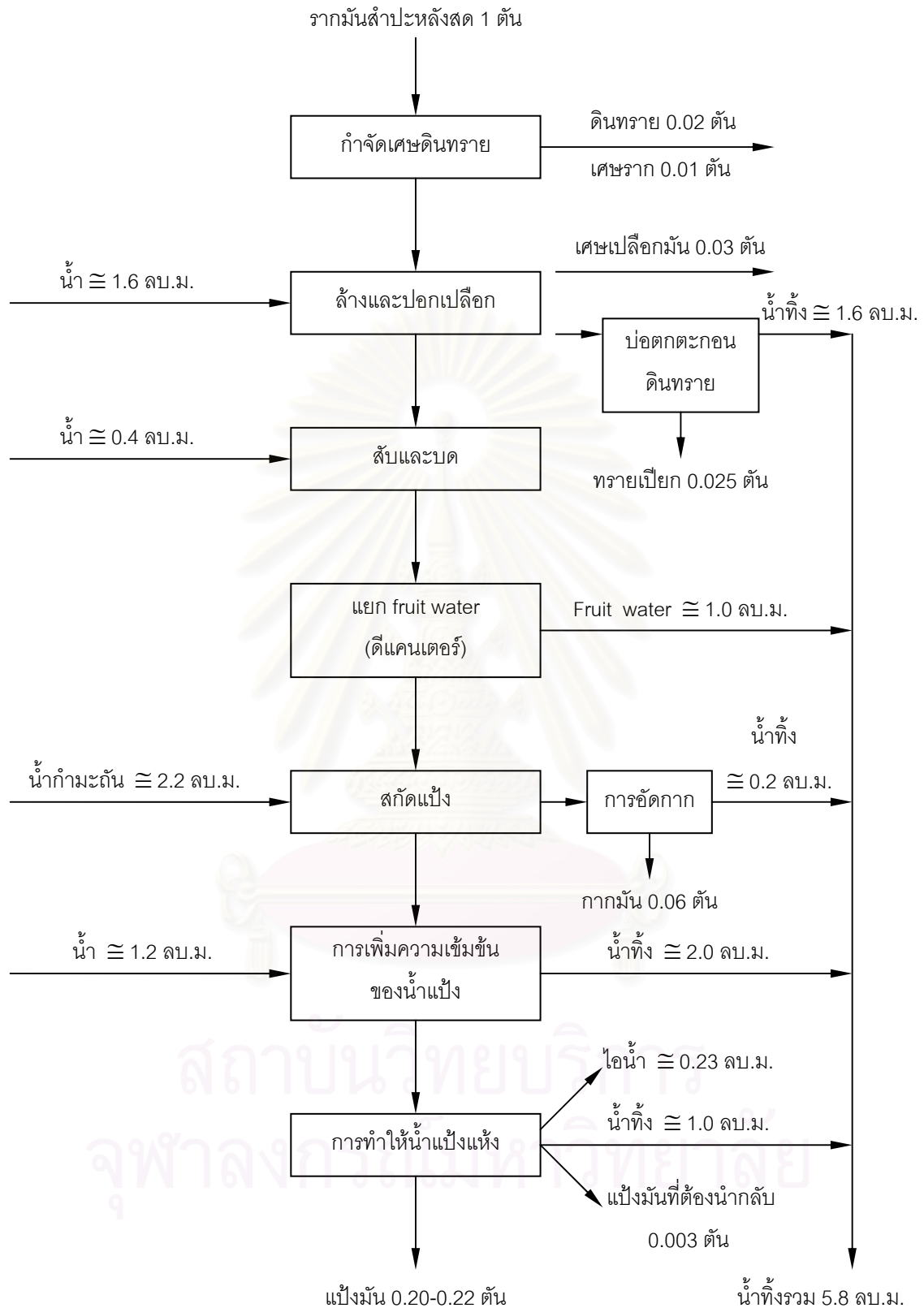
น้ำแบ่งจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแยก (separators) ซึ่งอาจเป็นเครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง (centrifugal separators) หรือไฮโดรไซโคลน (hydrocyclone) โดยโรงงานส่วนใหญ่มักใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ชุดเพื่อแยกกากมันออกให้หมดและทำให้น้ำแบ่งเข้มข้น ภายหลังการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแบ่งจะได้น้ำแบ่งที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 22 Be'

ในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแข็งโดยใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยงจะ
กำเนิดน้ำทิ้ง 2.0 ลบ.ม./ตันรอกมันสำปะหลังสด

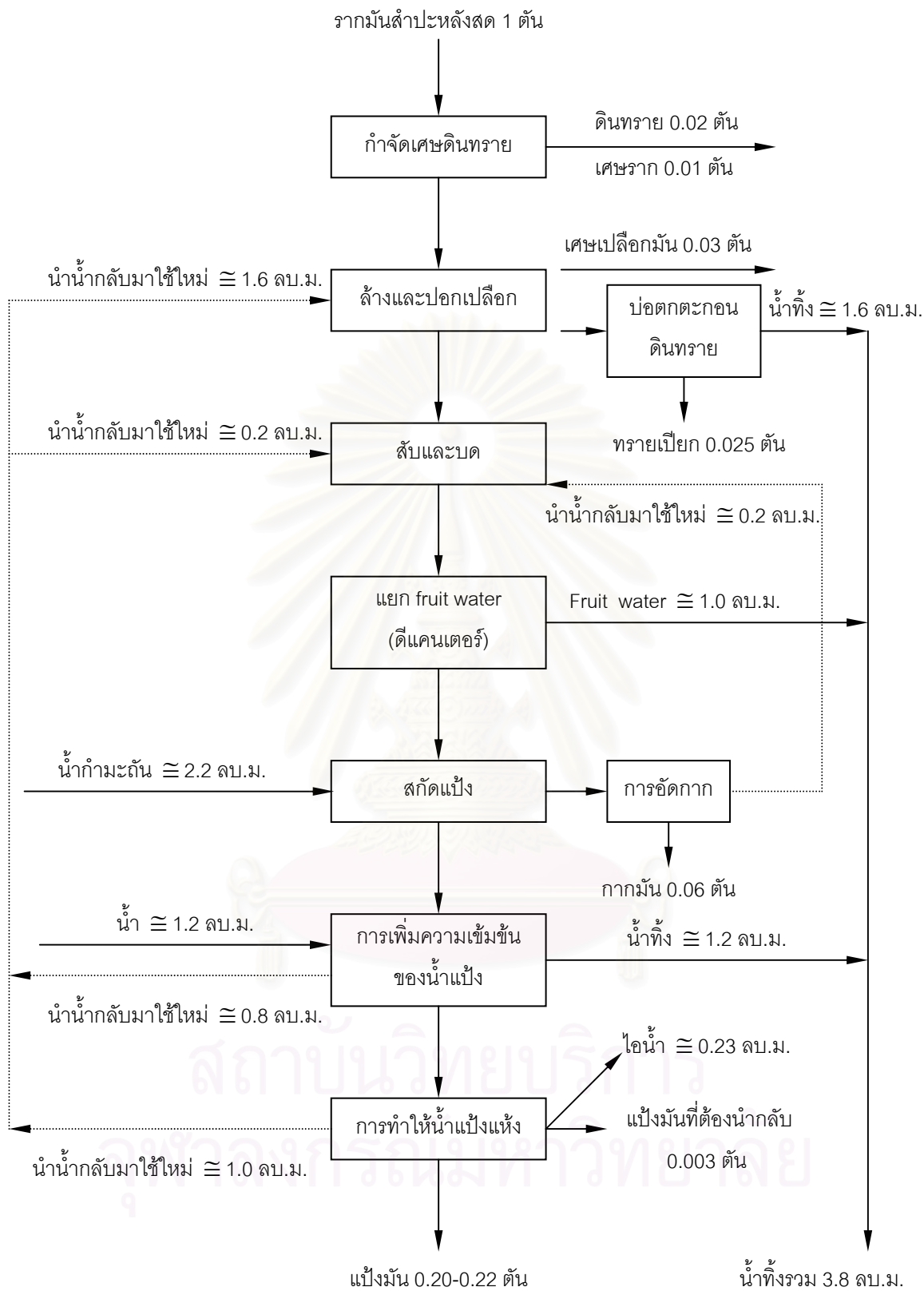
2.1.7 การทำให้แข็งแห้งและการบรรจุผลิตภัณฑ์

น้ำแข็งจะถูกแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งจะทำได้แข็งที่มีความชื้น
ร้อยละ 32-38 แล้วจะถูกพ่นเข้าสู่ท่อไอร้อนซึ่งมีลมร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส
จากเตาเผาเป่าเข้ามาด้วยความดันสูงพัดแข็งขึ้นไปตามปล่องสูงแล้วตกลงมาสู่ไซโคลน
(cyclone) แป้งมันที่ได้จากไซโคลนจะเป็นแข็งที่แห้งแต่ยังร้อนอยู่ ซึ่งต้องทำให้เย็นทันที
โดยใช้ไซโคลนเย็น (cooling cyclone) ทั้งไซโคลนร้อนและเย็นจะต้องมีประสิทธิภาพใน
การแยกแข็งจากอากาศได้ถึงร้อยละ 99.95 หลังจากนั้นแป้งมันจะมีความชื้นอยู่ระหว่าง
ร้อยละ 12-13 ก่อนถูกปล่อยลงสู่เครื่องร่อนแป้ง (sifter) ก่อนจะบรรจุลงสู่ไซโลเพื่อรอทำ
การบรรจุต่อไป

น้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการทำให้แข็งแห้ง 1.0 ลบ.ม./ตันรอกมันสำปะหลัง



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

2.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

สุรพล สายพานิช (2529) ได้ทำการเก็บน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมาทำการวิเคราะห์ พบว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษเปลี่ยนแปลงสูงมากตามสภาพของโรงงานแต่ละแห่ง โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ ซีโอดี 13,037 มก./ล. ของแข็งแขวนลอย 3,514 มก./ล. และพีเอช 3.7

Prasanna Lal Amatya (1996) พบว่าลักษณะน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 13,500-25,000 มก./ล. ของแข็งแขวนลอย 2,200-4,000 มก./ล. และพีเอช 3.8-4.5

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540) ได้แสดงตัวอย่างลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

Name of factory	BOD (mg/l)	Name of factory	BOD (mg/l)
A	9,900	F	2,575
	7,200		3,870
	5,600		3,870
B	3,690	G	2,750
	4,820		4,820
C	12,900	H	19,500
	16,875		19,500
D	5,250	I	8,254
	4,350		8,254
E	4,350	J	5,541
	3,500		5,541
		K	8,500
			8,500
		L	14,500
			14,500

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540)

2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้เสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำมาตรฐานสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันคัดแปรและแป้งมันแปรรูปที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะแตกต่างจากน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษเพราะน้ำเสียจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณมากและเป็นน้ำเสียที่มีความ

สกปรกสูง ในขณะที่น้ำเสียจากการผลิตแ่งมันตัดแปรและแ่งมันแปรรูปจะมีความสกปรกน้อยกว่า ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับโรงงานผลิตแ่งมันสำหรับโรงผลิตแ่งมันตัดแปรและโรงผลิตแ่งมันแปรรูปที่ระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (มก./ล.)

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ		
	โรงงานผลิตแ่งมันสำหรับโรงผลิตแ่งมันตัดแปรและโรงผลิตแ่งมันแปรรูป	โรงงานผลิตทั้งแ่งมันสำหรับโรงผลิตแ่งมันตัดแปรและแ่งมันแปรรูป	โรงงานผลิตแ่งมันตัดแปรและแ่งมันแปรรูป
บีโอดี (BOD ₅)	ไม่มากกว่า 60	ไม่มากกว่า 60	ไม่มากกว่า 30
ซีโอดี (COD)	ไม่มากกว่า 400	ไม่มากกว่า 400	ไม่มากกว่า 250
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่มากกว่า 120	ไม่มากกว่า 120	ไม่มากกว่า 50
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่มากกว่า 100	ไม่มากกว่า 100	ไม่มากกว่า 100

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540)

2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแ่งมันสำหรับโรงผลิต

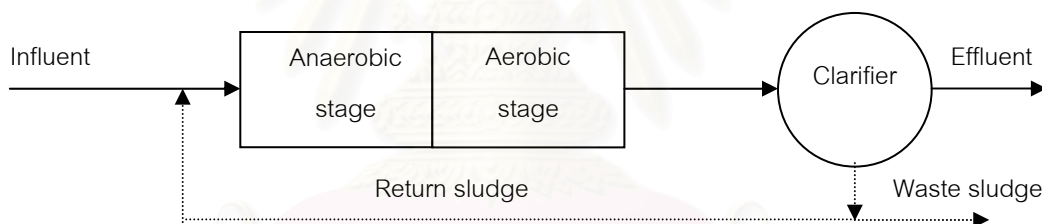
ในอดีตการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแ่งมันสำหรับโรงผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นระบบบำบัดแบบบ่อเปิดซึ่งต้องใช้ที่ดินเป็นจำนวนมาก 30-150 ไร่ (สุรพล สายพานิช, 2529) ซึ่งมักมีปัญหากลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศซึ่งโดยทั่วไปโรงงานจะใช้ระบบบำบัดแบบบ่อแอนแอโรบิกเป็นบ่อบำบัดขั้นแรกและมักจะมีบ่อขัดแต่ง (polishing pond) เป็นบ่อบำบัดขั้นสุดท้ายซึ่งทำให้ของแข็งแขวนลอยซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายปนอยู่ในน้ำทิ้ง เป็นผลให้น้ำทิ้งมีปริมาณความสกปรกในด้านต่างๆ สูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่จะระบายออกสู่ภายนอก (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

ในขณะที่น้ำเสียจากการผลิตแ่งมันตัดแปรและแ่งมันแปรรูปแม้ว่าจะมีความสกปรกน้อยกว่าน้ำเสียจากการผลิตแ่งมันสำหรับโรงผลิต แต่เมื่อส่วนใหญ่โรงงานเหล่านี้ใช้บ่อขัดแต่งเป็นบ่อบำบัดขั้นสุดท้าย ทำให้ของแข็งแขวนลอยซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายปนอยู่ในน้ำทิ้งเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยกว่าโรงงานผลิตแ่งมันสำหรับโรงผลิต (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540)

2.5 กระบวนการแยกแวกทีเวเต็ดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก

โดยทั่วไปในการใช้งานกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกมักใช้สำหรับกำจัดทั้งสารประกอบคาร์บอนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียหรืออีพีพีอาร์ (enhanced biological phosphorus removal, EBPR) ระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกเป็นกระบวนการแบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการสลับระหว่างช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิกเป็นช่วงๆ (รูปที่ 2.3) สลัดจ์จากถังตกตะกอนจะถูกเวียนกลับมาผสมกับน้ำเข้าในถังแอนแอโรบิก

แต่ในปัจจุบันมีการพบว่ากลุ่มจุลชีพที่แตกต่างกันในระบบ ทำให้กระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกมีทั้งที่กำจัดฟอสฟอรัสได้และไม่ได้ แต่ในทั้งสองแบบจุลชีพกลุ่มเด่นต่างมีวิถีเมตาบอลิกที่ใกล้เคียงกัน โดยในระบบที่กำจัดฟอสฟอรัสได้มีจุลชีพกลุ่มเด่นเรียกว่า พีเอโอ (phosphorus accumulating organisms, PAOs) ส่วนในระบบที่ไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้จะมีจุลชีพกลุ่มเด่นเรียกว่า จีเอโอ (glycogen accumulating organisms, GAOs)



รูปที่ 2.3 กระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก

2.5.1 กลุ่มจุลชีพในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก

2.5.1.1 กลุ่มแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic bacteria)

– แบคทีเรียสร้างกรด (acidogenic bacteria) ในสภาวะไร้อากาศแบคทีเรียกลุ่มนี้จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลและกรดอะมิโน ต่อจากนั้นก็จะถูกแบคทีเรียดูดซึมเข้าไปในเซลล์และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิกและกรดบิวทิริก

- แบคทีเรียดีไนตริฟายอิง (denitrifying bacteria) ในสภาวะแอนอกซิก (มีไนโตรเจนแต่ไม่มีออกซิเจนละลาย)แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยไนเตรตทำหน้าที่เป็นรีดิวซ์อิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจน และมีสารอินทรีย์เป็นสารให้อิเล็กตรอน

- แบคทีเรียใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) ใช้ออกซิเจนอิสระเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและใช้สารอินทรีย์เป็นสารให้อิเล็กตรอน

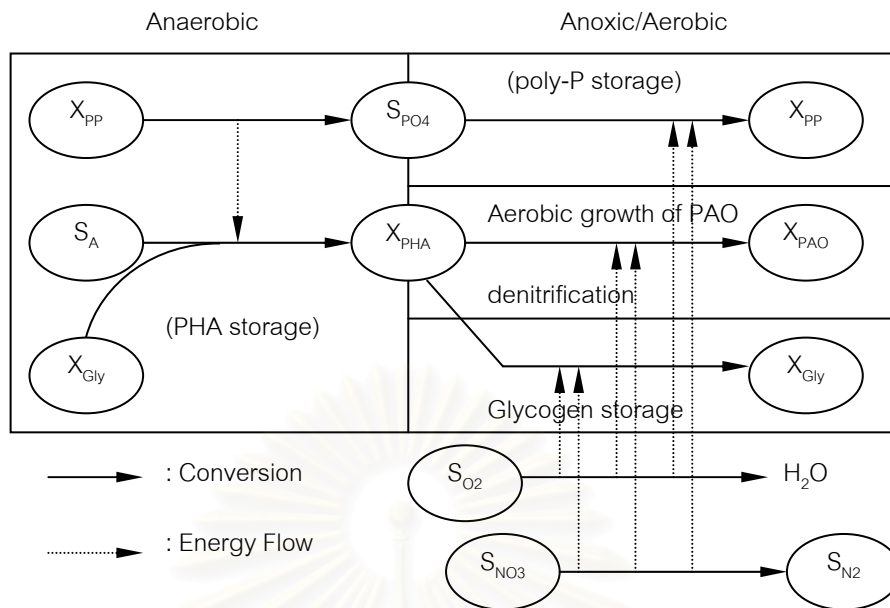
2.5.1.2 กลุ่มแบคทีเรียออโตโทรฟิก (autotrophic bacteria)

- แบคทีเรียไนตริฟายอิง (nitrifying bacteria) สามารถเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตในสภาวะแอโรบิกด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในขั้นตอนนี้คือ ไนโตรโซโมนัสและไนโตรแบคเตอร์ โดยไนโตรโซโมนัสจะออกซิไดส์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์ จากนั้นไนโตรแบคเตอร์จะออกซิไดส์ไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต

2.5.1.3 กลุ่มจุลินทรีย์ที่สะสมฟอสฟอรัส (phosphorus accumulating organisms, PAOs)

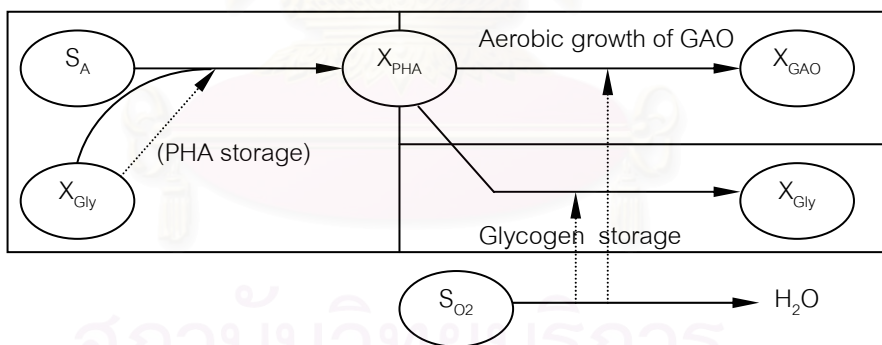
เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ได้มากกว่าปกติโดยอยู่ในรูปของโพลีฟอสเฟต ซึ่งมีกลไกการทำงานดังรูปที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ที่สะสมฟอสฟอรัส (Mino และคณะ, 1995)

X_{PP} : Polyphosphate, X_{PHA} : Polyhydroxyalkanoate, X_{Gly} : Glycogen, X_{PAO} : Polyphosphate accumulating biomass, S_A : Fermentation products like acetate, S_{PO4} : Inorganic soluble phosphate, S_{O2} : Dissolve oxygen, S_{NO3} : Nitrate and Nitrite



รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ที่สะสมกลัยโคเจน (Mino และคณะ, 1995)

สภาวะแอนแอโรบิก จุลินทรีย์จะดูดซึมกรดไขมันระเหยง่าย เช่น อะซิเตต เข้าไปภายในเซลล์โดยได้พลังงานจากการย่อยสลายโพลีฟอสเฟตซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะสมของแบคทีเรียกลุ่มนี้ ทำให้เกิดการปล่อยฟอสฟอรัสออกสู่ภายนอกเซลล์ในรูปออร์โธฟอสเฟต ส่วนอะซิเตตที่ดูดซึมเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพีเอชเอ (polyhydroxyalkanoate, PHA)

สภาวะแอโรบิก จุลชีพจะใช้พีเอชเอที่สะสมมาจากช่วงแอโรบิกเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต รวมทั้งเป็นพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัสเข้ามาในเซลล์เพื่อสะสมเป็นแหล่งพลังงานในรูปโพลีฟอสเฟตใหม่

ปัจจุบันพบว่าแบคทีเรียในกลุ่มนี้สามารถใช้ในเทรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจนอิสระได้ ทำให้สามารถเกิดการจับใช้ฟอสฟอรัสได้ในสภาวะแอโรบิกด้วย เรียกว่า ดีเอ็นพีเอโอ (denitrifying PAO)

2.5.1.4 กลุ่มจุลชีพที่สะสมกลัยโคเจน (glycogen accumulating organisms, GAOs)

กลไกการทำงานของจุลชีพกลุ่มนี้คล้ายกับพีเอโอ แต่ไม่มีการสะสมฟอสฟอรัสโดยจะสะสมในรูปกลัยโคเจนเป็นส่วนใหญ่แทน ดังรูปที่ 2.5

สภาวะแอโรบิก แบคทีเรียจะดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายโดยได้พลังงานจากกระบวนการกลัยโคไลซิส (glycolysis) ของกลัยโคเจนที่อยู่ในเซลล์ และเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นพีเอชเอ (Satoh และคณะ, 1998)

สภาวะแอโรบิก แบคทีเรียจะใช้พีเอชเอสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างกลัยโคเจนขึ้นมาใหม่โดยไม่มีการจับใช้ฟอสฟอรัส ซึ่งกลัยโคเจนที่สร้างขึ้นมานี้จะใช้สำหรับการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายในขั้นตอนแอโรบิกต่อไป (Satoh และคณะ, 1998)

2.5.2 ข้อดีของกระบวนการแอโรบิก/แอโรบิก

2.5.2.1 ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

การนำกระบวนการแอโรบิก/แอโรบิกมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะประหยัดพลังงานในการเติมอากาศกว่าการใช้ระบบเอเอสแบบธรรมดาเนื่องจากมีช่วงแอโรบิกก่อนแอโรบิก โดยพลังงานที่ลดลงนี้เนื่องจากสารอาหารส่วนใหญ่จะถูกกำจัด และบางส่วนถูกทำให้เสถียรแล้วในช่วงแอโรบิก รวมทั้งแรงขับดัน

ในการเคลื่อนย้ายออกซิเจนที่มากกว่าเมื่อน้ำสลัดจ์จากช่วงแอนแอโรบิกซึ่งไม่มีออกซิเจนละลาย เข้าสู่ช่วงแอโรบิก (Randallและคณะ, 1992)

จากรายงานโดย Tanaka และคณะ (1991) ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกกับระบบเอเอสธรรมดาที่ Seibu Sewage Work ประเทศญี่ปุ่นพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 4.6-30.8 วัตต์/ลบ.ม.ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดหรือประมาณร้อยละ 12 ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำเสียระหว่างกระบวนการเอ/โอ และเอเอสธรรมดาที่ Seibu Sewage Work, ญี่ปุ่น

Month	A/O Process			Conventional Process	Power saving(W/m ³)
	Mixing (W/m ³)	Aeration (W/m ³)	Total Power (W/m ³)	Aeration (W/m ³)	
NOV.	6.6	98.8	105.4	127.6	22.2
DEC.	7.0	111.3	118.3	123.9	5.6
JAN.	7.8	94.8	102.6	119.9	17.3
FEB.	12.2	99.0	111.2	142.0	30.8
MAR.	10.2	83.2	93.4	100.0	6.6
MAY.	8.4	101.5	109.9	114.5	4.6

ที่มา : Tanaka และคณะ (1991)

กระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกยังถูกพบว่ามีปริมาณการผลิตเซลล์ที่ต่ำกว่าระบบเอเอสแบบธรรมดา ซึ่งจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ส่วนเกินลดลง (Randallและคณะ, 1992)

2.5.2.2 การควบคุมสลัดจ์อัด

การนำสภาวะแอนแอโรบิกมานำหน้าสภาวะแอโรบิกนั้น พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะทำให้สมบัติการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบดีขึ้นและป้องกันปัญหาสลัดจ์อัดได้ ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 2.6

2.5.2.3 ความเสถียรของระบบ

เนื่องจากการนำช่วงแวนแวนโรบิกมานำหน้าช่วงแวนโรบิกจะทำให้หน้าที่เป็นถัง คัดพันธุ์ชุดขวางการเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยและทำให้สมบัติการตกตะกอนดีขึ้น ดังนั้นถ้าระบบถูกออกแบบและเดินระบบอย่างถูกต้องแล้ว ระบบบีเอ็นอาร์ (biological nutrient removal, BNR) จะเสถียรและผลิตน้ำออกที่มีคุณภาพดีกว่าระบบเอสแบบไหลตามกันในหน่วยบีโอดีและเอสเอส (Randall และคณะ, 1992)

2.6 จีเอไอ (glycogen accumulating bacteria, GAOs)

T. Mino และคณะ (1996) การนำช่วงแวนแวนโรบิกมานำหน้าช่วงแวนโรบิก จะทำให้เกิดสภาวะกีดกันและการคัดพันธุ์ขึ้น เนื่องจากการที่สไลด์จ์ได้สัมผัสกับสารอาหารในสภาวะแวนแวนโรบิก เฉพาะจุลชีพที่มีความสามารถในการดูดซึมสารอาหารในสภาวะแวนแวนโรบิกเท่านั้นที่สามารถเติบโตเป็นกลุ่มเด่นได้ ซึ่งมีจุลชีพ 2 กลุ่มที่ทราบว่ามีความสามารถนี้ คือ พีเอไอ ซึ่งรับผิดชอบต่ออีพีอาร์ และจีเอไอ

โดยพีเอไอจะเป็นกลุ่มเด่นในระบบแวนแวนโรบิก/แวนโรบิกแยกที่เวเต็ดสไลด์จ์ที่มีสภาวะเหมาะสม โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสภายในเซลล์ 6-12% (ของน้ำหนักแห้ง) แต่ถ้าต้องการให้จีเอไอ มีจำนวนมาก จะทำได้ 2 วิธี คือ

- 1) จำกัดภาวะฟอสฟอรัสในน้ำเข้า การเติบโตของพีเอไอจะถูกจำกัด และจีเอไอจะเติบโตได้ดี
- 2) ในบางครั้งจะเกิดจีเอไอเป็นกลุ่มเด่น ในกรณีที่การกำจัดฟอสฟอรัสล้มเหลวโดยไม่ทราบสาเหตุ

ทั้งสองกรณี ปริมาณฟอสฟอรัสภายในเซลล์ของจีเอไอ จะประมาณ 2% หรือน้อยกว่า

W. Liu และคณะ (1996) เมื่อแบ่งประเภทแบคทีเรียโดยใช้ความสามารถในการใช้คาร์บอน, พลังงาน และแหล่ง reducing equivalents (เช่น NAD(P)H) ในกระบวนการอีพีอาร์แล้ว จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรก ใช้แหล่งพลังงานทั้งหมดจาก poly P ในการดูดซึมและสำรองกรดไขมันระเหยง่าย เช่น อะซิเตตไปเป็นพีเอชบี (polyhydroxybutyrate, PHB) และใช้

NAD(P)H สำหรับการสังเคราะห์พีเอชบีจากการดูดซึมอะซิเตต ผ่านวัฏจักรทีซีเอ (TCA cycle) ที่ไม่สมบูรณ์

กลุ่มที่สอง ต่างจากกลุ่มแรกที่ NAD(P)H สำหรับการสังเคราะห์พีเอชบีจากอะซิเตต มาจากการย่อยสลายกลัยโคเจนภายในเซลล์ผ่านกลัยโคไลซิส (Wentzel และคณะ, 1991 อ้างโดย W. Liu และคณะ, 1996)

กลุ่มที่สาม เป็นแบคทีเรีย strain NM-1 ที่แยกมาจากกระบวนการอิมปีฟิอาร์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้ poly P เพื่อให้ ATP สำหรับการดูดซึมและสะสมกลูโคสในรูปโพลีกลูโคสภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก และจะใช้โพลีกลูโคสที่สะสมไว้ในการใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะแอโรบิก (Nakamura และคณะ, 1991 อ้างโดย W. Liu และคณะ, 1996)

จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซึมสารอาหารในช่วงแอนแอโรบิกโดยใช้ระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกแบบเฮสปีอาร์ และใช้ค่า ฟอสฟอรัส/ทีโอซี (total organic carbon, TOC) = 2/100 เพื่อป้องกันการสะสม poly P หรือการเติบโตของพีเอโอ ทำการเดินระบบวัฏจักรละ 3 ชั่วโมง ช่วงแอนแอโรบิก 50 นาที ช่วงแอโรบิก 80 นาที และตกตะกอน 50 นาที อายุสัปดาห์ 7.5-8.0 วัน เวลาพักน้ำ 6 ชั่วโมง

ในงานวิจัยนี้ กลุ่มจุลชีพที่เป็นกลุ่มเด่นในระบบพบเมื่อเกิดการล้มเหลวของอิมปีฟิอาร์ หรือไม่มีการสะสมของ poly P แต่ยังคงมีการใช้แหล่งคาร์บอน เช่น อะซิเตตพร้อมกับการใช้โพลีแซ็กคาไรด์ภายในเซลล์ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก หลังจากนั้นในสภาวะแอโรบิก จุลชีพจะใช้พีเอชบีสำหรับการเจริญเติบโต และสังเคราะห์กลัยโคเจนขึ้นมาใหม่เพื่อการอยู่รอดในระบบ

ระหว่างแบคทีเรียที่ส่งเสริมอิมปีฟิอาร์และไม่ส่งเสริมนี้ ทั้งสองกลุ่มสามารถผลิตพีเอชบีจากการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายในช่วงแอนแอโรบิกได้ แต่แตกต่างกันในเรื่องแหล่งพลังงานที่ใช้ กลุ่มแรกใช้ poly P และกลุ่มหลังใช้กลัยโคเจนภายในเซลล์ ดังนั้นจึงให้ชื่อว่า “poly P-accumulating” และ “glycogen- accumulating” bacteria ตามลำดับ

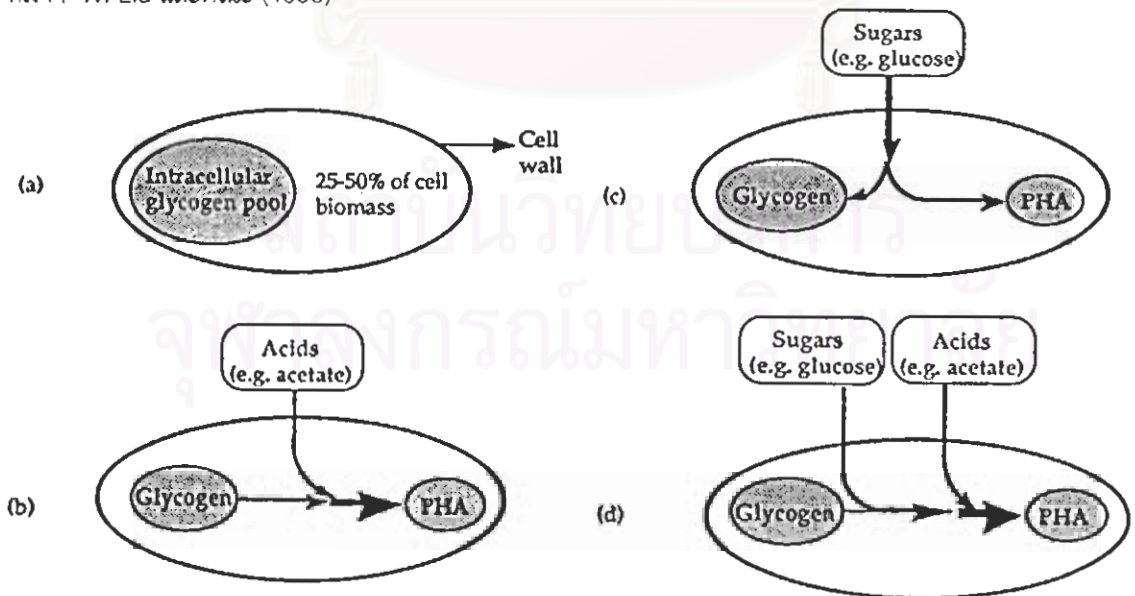
ตารางที่ 2.4 การดูดซึมและสะสมคาร์บอนในสภาวะแอนแอโรบิกในระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก
แอกทิเวเต็ดสลัดจ์

Substrate	Pi Released (mg P g ⁻¹ TSS)	Substrate Taken up (mg C g ⁻¹ TSS)	Glycogen Consumed (mg glucose g ⁻¹ TSS)	Glycogen Produced (mg glucose g ⁻¹ TSS)	PHA Increased (% of TSS)
Control ^a	0.8	0	14.4	0	1.8
Acetate ^a	2.2	40.1	125.4	0	13.2
Propionate	5.4	37.0	88.6	0	9.3
Glucose	1.4	64.5	0	41.9	6.0
Fructose	0.4	77.8	0	13.6	11.7
Galactose	0.2	Tr	54.1	0	4.1
Gluconate	0.2	19.9	36.1	0	5.7
Mannose	0.3	17.9	8.0	0	4.2
Maltose	0.3	17.9	0	5.9	4.1
Lactose	0.0	Tr	35.6	0	1.9
Sucrose	0.5	62.1	0	54.3	4.7
Trehalose	0.5	45.4	0	9.1	3.5
Raffinose	0.4	37.4	0	25.8	3.6

^a Results were from a previous study (Liu *et al.*, 1994)

Tr, Trace amounts

ที่มา : W. Liu และคณะ (1996)



รูปที่ 2.6 การดูดซึ่มกลูโคสในสภาวะแอนแอโรบิกและสะสมกลัยโคเจนในแอนแอโรบิก/แอโรบิก
แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (TSS/ VSS = 7600/5645 มก./ล.) (W. Liu และคณะ, 1996)

glycogen-accumulating sludge สามารถดูดซึมน้ำตาลได้หลายแบบ รวมทั้งสารอาหารที่มีความซับซ้อน โดยเมื่อ กลูโคส, ฟรุคโตส, มอลโตส, ซูโครส, เดรฮาโลส และราฟฟิโนส ถูกดูดซึมแล้ว จะสะสมพลังงานในทั้งสองรูปคือ พีเอชเอ และกลัยโคเจน

จากรูปที่ 2.6(a) เซลล์จะสะสมกลัยโคเจน ประมาณ 25-50% ของมวลจุลชีพก่อนการดูดซึมสารอาหาร (Cech และ Hartman, 1993 และ Liu และคณะ, 1994 อ้างโดย W. Liu และคณะ, 1996) และจากผลการทดลองของ W. Liu และคณะ (1996) จากตารางที่ 2.4 ชี้ว่า เมื่อกรดอินทรีย์ เช่น อะซิเตต ถูกดูดซึม พีเอชเอจะเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.6(b) แต่เมื่อน้ำตาล เช่น กลูโคส ถูกดูดซึม ทั้งกลัยโคเจนและพีเอชเอจะเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.6(c) ซึ่งผลการทดลองนี้จะแตกต่างกับ Nakamura และคณะ (1986) ซึ่งพบว่าจะเกิดการสะสมโพลีแซ็กคาไรด์พร้อมๆ กับการปล่อยผลิตภัณฑ์จากการหมักออกมาหลังจากการดูดซึมกลูโคสในสัลดจ์ที่เคยชินกับกลูโคส ในขณะที่เมื่อมีทั้งกลูโคสและอะซิเตต รูปที่ 2.6(d) จะเกิดการสังเคราะห์พีเอชเอโดยใช้กลัยโคเจนไปเพียงเล็กน้อย

โดยปกติในระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่เป็นอีปีฟิอาร์ จะพบแบคทีเรียที่เป็นกลุ่มเด่น คือ พีเอโอ แต่ในระบบที่อีปีฟิอาร์ล้มเหลว จะพบจุลชีพกลุ่มเด่นเป็นจีเอโอแทน ซึ่งจุลชีพกลุ่มนี้สามารถใช้ประโยชน์จากหลายกลไกในการดูดซึมสารอาหารในสภาวะแอนแอโรบิก เช่น กรดอินทรีย์, น้ำตาล และสารอาหารที่ซับซ้อนได้

A. Randall และคณะ (1997) ทำการทดลองระบบอีปีฟิอาร์ โดยใช้แอนแอโรบิก/แอโรบิก เอสปีอาร์จำนวน 3 ชุด ชุดที่ 1 และ 2 ใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน ชุดที่ 3 ใช้แป้ง เติมนระบบวัฏจักรละ 6 ชั่วโมง ประกอบด้วยแอนแอโรบิก 2 ชั่วโมง แอโรบิก 4 ชั่วโมง และตกตะกอน 2 ชั่วโมง จำนวน 3 วัฏจักร/วัน น้ำเสียจะถูกเตรียมวันละ 1 ครั้ง ดังนั้นในชุดที่ 1, 2 ที่ใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน กลูโคสจะถูกหมักเป็นกรดไขมันระเหยง่าย โดยที่เวลา 8 และ 16 ชั่วโมง หลังจากเตรียม น้ำเสียจะถูกหมัก 50% และเกือบ 100% ตามลำดับ ในขณะที่แป้งไม่เกิดกรดไขมันระเหยง่ายขึ้น

ผลการทดลองพบว่า ในชุดที่ใช้กลูโคสซึ่งเป็นอีปีฟิอาร์มีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์เฉลี่ย 6.2% ในขณะที่ชุดที่ใช้แป้งมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในขอบเขตของอีปีฟิอาร์พอดีคือ 3.7% และจากการแยกเชื้อ พบว่าในชุดที่ใช้กลูโคสจะพบ *Pseudomonas* บ่อยที่สุด ส่วนในชุดที่ใช้แป้งไม่เคยพบ *Pseudomonas* เนื่องจากแบคทีเรียชนิดนี้ไม่สามารถไฮโดรไลส์แป้งได้ (Brock และคณะ, 1994 ; Holt และคณะ, 1984 อ้างโดย A. Randall และคณะ, 1997) และไม่สามารถ

ในการหมักสารอาหาร แต่จะพบ *Aeromonas* ซึ่งสามารถไฮโดรไลส์แป้งได้ รวมทั้ง *Acinetobacter* ซึ่งทำให้เกิดอัมโมเนียในชุดการทดลองนี้

Liu และคณะ (1996) อ้างโดย ธงชัย พรธนะสวัสดิ์ (2544) หากสารอินทรีย์เข้ามาสู่ระบบฯ ที่ถังแอนแอโรบิกยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่อยู่ระบบอัมโมเนียอาจจับตัวได้ เพราะพีเอไอจะนำไปใช้ทันทีไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยที่บ่อน้ำเสียเข้าระบบด้วยกลูโคสแล้ว สิ่งมีชีวิตแบบจีเอไอ ซึ่งสะสมกัลย์โคเจนโดยไม่สะสมฟอสเฟตจะสามารถโตขึ้นมาแทนที่

2.7 การควบคุมสลัดจ์อัด (sludge bulking control)

ระบบเอเอสธรรมดามักจะเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวหรือสลัดจ์อัด ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย (filamentous microorganism) เจริญเติบโตอยู่เป็นจำนวนมากในระบบ จุลินทรีย์ชนิดอื่นจะเกาะอยู่กับจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยและก่อเป็นกลุ่มตะกอนขนาดใหญ่ที่มีลักษณะไม่แน่นอน ทำให้ไม่จมตัวและไม่อัดแน่นที่ก้นถังตกตะกอน ค่าเอสวีไอสูงเกิน 150 มล./ก. (อุตร จารุรัตน์, 1997) แม้สลัดจ์จะจมช้าแต่ก็สามารถบำบัดน้ำเสียได้ น้ำในถังตกตะกอนจะใสเนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยจะกรองตะกอนเล็กๆ ไปได้ แต่ในกรณีที่ปัญหาเกิดมากจะทำให้กลุ่มสลัดจ์หลุดลอยไปกับน้ำทิ้ง น้ำทิ้งจะมีค่าเอสเอส (SS) สูง และค่าบีโอดีสูงตามไปด้วย

Tracy และคณะ (1986) อ้างโดย Kanchit Wongsangchantra (1993) ได้ทำการทดลองด้วยเอสอาร์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์เส้นใยระหว่างวัฏจักรที่มีช่วงคอนแทคเป็นสภาวะแอนแอโรบิก สภาวะแอโรบิกและสภาวะจำกัดออกซิเจน แล้วตามด้วยสภาวะแอโรบิก พบว่าระบบที่ใช้ช่วงคอนแทคเป็นสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าเอสวีไอต่ำที่สุดคือ 55-65 มล./ก. ระบบที่ใช้ช่วงคอนแทคเป็นสภาวะแอโรบิกมีค่าเอสวีไอประมาณ 100 มล./ก. และระบบที่ใช้ช่วงคอนแทคเป็นสภาวะจำกัดออกซิเจนมีค่าเอสวีไอมากกว่า 300 มล./ก.

Wanner และคณะ (1987) พบว่าสภาวะแอนแอโรบิกในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกสามารถกวดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยบางชนิดได้ เช่น Type 021N และ *Sphaerotilus natans* เพราะจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถใช้สารอาหารในสภาวะแอนแอโรบิกได้เร็วเท่าพีเอไอซึ่งสามารถสะสมโพลีฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงานได้

Supermax Engineering Enterprise (1993) อ้างโดย Kanchit Wongsangchantra (1993) ได้ยกตัวอย่างโรงงานที่น้ำเสียมีลักษณะที่ก่อให้เกิดปัญหาสลดจืดได้ง่ายที่มีการนำระบบ แอนแอโรบิก/แอโรบิกมาใช้ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การใช้งานกระบวนการแยกทิวเต็ดสลดจืดชนิดเอ/โอในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

Location	Type of Wastewater	Capacity (m ³ /d)
Baltimore, MD	40% Industrial	265,000
Lyndal Chemical, CA	Textile Mfg.	4,000
Atlantic Packaging, CA	Paper Mill	8,000
Hoechst Celanese, NC	Chemical Mfg.	4,000
Flower Bakery, SC	Food Processing	4,000
PCLI, KY	Dye Mfg.	4,000
Ban Yu Paper, TW	Paper Mill	20,000
Asia Kraft, TH	Pulp & Paper Mill	5,000
Standard Kraft, TH	Pulp & Paper Mill	4,000
Thai Union Paper, TH	Pulp & Paper Mill	6,000
Panjapol Pulp&Paper, TH	Pulp & Paper Mill	4,000

ที่มา : Supermax Engineering Enterprise (1993) อ้างโดย Kanchit Wongsangchantra (1993)

Paolo Madoni และคณะ (2000) ได้ทำการสำรวจปัญหาสลดจืดและการเกิดฟอง (foaming) ของระบบแยกทิวเต็ดสลดจืดในประเทศอิตาลี โดยการส่งแบบสอบถามไปยังผู้ดูแลระบบ ซึ่งส่งกลับมาพร้อมตัวอย่างน้ำสลดจืดและโฟม เพื่อทำการวิเคราะห์จำนวน 167 แห่ง โดยในจำนวนนี้มี 112 แห่งเคยพบกับปัญหา โดย 84 แห่งเคยพบปัญหาการเกิดฟอง อีก 81 แห่งเคยพบปัญหาสลดจืด และ 55 แห่งเคยพบทั้ง 2 ปัญหา โดยพบแบคทีเรียแบบเส้นใยเป็นกลุ่มเด่นทั้งในเอเอสธรรมชาติและระบบกำจัดคาร์บอน-ไนโตรเจน ดังตารางที่ 2.6

โดย *M. parvicella* และ Type 0092 พบเป็นกลุ่มเด่นได้ทั้งเอเอสธรรมชาติและบีเอ็นอาร์ขณะที่ *Nostocoida limicola* และ Type 1701 พบเป็นกลุ่มเด่นเฉพาะในเอเอสธรรมชาติ

ตารางที่ 2.6 จำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่พบจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยชนิดต่างๆ เป็นกลุ่มเด่นในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

Filamentous microorganisms	Type of activated sludge process		
	C ^a	C, N ^b	C, N, P ^c
<i>Microthrix parvicella</i>	32	9	1
Type 0041	8	3	-
Type 021N	7	1	-
Type 0092	2	3	1
<i>Thiothrix</i> spp.	5	1	-
GALOs	5	1	-
Type 0675	2	2	-
Type 1701	3	-	-
<i>Nostocoida limicola</i>	3	-	-
Type 0581	1	1	-

C^a : conventional for BOD removal only C, N^b : with carbon and nitrogen removal

C, N, P^c : with carbon, nitrogen and phosphorus removal

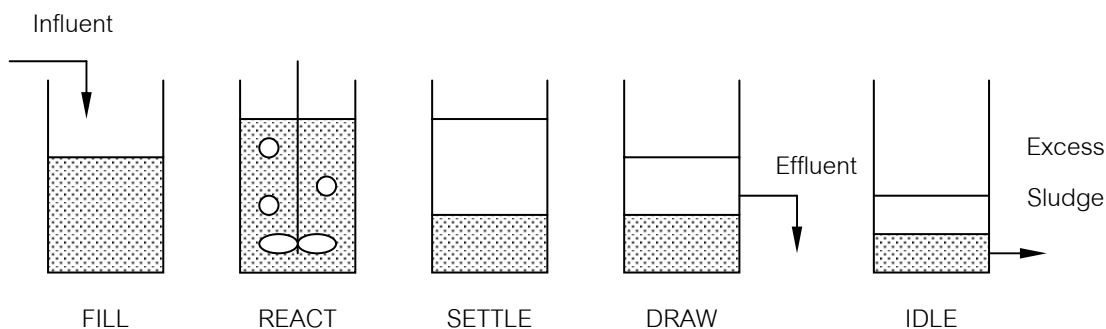
ที่มา : Paolo Madoni และคณะ (2000)

2.8 กระบวนการเอสปีอาร์

ระบบเอสปีอาร์ได้พัฒนามาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศรุ่นแรกซึ่งเป็นแบบ Fill and Draw ที่ใช้ถังปฏิกริยาเพียงใบเดียวในการกำจัดสารอินทรีย์และตกตะกอนโดยไม่มีการเวียนสลัดจ์ ซึ่งต่างจากกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ต้องมีถังตกตะกอนแยกต่างหากและมีการเวียนสลัดจ์ ระบบเอสปีอาร์เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ (batch) แต่ก็มีความสามารถที่นำมาใช้กับน้ำเสียที่ไหลอย่างต่อเนื่องได้ถ้าใช้ถังปฏิกริยามากกว่า 2 ใบขึ้นไป (Irvine, 1979)

2.8.1 หลักการทำงานของระบบเอสปีอาร์

ขั้นตอนการทำงานของระบบเอสปีอาร์จะทำงานเป็นวัฏจักรซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (Metcalf & Eddy, 1991) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทำงานของกระบวนการเอสปีอาร์

2.8.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

ในอดีตมักใช้ระบบเอสปีอาร์บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือชุมชนที่อยู่อาศัยขนาดเล็กที่มีเงินลงทุนน้อย เช่น หมู่บ้านจัดสรร เพราะไม่ต้องการการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียที่สลับซับซ้อน แต่ในปัจจุบันระบบเอสปีอาร์มีแนวโน้มที่จะได้รับความสนใจมากขึ้นและได้ถูกนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียปริมาณมาก เช่น โรงบำบัดน้ำเสียยานนาวา ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียระบบเอสปีอาร์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ เป็นต้น

ข้อดีของระบบเอสปีอาร์มีดังนี้

- ตอนต้นของกระบวนการมีความเข้มข้นของน้ำเสียมากและลดลงตามเวลาซึ่งสามารถจำกัดการเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยจึงสามารถป้องกันการเกิดสลัดจ์อัดได้
- ไม่เกิดการไหลลัดวงจรของน้ำเสียในถังปฏิกริยา
- ไม่ต้องมีถังตกตะกอนและระบบหมุนเวียนสลัดจ์ซึ่งจะทำให้ไม่มีปัญหาทางกายภาพเกี่ยวกับถังตกตะกอน เช่น ปัญหาการไหลลัดวงจรเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำในถังกับน้ำที่เข้ามา ปัญหาของประสิทธิภาพของอุปกรณ์กวาดสลัดจ์ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ประหยัดและการควบคุมระบบง่ายขึ้น
- ตามทฤษฎี ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบแบบตย์ยอมดีกว่าการไหลต่อเนื่อง สามารถรองรับน้ำเสียในกรณีที่มีปริมาณมากหรือมีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ดี
- มีความยืดหยุ่นในการปรับระยะเวลาในแต่ละหน้าที่การทำงานให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำเสีย

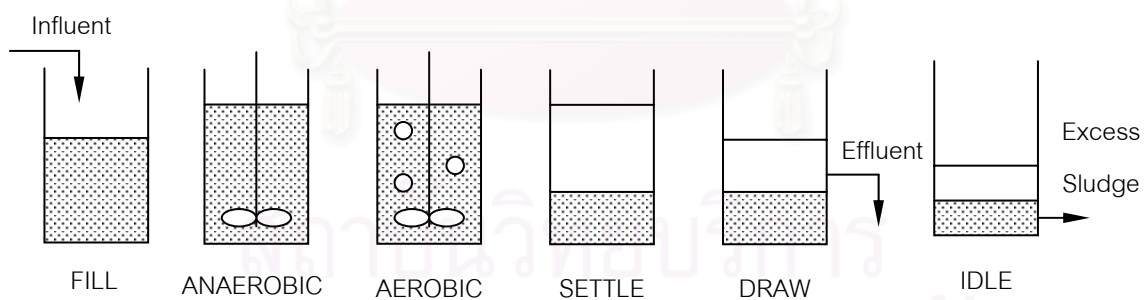
- สามารถดัดแปลงหรือปรับปรุงให้เป็นกระบวนการกำจัดธาตุอาหารได้ง่าย

ข้อเสียของระบบเอสปีอาร์มีดังนี้

- การใช้ระบบเอสปีอาร์เพื่อรับน้ำเสียที่ไหลแบบต่อเนื่องและมีการไหลแปรผัน จะทำให้ยากแก่การควบคุม
- อาจจะต้องมีถังพักน้ำเสียเพื่อความสะดวกในการควบคุมระบบ
- อาจมีปัญหาการอุดตันของอุปกรณ์เติมอากาศในช่วงตกตะกอนและระบายน้ำใสทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์เติมอากาศด้วย
- มีความยุ่งยากในการออกแบบเครื่องล้นริน (decanter) ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญเป็นอย่างมากในการออกแบบ มิฉะนั้นอาจทำให้สลัดจ์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้

2.8.3 กระบวนการเอสปีอาร์ชนิดแอนแอโรบิก/แอโรบิก

คือการปรับปรุงระบบเอสปีอาร์แบบธรรมดาโดยการเพิ่มช่วงแอนแอโรบิกก่อนหน้าช่วงแอโรบิก ดังรูปที่ 2.8 โดยขั้นตอนที่เพิ่มนี้อาจจะเป็นแอนแอโรบิกหรือแอน็อกซิกก็ได้ ขึ้นอยู่กับมีไนเตรตค้างมาจากขั้นตอนแอโรบิกหรือไม่



รูปที่ 2.8 กระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก

2.9 การศึกษาที่ผ่านมา

Charin Tongkasame (1968) ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างบ่อแอนแอโรบิกและถังย่อยแอนแอโรบิกในรูปร้อยละของการกำจัดวีเอส (V.S.) และการกำจัดบีโอดี ที่ภาวะทางพลศาสตร์ต่อปริมาตรเท่ากัน โดยใช้ น้ำเสีย

ที่มีค่าบีโอดีในช่วง 5,500-7,450 มก./ล. เอสเอส 1,950-3,850 มก./ล. และพีเอช 3.8-5.2 พบว่า บ่อแอนแอมโรบิกมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับถังย่อยแอนแอมโรบิก และชุดการทดลองของบ่อแอนแอมโรบิกที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดใช้เวลาถักน้ำ 16 วัน โดยมีการกำจัดวีเอสร้อยละ 71.8 หรือ 305 ปอนด์ต่อเอเคอร์-วัน และการกำจัดบีโอดีร้อยละ 71.5 หรือ 362 ปอนด์ต่อเอเคอร์-วัน น้ำออกมีบีโอดี 3,150 มก./ล. และของแข็งทั้งหมด 6,590 มก./ล. โดยร้อยละ 45.5 อยู่ในรูปกรดไขมันระเหยง่าย

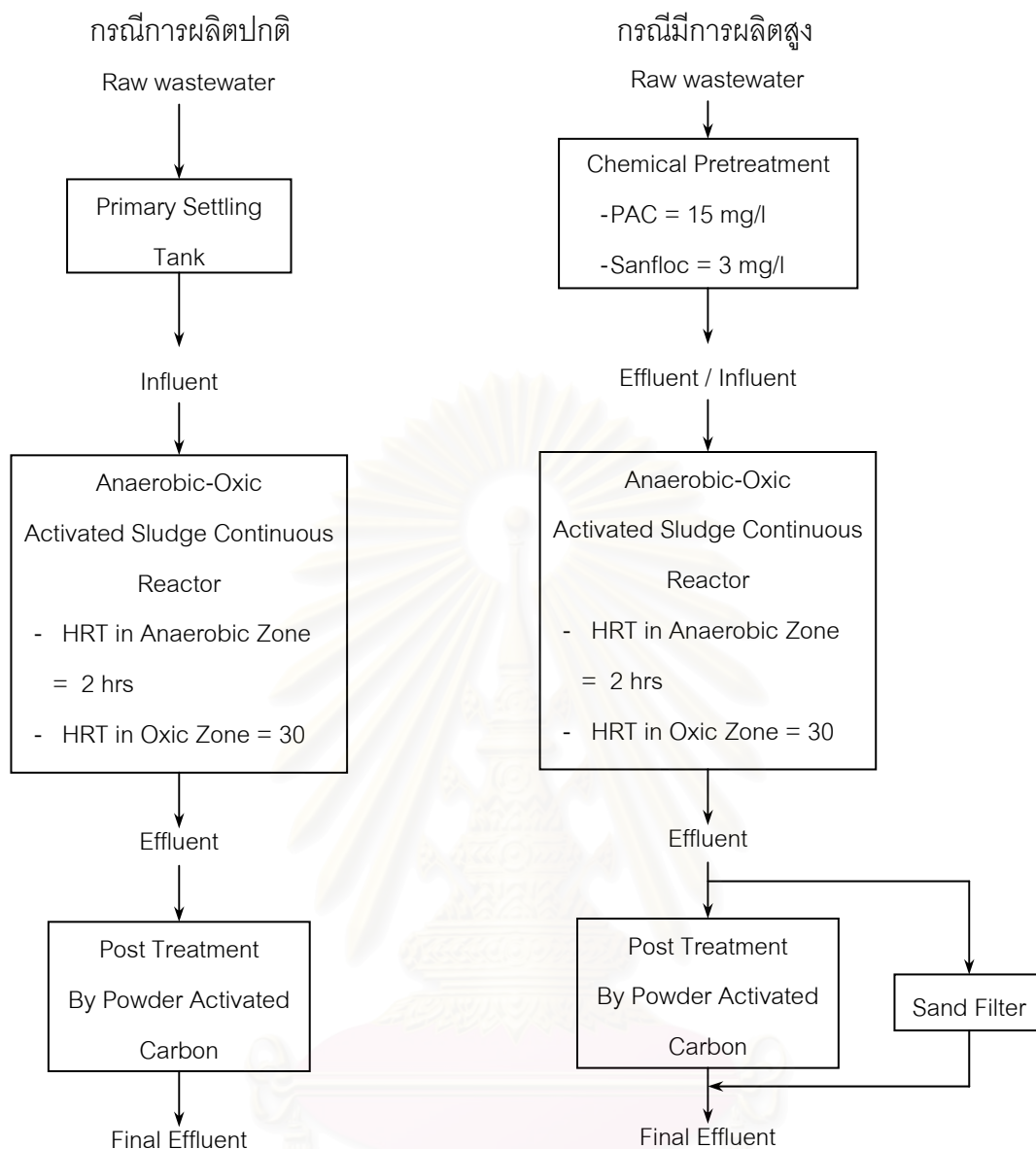
Md. Salim Uddin (1970) ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอมโรบิก 3 บ่อ แบบอนุกรม บำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีเฉลี่ย 3,800 มก./ล. พบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 2,540 กก./เฮกแตร์-วัน ระบบจะสามารถกำจัดบีโอดีได้ร้อยละ 84 แต่พบว่าน้ำออกยังคงมีบีโอดีที่สูงเกินกว่าที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จึงได้แนะนำว่าในทางปฏิบัติควรจะใช้บ่อแอนแอมโรบิก 5 บ่อ แบบอนุกรมที่มีพื้นที่รวม 10.2 เอเคอร์ ที่ความลึก 3 ฟุต และตามด้วยบ่อแฟคัลเททีฟพื้นที่ 8.5 เอเคอร์ ซึ่งจะสามารถกำจัดบีโอดีได้ถึงร้อยละ 99

Chudoba และคณะ (1985) อ้างโดย Kanchit (1993) น้ำเสียที่ประกอบด้วย glucose-like saccharides (กลูโคส, แซกคาไรส, แล็กโตส, มอลโตส) จะทำให้เกิดปัญหาสลดจืดจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย และวิธีเดียวที่จะแก้ปัญหาเนื่องจากน้ำเสียที่มีปริมาณแซกคาไรด์มากคือการใช้วิธีการคัดพันธุ์

Kanchit Wongsangchantra (1993) ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันดัดแปรด้วยระบบแอนแอมโรบิก-ออกซิกซึ่งมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 1,734-5,212 มก./ล. ผ่านการตกตะกอน 2 ชม. แล้วจึงเติมเข้าสู่ระบบ ดังนี้

1. แบบเบตซ์ มีเวลากักแอนแอมโรบิก 2 ชม. เวลากักแอมโรบิก 20 ชม. และตกตะกอน 2 ชม. พบว่า
 - ที่ $F/M = 0.51$ น้ำออกมีบีโอดี 385 มก./ล., เอสวีไอ = 66 มล./ก.
 - ที่ $F/M = 0.70$ น้ำออกมีบีโอดี 392 มก./ล., เอสวีไอ = 52 มล./ก.
2. แบบต่อเนื่อง มีเวลากักแอนแอมโรบิก 2 ชม. เวลากักแอมโรบิก 30 ชม. พบว่า
 - ที่ $F/M = 0.54$ น้ำออกมีบีโอดี 275 มก./ล., SVI = 43-120 มล./ก.

เพื่อให้ น้ำออกมีค่าบีโอดีผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง กระบวนการที่แนะนำให้ใช้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการที่แนะนำให้ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันดัดแปร (Kanchit, 1993)

สรุปผล สายพานิช (2529) ทำการทดลองโดยใช้กระบวนการคอนแทคสเตบิไลเซชันแบบแอนแอโรบิกโดยทำการแปรค่าอัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ ส่งผลให้ระบบมีเวลากักในถังคอนแทคอยู่ในช่วง 3.01 - 6.71 ชั่วโมงและเวลากักในถังสเตบิไลเซชัน 26.15 - 58.31 ชั่วโมง และเนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่คงที่ทำให้ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์แปรอยู่ในช่วง 3.9-18.1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยน้ำเสียเข้ามีค่าเฉลี่ยซีไอดี 13,037 มก./ล. เอสเอส 3,514 มก./ล. วีเอสเอส 3,285 มก./ล.และพีเอช 3.7

ส่วนผลการทดลองที่สถานะคงตัวพบว่าน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีค่าซีไอดีเฉลี่ย 12,117 มก./ล. ที่เวลากักในถังคอนกรีต 4.56 ชม. เวลากักในถังสเตปป์ไลเซชัน 39.65 ชม. ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 5.8 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 74 โดยน้ำออกมีซีไอดี 3,119 มก./ล. และมีของแข็งแขวนลอย 834 มก./ล.

Prasanna Lal Amaty (1996) ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ยูเอเอสพี โดยในสภาวะคงตัว น้ำเสียมีค่าซีไอดีในช่วง 12,000-24,000 มก./ล. พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมากกว่าร้อยละ 95 ที่ภาวะบรรทุสารอินทรีย์ 16 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และอัตราการเวียนน้ำ 4 : 1 (น้ำที่เวียน : น้ำเสียเข้า)

ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ (2543) ในการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก โดยใช้แป้งมันเป็นสารอาหารร่วมใน 3 ชุดการทดลอง ซึ่งมีเวลากักแอนแอโรบิก 10, 18, 30 ชั่วโมง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีซีไอดี 1,678 มก./ล. หลังจากเติมน้ำเสียเข้าระบบแล้วมีซีไอดีในระบบที่ $t=0$ เท่ากับ 1,196 มก./ล. (เป็นซีไอดีจากการคำนวณ) ผลการทดลองพบว่าซีไอดีกรองในช่วงต้น แอนแอโรบิกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุดภายใน 5, 10, 15 นาทีตามลำดับ เนื่องจากแป้งมันถูกไฮโดรไลซ์โดยแบคทีเรียให้กลายเป็นน้ำตาล ต่อจากนั้นก็ถูกหมักเป็นกรดไขมันระเหยง่ายซึ่งสามารถผ่านกระดาษกรองได้เป็นผลให้ซีไอดีกรองเพิ่มขึ้น จากนั้นซีไอดีกรองจะลดลงอย่างรวดเร็วและถูกกำจัดได้เกือบหมดภายในเวลา 2-3 ชั่วโมงในทุกชุดการทดลอง และค่าซีไอดีจะเริ่มคงที่หลังจากผ่านไป 5 ชั่วโมง ซึ่งซีไอดีส่วนที่เหลือนี้พบว่าเป็นซีไอดีจากสีในน้ำเสีย

บทที่ 3

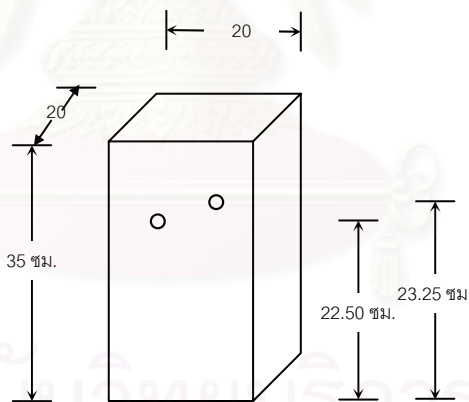
แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

การทดลองทั้งหมดในการวิจัยนี้ ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์เลียนแบบน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ถังปฏิริยาแบบเอสปีอาร์

ถังปฏิริยาทำด้วยอะครีลิกใสขนาดจุ 12 ลิตร (รูปที่ 3.1) มี $V_0:V_f = 9 : 1$ โดยแต่ละใบเจาะรูที่ข้างถึง 2 รู เพื่อเป็นตำแหน่งที่ทำการระบายทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินและระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งโดยให้ขอบล่างของท่อระบายอยู่ที่ความสูง 23.25 และ 22.50 ซม. ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ขนาดถังปฏิริยาแบบเอสปีอาร์

3.1.2 ถังเก็บน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิริยา

เป็นถังอะครีลิกทรงกรวยเพื่อไม่ให้มีน้ำเสียค้างถัง จุน้ำได้ถังละ 2 ลิตร ใช้สำหรับเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยเข้าถังปฏิริยาเท่ากับ 1 ลิตรต่อวัฏจักร

3.1.3 เครื่องกวาน

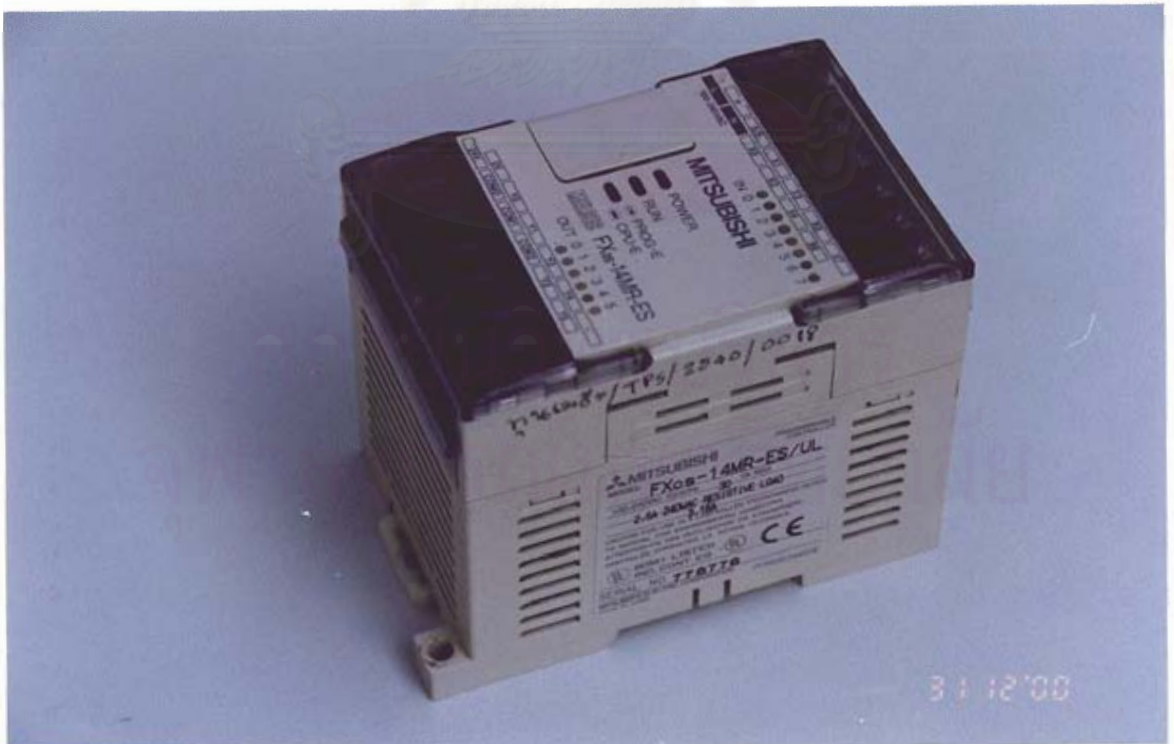
ประกอบด้วยมอเตอร์ความเร็วรอบ 160 รอบ/นาทีและใบกวานแบบใบจักรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม.

3.1.4 เครื่องเติมอากาศ

โดยประกอบด้วยปั๊มอากาศสำหรับตุ้ปลา 1 ตัวและหัวกระจายอากาศแบบหัวฟู่จำนวน 3 หัวต่อ 1 ถัง

3.1.5 ไมโครโพรเซสเซอร์

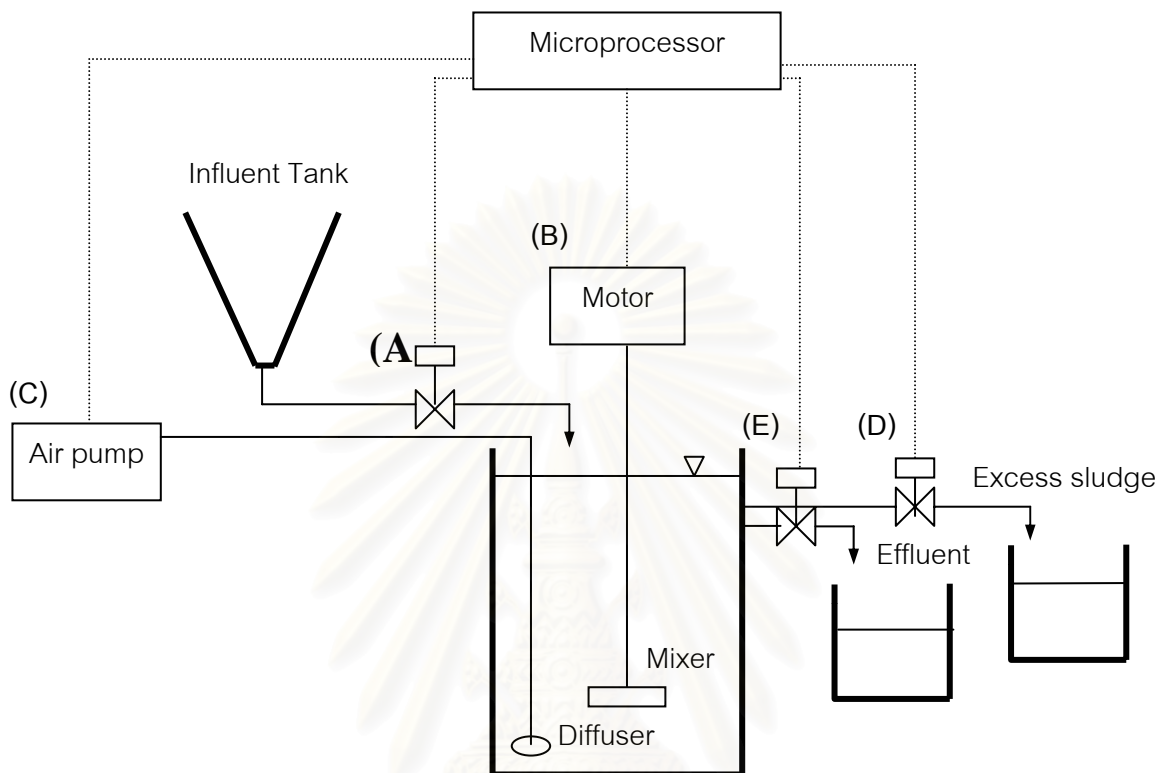
Programmable controller ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FX0s-14MR-ES ดังรูปที่ 3.2 จำนวน 6 ช่อง โดยทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลด้วยรีเลย์แลตเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทุกชิ้นในระบบ



รูปที่ 3.2 Programmable controller

3.1.6 โซลินอยด์วาล์วชนิด NC

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1/2" จำนวน 3 ตัว/ถัง



รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบเอสปีอาร์

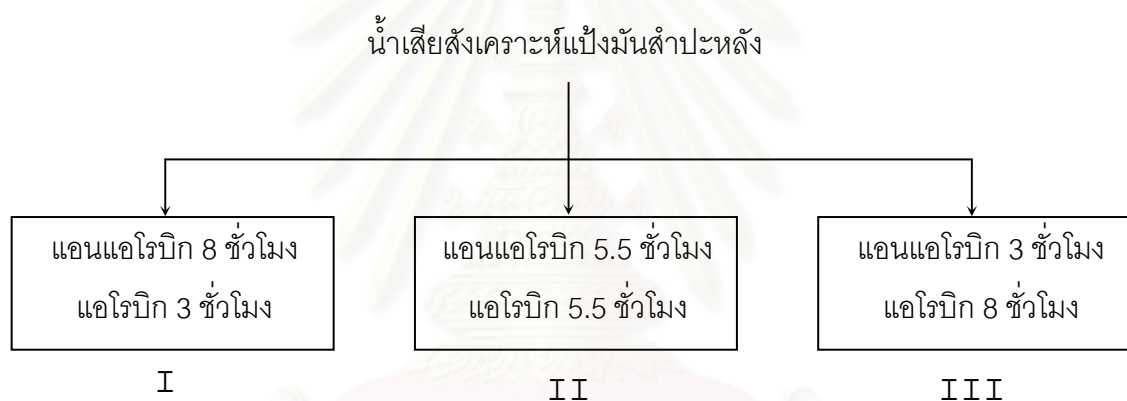
การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในแต่ละชุดการทดลองเป็นดังรูปที่ 3.3 และมีขั้นตอนการควบคุมการทำงานดังนี้

1. ไมโครโพรเซสเซอร์สั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว(A) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อปล่อยน้ำเสียปริมาณ 1 ลิตร เข้าถังปฏิกิริยาแล้วจึงสั่งปิดวาล์ว
2. ไมโครโพรเซสเซอร์สั่งปล่อยกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์เครื่องกวน(B)ทำงาน ซึ่งจะเริ่มทำงานพร้อมกับขั้นตอนที่ 1 เครื่องกวนจะทำงานตั้งแต่เริ่มต้นสภาวะแอนแอโรบิกจนกระทั่งสิ้นสุดช่วงเวลาแอโรบิก
3. เมื่อเข้าขั้นตอนแอโรบิก ไมโครโพรเซสเซอร์จะสั่งให้เครื่องเติมอากาศ(C) ทำงาน
4. ปลายขั้นตอนแอโรบิก ไมโครโพรเซสเซอร์สั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว(D) เพื่อระบายสลัดจ์ส่วนเกินเป็นเวลา 5 นาทีจึงสั่งปิดวาล์ว เครื่องกวนและเครื่องเติมอากาศ

5. อุปกรณ์ทุกอย่างถูกปิดเพื่อให้สลัดจ์จมตัว
6. ไมโครโพรเซสเซอร์สั่งเปิดโซลินอยด์วาล์ว(E) เพื่อระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งเป็นเวลา 10 นาทีจึงสั่งปิดวาล์ว
7. ครบวัฏจักร กลับไปเริ่มต้นที่ขั้นตอนที่ 1 ใหม่

3.2 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง โดยมีเวลาวัฏจักร 12 ชั่วโมง และมีเวลาทำปฏิกิริยารวมเท่ากับ 11 ชั่วโมงแต่มีค่าอัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกต่างกัน โดยได้ดำเนินการทดลองเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกแปรค่าสัดส่วนเวลากักน้ำ 3 ค่า ที่อายุสลัดจ์ 7 วัน จนทั้ง 3 ชุดการทดลองเข้าสู่สถานะคงตัว ดังนี้



ในช่วงที่ 2 พิจารณาชุดการทดลองที่มีสัดส่วนเวลากักน้ำเหมาะสมมาแปรค่าอายุสลัดจ์อีก 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ อายุสลัดจ์ 3 และ 5 วัน

Randall และคณะ (1992) กล่าวว่าปัจจัยหลักในการกำหนดขนาดถังแอนแอโรบิกที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียถูกหมักมามากน้ำเสียจะมีส่วนประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายมาก การสะสมสารอาหารจะเกิดเร็วมาก การใช้ถังแอนแอโรบิกขนาดเล็กก็เพียงพอ แต่ถ้าน้ำเสียมีความสดมากและไม่มีส่วนประกอบของกรดไขมันระเหยง่าย ควรจะใช้ถังแอนแอโรบิกขนาดใหญ่เพื่อส่งเสริมให้เกิดการหมัก

เนื่องจากแบ่งมันสำปะหลังเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ แบกที่เรียจำเป็นต้องย่อยสลายเป็นสารโมเลกุลเล็กก่อนจึงสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ ในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก แบกที่เรียจะ

ทำการไฮโดรไลซ์แป้งด้วยเอนไซม์ให้กลายเป็นน้ำตาล ต่อจากนั้นก็ถูกหมักเป็นกรดไขมันระเหยง่ายเพื่อ ดูดซึมเข้าสู่เซลล์ในช่วงแอนแอโรบิก การแปรค่าสัดส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิกนี้จึงเป็นการหา สัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งจำเป็นในการบำบัดน้ำเสียชนิดนี้

นอกจากนี้การที่สัดส่วนแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการ ของระบบด้วย เช่น ค่าไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการกวนในช่วงแอนแอโรบิกจะน้อยกว่าพลังงานที่ ต้องใช้ในการเติมอากาศ การใช้ช่วงแอนแอโรบิกที่นานขึ้นจะสามารถช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในการเดิน ระบบลงได้

3.3 ตัวแปรคงที่ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

3.3.1 ตัวแปรคงที่

- ลักษณะและขนาดของถังปฏิกรณ์ 20x20x35 ซม.³
- ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ (ดูหัวข้อที่ 3.4)
- วัฏจักรละ 12 ชั่วโมง วันละ 2 วัฏจักร
- อัตราส่วน $V_f : V_0 = 1 : 9$
- เวลากักน้ำ 5 วัน
- อัตราไหลของน้ำเสีย 1 ลิตร/วัฏจักร
- ช่วงตกตะกอน 1 ชั่วโมง
- อายุสัปดาห์ 7 วัน

3.3.2 ตัวแปรอิสระ

- สัดส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิก ได้แก่ 8/3, 5.5/5.5, 3/8 ซม./ซม.

3.3.3 ตัวแปรตาม

พารามิเตอร์ในกระบวนการ ได้แก่ ซีไอดี, บีไอดี, ของแข็งแขวนลอย, พีเอช, ไออาร์พี, ค่า อุณหภูมิ, เอสวี 30, เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส, ทีเคเอ็น, ฟอสฟอรัส, สภาพต่าง, กรดไขมัน ระเหยง่าย

3.4 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เลียนแบบน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ค่าบีโอดีปกติของน้ำเสีย 7,700 มิลลิกรัมต่อลิตร จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าบีโอดีปกติที่มีการเก็บตัวอย่างและแสดงในคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และ แป้งมันแปรรูป (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

Name of factory	BOD(mg/l)	Name of factory	BOD(mg/l)
A	9,900	F	2,575
	7,200		3,870
	5,600	G	2,750
B	3,690		4,820
C	12,900	H	19,500
	16,875	I	8,254
D	5,250	J	5,541
E	4,350	K	8,500
	3,500	L	14,500

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540)

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดเทียบเป็นค่าซีโอดีแทนเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทำวิจัย โดยจากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของแป้งมันสำปะหลังในห้องปฏิบัติการพบว่ามีค่า 0.85 จึงนำอัตราส่วนนี้มาคำนวณเพื่อหาปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ต้องใช้เตรียมสูตรน้ำเสีย ดังตารางที่ 3.2 โดยปริมาณธาตุอาหารที่แบกที่เรียต้องการอ้างอิงจากสูตรเคมีของแบกที่เรีย $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ (Metcalf & Eddy, 1991)

ตารางที่ 3.2 สูตรน้ำเลี้ยงสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง

สารอาหาร	ปริมาณ(กรัม)
แป้งมันสำปะหลัง	8.940
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	0.762
KH_2PO_4	0.325
CaCl_2	0.141
MgSO_4	0.192
FeCl_3	0.054
nutrient broth	0.100
NaHCO_3	1.00(8/3), 1.45(5.5/5.5), 1.20(3/8)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง			
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
พีเอช	D	D	D	D
ไออาร์พี	-	D	D	-
ออกซิเจนละลาย	-	D	D	-
อุณหภูมิ	D	D	D	-
ซีไอดีทั้งหมด	3/W	-	-	I
ซีไอดี(กรอง)	-	3/W, S	3/W, S	3/W, S
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	I, S	-	-	I, S
ฟอสฟอรัส(กรอง)	-	1/W, S	1/W, S	1/W, S
ทีเคเอ็น	I	1/W, S	1/W, S	1/W, S
ไนไตรต์	-	I	I	-
ไนเตรต	-	I, S	I, S	-
เอสวี 30	-	-	S, 3/W	-
เอ็มแอลเอสเอส	-	S, 3/W	S, 3/W	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	S, 2/W	S, 2/W	-
เอสเอส	-	-	-	S, 2/W
สภาพต่าง	I	I	I	I
กรดไขมันระเหยง่าย	-	S, 3/W	S, 3/W	S

หมายเหตุ : D หมายถึง ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ทุกวัน (เก็บที่ช่วงท้ายของขั้นตอนต่างๆ)

1/W, 2/W, 3/W หมายถึง ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1, 2 และ 3 ครั้งตามลำดับ (เก็บที่ช่วงท้ายของขั้นตอนต่างๆ)

I หมายถึง ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์เป็นระยะๆ (เก็บที่ช่วงท้ายของขั้นตอนต่างๆ)

S หมายถึง วิเคราะห์เมื่อเข้าสู่สถานะคงตัว

3.6 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือมาตรฐานอเมริกา (Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1995) และคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540)

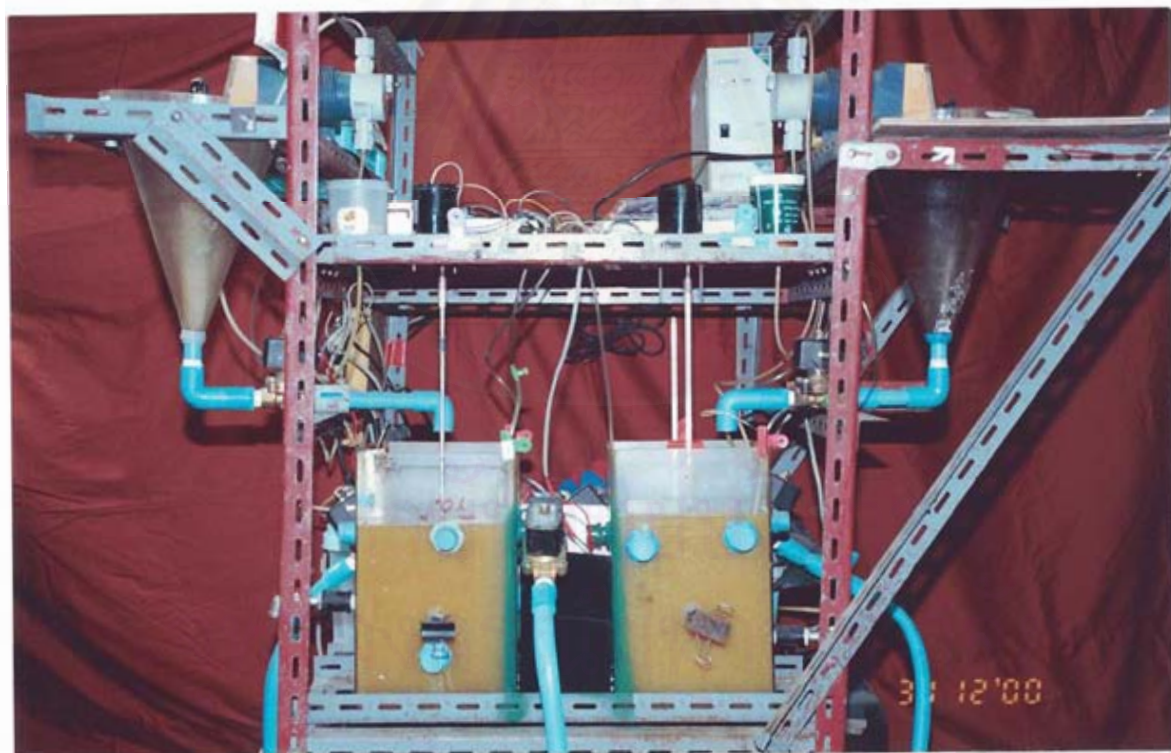
ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	อุปกรณ์
พีเอช	Electronic pH meter with glass electrode	Horiba F-13
โออาร์พี	Electronic ORP meter with platinum electrode	Radiometer PHM 80
ออกซิเจนละลาย	Membrane electrode method	YSI model 52
อุณหภูมิ	Thermometer method	-
เอสวี30	Settled volume method	-
เอ็มแอลเอสเอส	GF/C drying at 103° C	Heraew (103° C)
เอ็มแอลวีเอสเอส	GF/C drying at 103° C + 550° C	Heraew (103° C), Carbolite (550° C)
เอสเอส	GF/C drying at 103° C	Heraew (103° C)
ซีไอดี	Dichromate close reflux method	Memmert (150° C)
สภาพต่าง	Titration method	-
ทีเคเอ็น	Titration method	-
ฟอสฟอรัส	Vanadomolybdate acid method	SHIMADZU UV-1201
กรดไขมันระเหยง่าย	Titration method	-

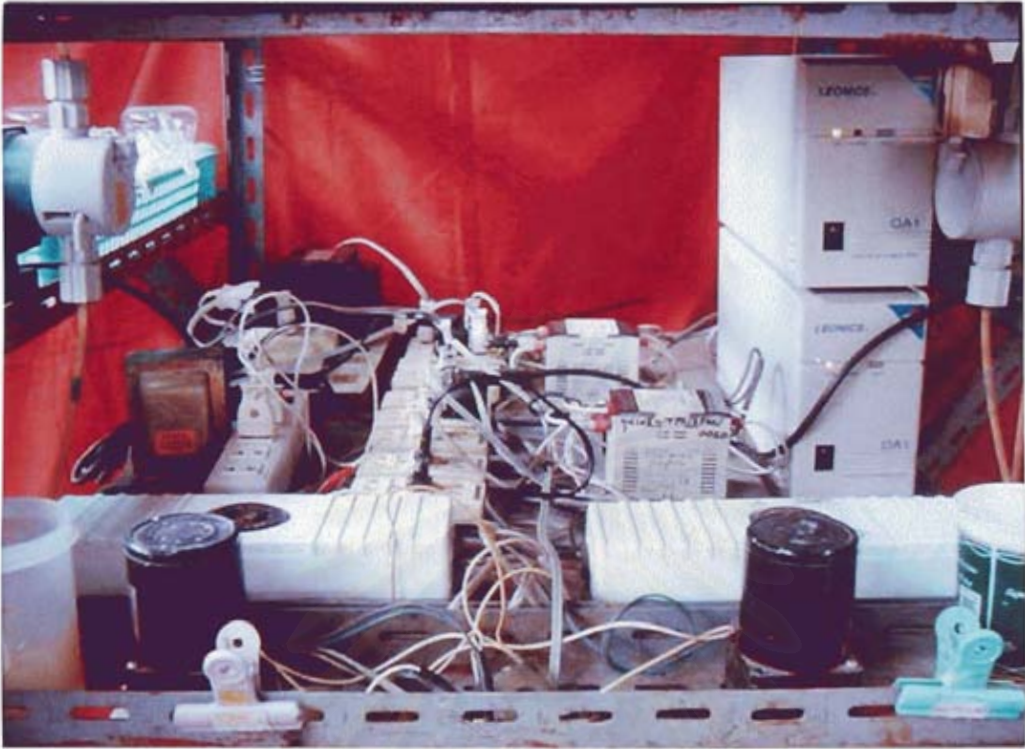
ผลการทดลองและการวิจารณ์

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาอัตราส่วนเวลาพักแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงโดยใช้ระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกแบบเฮสติอาร์ซึ่งในที่นี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เลียนแบบน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สัดส่วนเวลาพักต่างกัน 3 ค่า ซึ่งผลการวิจัยจะสามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังได้ต่อไป

ชุดการทดลองซึ่งเป็นแบบเฮสติอาร์ทำการควบคุมการเดินระบบโดยใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ซึ่งมีการติดตั้งดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้ควบคุมการเดินระบบ

ในช่วงแรกได้เดินระบบเป็นแอนแอโรบิก/แอโรบิกแบบต่อเนื่องควบคู่ไปกับระบบเฮลบีอาร์ ในหัวข้อ "การผลิตโพสิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากน้ำเสียสังเคราะห์แ่งมันสำปะหลังโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ชนิดแอนแอโรบิก/แอโรบิก" แต่ประสบปัญหาเรื่องการตรวจวัดพีเอชเอ จึงทำการเปลี่ยนหัวข้อมาเป็นหัวข้อในปัจจุบัน

การวิจัยในหัวข้อนี้ได้เริ่มเดินระบบตั้งแต่เดือนมีนาคม 2543 และสิ้นสุดราวเดือนเดียวกันของปี 2544 โดยในช่วงแรกของชุดการทดลอง 8/3 (วันที่ 1 – 80) ใช้ค่า BOD : N = 36 : 1 เนื่องจากนำผลการทดลองมาจากหัวข้อการวิจัยเดิมที่สร้างสภาวะกดดันให้จุลชีพ เพื่อผลในการผลิตพีเอชเอจากลักษณะน้ำเสียของโรงงานแ่งมันสำปะหลังที่มีไนโตรเจนต่ำ หลังจากนั้นตั้งแต่วันที่ 83 ได้ทำการเปลี่ยนค่า บีโอดี : ไนโตรเจน = 20 : 1 เนื่องจากการเปลี่ยนหัวข้อและเพื่อลดปัญหาสลัดจ์จืดเนื่องจากมีไนโตรเจนไม่พอ (น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองได้ใช้ไนโตรเจนจากยูเรียเป็นหลักและมีบางส่วนมาจากนิวเทรียนบรอร์(nutrinet broth)ซึ่งเติมเพื่อป้องกันการขาดธาตุอาหาร) หลังจากปิดชุดการทดลองที่เวลากักน้ำ 8/3 จึงได้เริ่มเดินระบบชุดการทดลองที่เวลากักน้ำ 5.5/5.5 และ 3/8 พร้อมกันโดยใช้ค่า บีโอดี : ไนโตรเจน = 20 : 1 เช่นกัน

ผลการทดลองในส่วนของซีไอดีและบีไอดีนั้น ในการวิจารณ์จะขอล่าวถึงเฉพาะซีไอดีเท่านั้น เนื่องจากความผิดพลาดของผู้วิจัย ซึ่งพบในภายหลังจากการวัดค่าบีไอดีโดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลาย(YSI model 52) ผู้วิจัยไม่ได้ทำการปรับเทียบหัววัดบีไอดี เมื่อทำการสลับระหว่างหัววัดออกซิเจนละลายกับหัววัดบีไอดี ทำให้ค่าออกซิเจนละลายที่นำมาคำนวณบีไอดีผิดพลาดค่อนข้างมาก จะคงมีเพียงค่าเฉลี่ยบีไอดีของน้ำเข้าซึ่งสามารถทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบได้ในภายหลัง

ในชุดการทดลอง 5.5/5.5 เมื่อเริ่มเดินระบบไปได้เพียงไม่กี่วัน พบว่าเกิดปัญหาสลัดจ์อุดตันโดยไม่ทราบสาเหตุสลัดจ์มีค่าเอสวีไอสูงถึง 150 มล./ก. ดังนั้นในวันที่ 28 จึงได้เปลี่ยนเชื้อส่วนใหญ่ในถัง โดยใช้เชื้อจากสลัดจ์ส่วนเกินของชุดการทดลอง 3/8 ซึ่งมีค่าเอสวีไอเพียง 74 มล./ก.

ในช่วงวันที่ 40-60 ของชุดการทดลองที่ 5.5/5.5 และ 3/8 ผู้ทำวิจัยได้ประสบอุบัติเหตุจากการทดลอง ทำให้ผลการทดลองขาดช่วงไประยะเวลาหนึ่ง

หลังจากทำการทดลองแปรค่าอัตราส่วนเวลากักแล้ว ได้วิเคราะห์และเลือกอัตราส่วนเวลากัก 5.5/5.5 มาทำการแปรค่าอายุสลัดจ์ เป็นชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5 ซึ่งจะกล่าวถึงผลและการวิเคราะห์แยกจากส่วนของเวลากักไว้ในหัวข้อ 4.3

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 8/3

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ^ก	t = 0 ^ข	แอมโมเนีย ^ค	ไนโตรเจน ^ค	น้ำออก ^ก
พีเอช	7.11	-	6.81	8.24	-
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	-	-	0.33	4.65	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-214	44	-
ซีไอดี (มก./ล.)	8,570.5	960.4	123.8	114.8	356.4
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	337.2	48.8	30.97	16.8	-
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	79.4	7.33	8.6	0.4	-
สภาพต่าง (มก./ล. CaCO ₃)	726.2 ^ค	650.6	712.2	642.2	-
สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. CaCO ₃)	-	-	84.4	56.7	-
ไนไตรต์ (มก./ล. NO ₂ -N)	-	-	-	-	-
ไนเตรต (มก./ล. NO ₃ -N)	-	-	-	-	-
เอสเอส (มก./ล.)	-	-	-	-	258
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			29.1		
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)			5,605		
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)			5,210		
เอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอส (%)			93.0		
เอสวี 30 (มล.)			303		
เอสวีไอ (มล./ก.)			54		
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%ของน้ำหนักแห้ง)			1.9		
F/M _v (กก.บีไอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)			0.25		
อายุสัปดาห์ (วัน)			6.87		

^กไม่กรองตัวอย่าง^ขจากการคำนวณ^คกรองตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์สำหรับซีไอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส สภาพต่าง สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย ไนไตรต์ และไนเตรต

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 5.5/5.5

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ^ก	t = 0 ^ข	แวนแวนโรบิก ^ค	แวนโรบิก ^ค	น้ำออก ^ก
พีเอช	7.20	-	6.82	8.36	-
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	-	-	0.20	4.49	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-192	101	-
ซีไอดี (มก./ล.)	8,658.8	926.9	82.7	67.8	88.1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	366.1	40.5	15.1	4.3	-
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	76.7	17.3	21.9	10.7	-
สภาพต่าง (มก./ล. CaCO ₃)	1053.0 ^ค	799.7	813.1	771.5	-
สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. CaCO ₃)	-	-	112.0	88.9	-
ไนไตรต์ (มก./ล. NO ₂ -N)	-	-	-	3.5	-
ไนเตรต (มก./ล. NO ₃ -N)	-	-	-	3.5	-
เอสเอส (มก./ล.)	-	-	-	-	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.7				
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)	6,828				
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	6,400				
เอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอส (%)	93.8				
เอสวี 30 (มล.)	205				
เอสวีไอ (มล./ก.)	30				
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%ของน้ำหนักแห้ง)	1.4				
F/M _v (กก.บีไอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)	0.21				
อายุสลัดจ์ (วัน)	7.12				

^กไม่กรองตัวอย่าง

^ขจากการคำนวณ

^คกรองตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์สำหรับซีไอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส สภาพต่าง สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย ไนไตรต์ และไนเตรต

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 3/8

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ^ก	t = 0 ^ข	แอมโมเนีย ^ค	ไนโตรเจน ^ค	น้ำออก ^ก
พีเอช		-	7.0	8.3	-
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	-	-	0.1	4.6	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-88.0	95.8	-
ซีไอดี (มก./ล.)	8,958.5	941.5	97.5	50.7	350.5
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	362.3	38.9	31.0	3.0	-
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	75.2	15.7	18.9	9.1	-
สภาพต่าง (มก./ล. CaCO ₃)	871.4 ^ค	676.5	762.7	654.8	-
สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. CaCO ₃)	-	-	120.7	68.7	-
ไนไตรต์ (มก./ล. NO ₂ -N)	-	-	0	7.3	-
ไนเตรต (มก./ล. NO ₃ -N)	-	-	0.7	9.7	-
เอสเอส (มก./ล.)	-	-	-	-	205
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			29.8		
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)			5,495		
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)			5,068		
เอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอส (%)			92.2		
เอสวี 30 (มล.)			620.0		
เอสวีไอ (มล./ก.)			110.6		
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%ของน้ำหนักแห้ง)			1.6		
F/M _v (กก.บีไอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)			0.26		
อายุสลัดจ์ (วัน)			6.92		

^กไม่กรองตัวอย่าง

^ขจากการคำนวณ

^คกรองตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์สำหรับซีไอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส สภาพต่าง สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย ไนไตรต์ และไนเตรต

4.1 พารามิเตอร์ทั่วไป

4.1.1 อุณหภูมิ

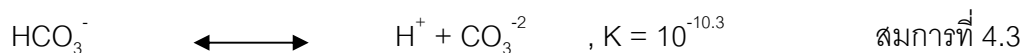
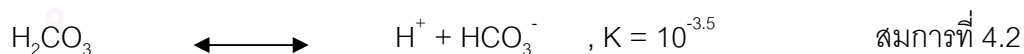
จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี โดยเฉพาะมีผลต่อเอสเอสน้ำออกค่อนข้างมาก คือเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีลดลงเล็กน้อยแต่เอสเอสเพิ่มสูงขึ้น

ชุดการทดลองที่เวลากักน้ำ 8/3 อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 28.5 - 31.0 °C และทำการวัดโดยใช้ค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดออกซิเจนละลาย (YSI model 52)

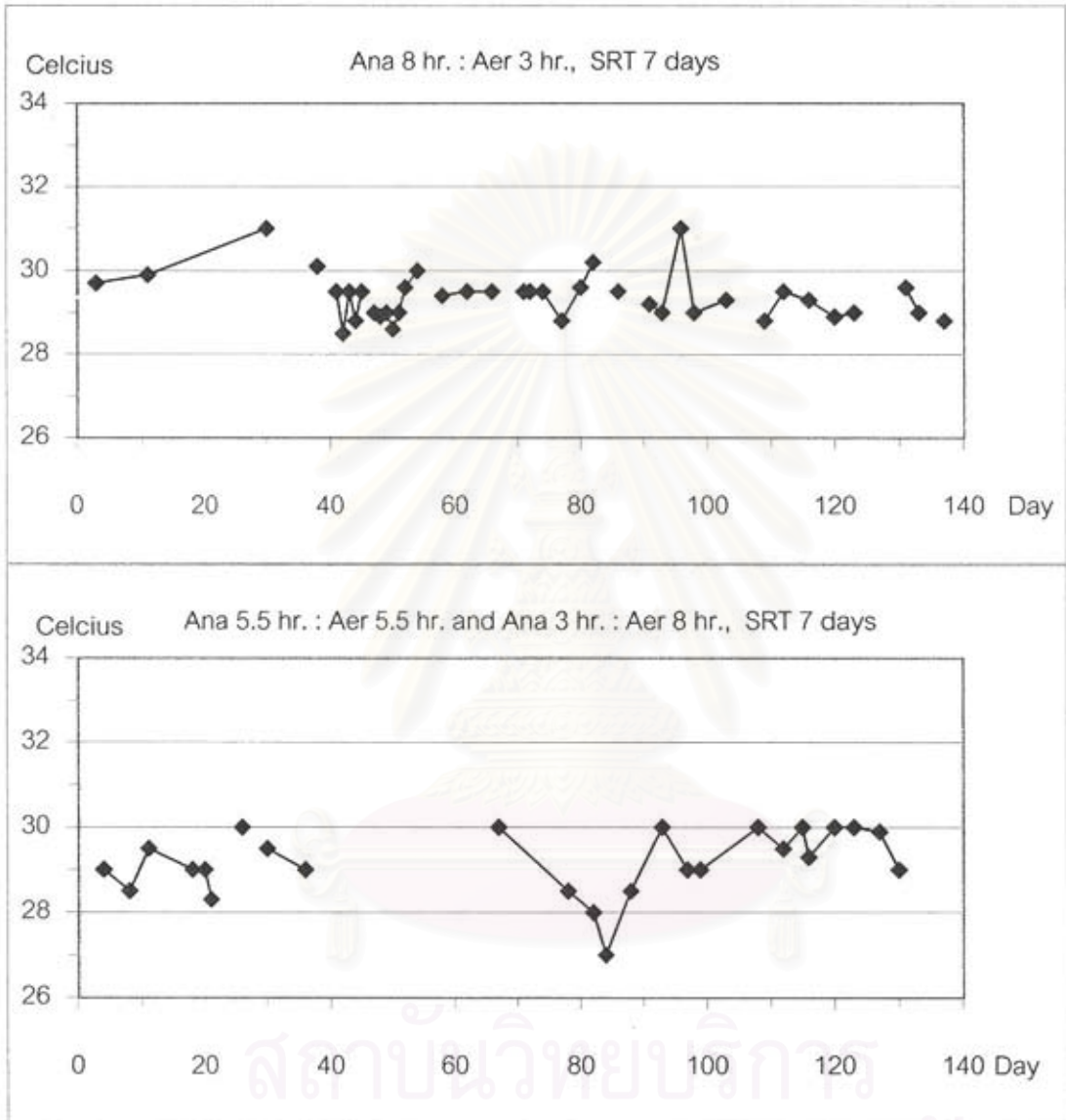
ส่วนชุดการทดลองที่เวลากักน้ำ 5.5/5.5 และ 3/8 ซึ่งเดินระบบขนานกันวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ปรอทซึ่งจุ่มอยู่ในถังปฏิกริยา ในช่วงวันที่ 67-90 อุณหภูมิอากาศลดต่ำลงจึงได้เปิดหลอดไฟชนิดไส้ให้ความร้อนซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้เพียงระดับหนึ่ง อุณหภูมิของทั้งสองชุดการทดลองนี้จึงอยู่ในช่วง 27-30 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.3

4.1.2 พีเอช

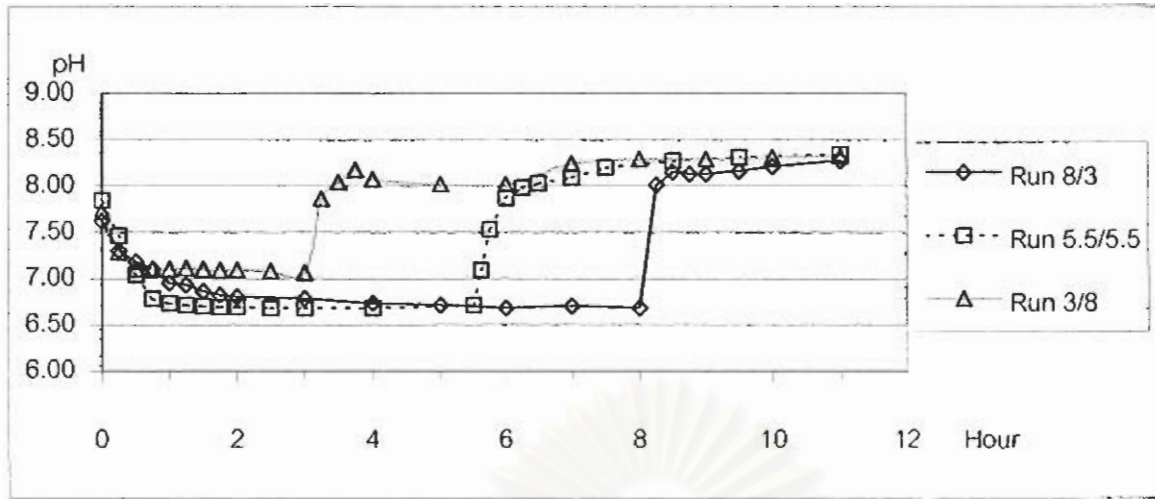
พีเอชในทุกชุดการทดลองได้ควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเติบโตของแบคทีเรีย โดยการเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO₃) จากผลของทุกชุดการทดลองพีเอชลดลงในช่วงแอนแอโรบิกเนื่องจากกรดไขมันระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการหมักแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิก และแตกตัวให้ H⁺ ดังสมการที่ 4.1-4.3



เมื่อเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิกพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในครึ่งชั่วโมง เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำถูกไล่ออกไปด้วยการเติมอากาศ ทำให้สมดุลย้อนกลับส่งผลให้ H⁺ ในน้ำลดลง รวมทั้งการลดลงของกรดไขมันระเหยง่ายซึ่งถูกใช้ในช่องแอโรบิก



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

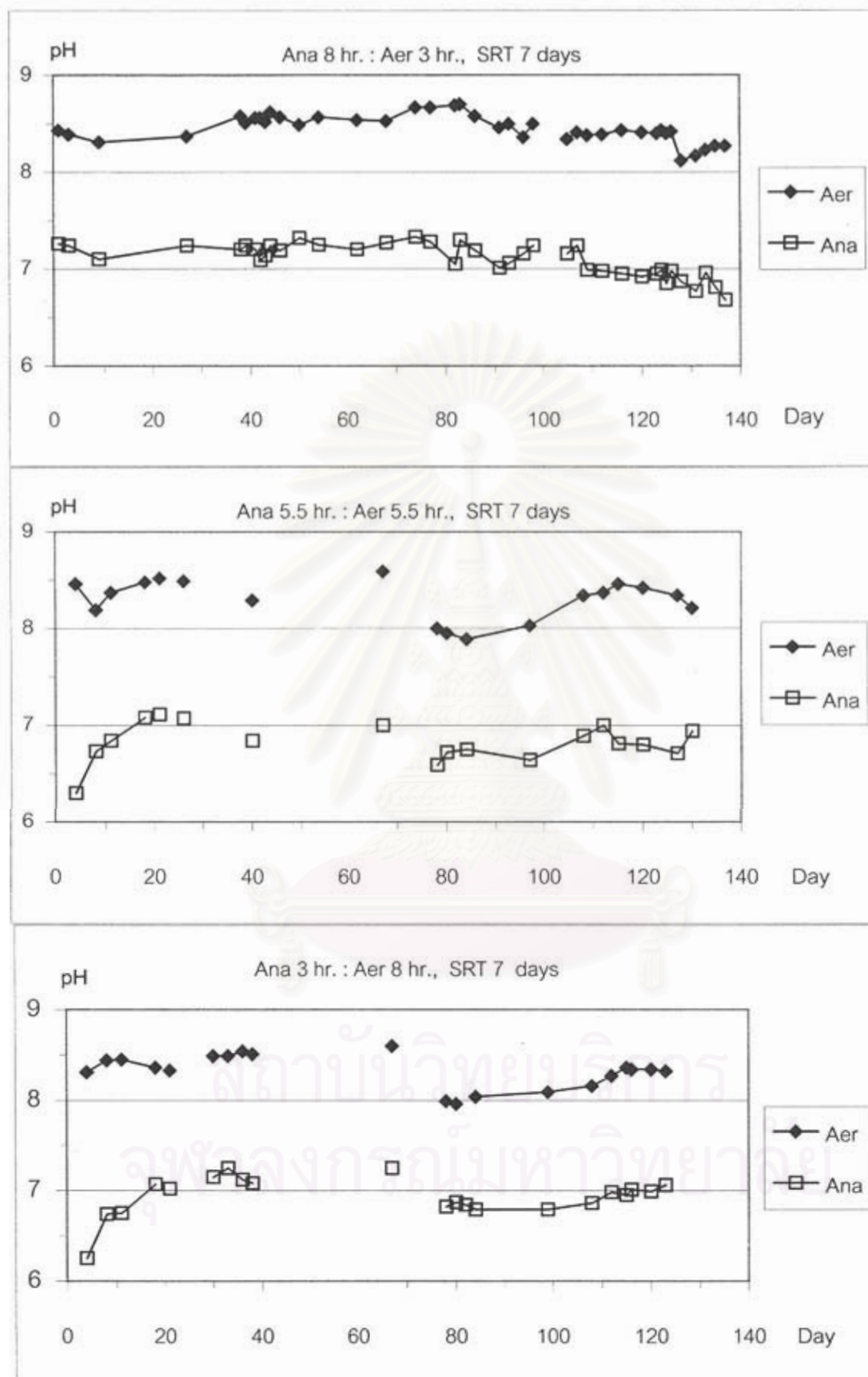


รูปที่ 4.4 โพรไฟล์พีเอชของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

จากโพรไฟล์พบว่าพีเอชในช่วงแอนแอโรบิกลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมง, 45 นาที, 30 นาที ในชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8 ตามลำดับ หลังจากนั้นลดลงเพิ่มอีกเพียงเล็กน้อยจนถึงปลายแอนแอโรบิก และเมื่อมีการเติมอากาศพีเอชได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกชุดการทดลอง ดังรูปที่ 4.4

ในชุดการทดลอง 8/3 ในช่วงวันที่ 1-93 เติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 2.5 ก./ล. พีเอชช่วงแอนแอโรบิกมีค่า 7.0-7.3 และพีเอชช่วงแอโรบิกมีค่า 8.3-8.7 หลังจากนั้นได้ลดปริมาณโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตลงเหลือ 1.0 ก./ล. เนื่องจากพบว่าระบบมีสภาพต่างมากเกินพอ แต่พบว่าพีเอชในระบบยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาพต่างที่ยังมากอยู่ ต่อมาในวันที่ 99 และ 103 ได้ทดลองเดินระบบเป็นแอนแอโรบิกอย่างเดียวนั้นละ 2 วัฏจักรเพื่อลดปัญหาจากสัดจืด (กล่าวถึงในหัวข้อ 4.1.6) หลังจากนั้นพีเอชในช่วงแอนแอโรบิกจึงลดลงเป็น 6.7-7.2 และพีเอชช่วงแอโรบิกเป็น 8.1-8.5 ซึ่งน่าจะเนื่องจากสัดส่วนแบคทีเรียชนิดสร้างกรดที่เพิ่มขึ้นจากการเดินระบบเป็นแอนแอโรบิกรวม 4 วัฏจักร และค่าพีเอชในช่วงสถานะคงตัวช่วงแอนแอโรบิกมีค่า 6.68-6.96 ช่วงแอโรบิกมีค่า 8.17-8.27 ดังรูปที่ 4.5

ชุดการทดลองที่เวลากักน้ำ 5.5/5.5 ในช่วงแรกเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตในน้ำเข้า 2.0 ก./ล. พีเอชช่วงแอนแอโรบิกมีค่า 7.0-7.3 พีเอชช่วงแอโรบิกมีค่า 8.3-8.6 หลังจากนั้นวันที่ 75 ลดโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตลงเหลือ 1.45 ก./ล. เพื่อลดความสิ้นเปลือง พบว่าระบบมีพีเอชลดลง เมื่อเข้าสู่สถานะคงตัวระบบมีพีเอชช่วงแอนแอโรบิก 6.71-6.94 พีเอชช่วงแอโรบิก 8.21-8.46 ดังรูปที่ 4.5



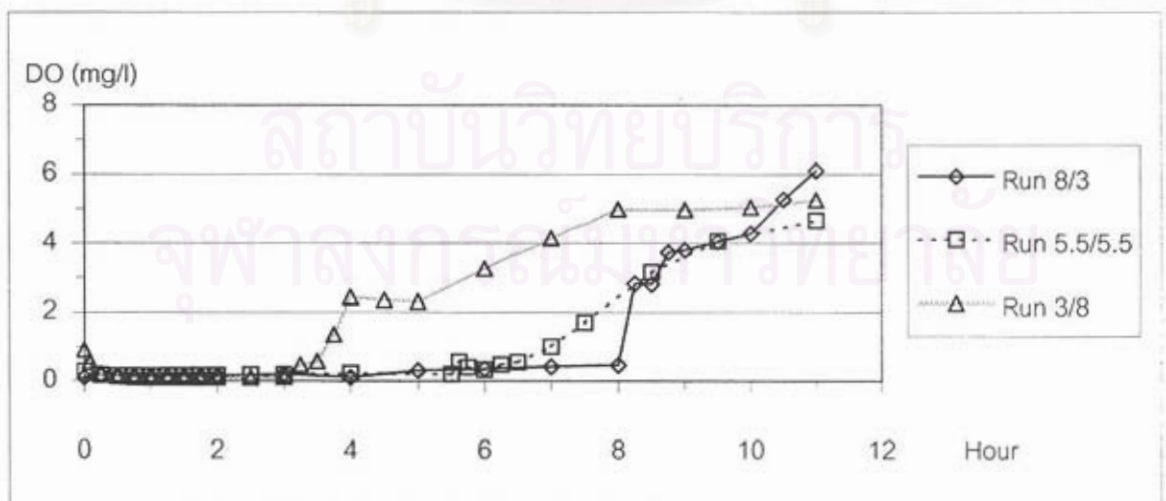
รูปที่ 4.5 พีเอชในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

ชุดการทดลองที่เวลากักน้ำ 3/8 ในช่วงแรกเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตในน้ำเข้า 1.5 ก./ล. พีเอชช่วงแอนแอโรบิกมีค่า 7.0-7.3 พีเอชช่วงแอโรบิกมีค่า 8.3-8.6 หลังจากวันที่ 75 จึงลดโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตลงเหลือ 1.2 ก./ล. พบว่าระบบมีพีเอชลดลง เมื่อเข้าสู่สถานะคงตัวพีเอชในช่วงแอนแอโรบิก 6.99-7.06 พีเอชช่วงแอโรบิก 8.32-8.34 ดังรูปที่ 4.5

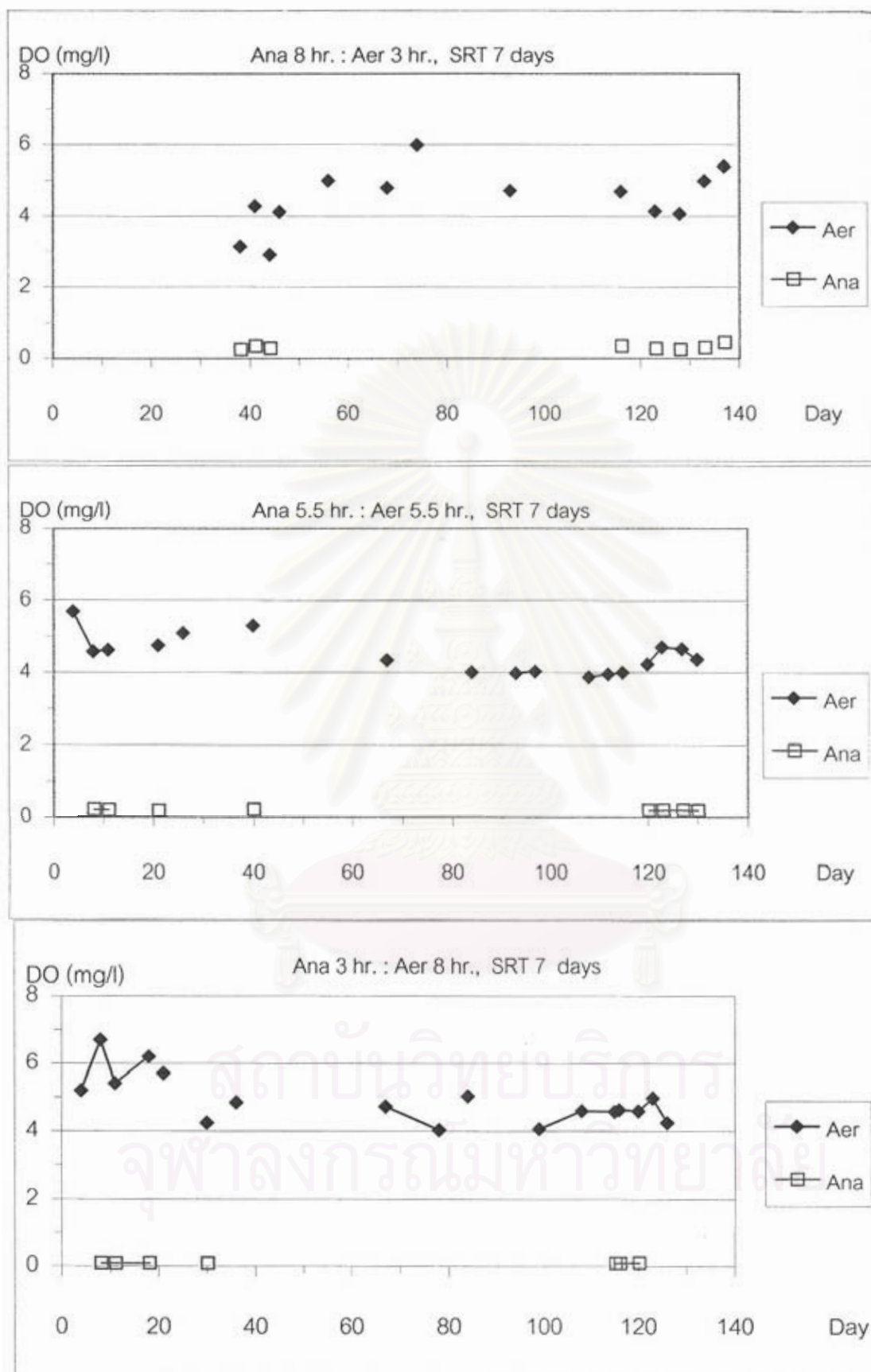
การที่พีเอชในช่วงแอโรบิกของระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกเพิ่มขึ้นสูงนี้สอดคล้องกับผลที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปที่มีการเดินระบบเป็นแอนแอโรบิก/แอโรบิก ในงานวิจัยอื่นๆ ทั้งที่เป็นอีบีพีอาร์และไม่เป็น ดังเช่น บุษกร อมรวิทย์ (2542) และปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ (2543) ในการศึกษาการกำจัดสีโดยระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิกโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารอาหารร่วม

4.1.3 ออกซิเจนละลาย

จากไฟล์ของออกซิเจนละลายในชุดการทดลอง 8/3 และ 5.5/5.5 ในช่วงแอนแอโรบิกพบว่าค่าออกซิเจนละลายลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้น เนื่องจากถูกจุลินทรีย์ใช้ไปในสภาวะที่มีภาระสารอินทรีย์สูง และที่ปลายแอนแอโรบิกออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากการถ่ายเทออกซิเจนผ่านผิวน้ำเมื่อภาระสารอินทรีย์ลดลงและอาจเนื่องจากความไม่แม่นยำของหัววัด ที่ค่าออกซิเจนละลายต่ำๆ โดยมีค่าออกซิเจนละลายที่ปลายแอนแอโรบิกเท่ากับ 0.25-0.46 และ 0.19-0.20 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในชุดการทดลอง 3/8 พบว่าค่าออกซิเจนละลายลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นแอนแอโรบิกและค่อนข้างคงที่คือ 0.10 มก./ล. ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ไฟล์ออกซิเจนละลายของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8



รูปที่ 4.7 ออกซิเจนละลายในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

ส่วนในช่วงแอมโรบิกได้ทำการเติมอากาศเพื่อให้ค่าออกซิเจนละลายสูงกว่า 0.5 มก./ล. ภายใน 45 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดสภาวะแอมโรบิกจริง โดยทุกชุดการทดลองมีค่าออกซิเจนละลายที่ปลายช่วงแอมโรบิกในช่วง 3.8-6.7 มก./ล. ดังรูปที่ 4.7

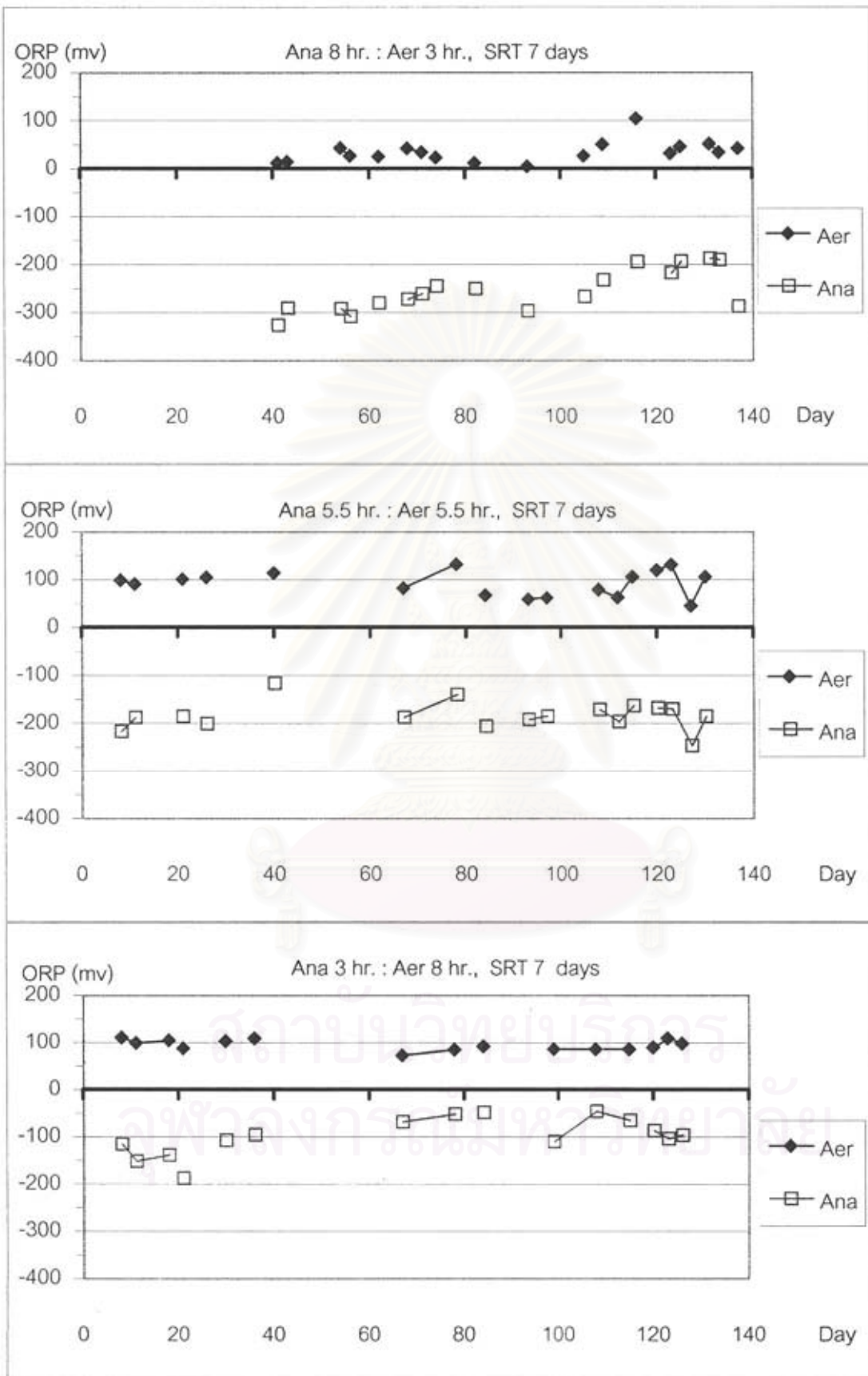
4.1.4 ไออาร์พี

ค่าไออาร์พีที่ปลายแอมโรบิกมีค่า -287 ถึง -187, -246 ถึง -163 และ -104 ถึง -87 มิลลิโวลต์ ในชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5, 3/8 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.8 โดยค่าไออาร์พีมีแนวโน้มลดลง(เป็นลบมากขึ้น)เมื่อสัดส่วนเวลากักแอมโรบิกเพิ่มขึ้น และจากโปรไฟล์ของทุกชุดการทดลองพบว่าค่าไออาร์พีในช่วงแอมโรบิกลดลงตามเวลาโดยไม่มีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนละลายในแอมโรบิกที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.6 และ 4.9

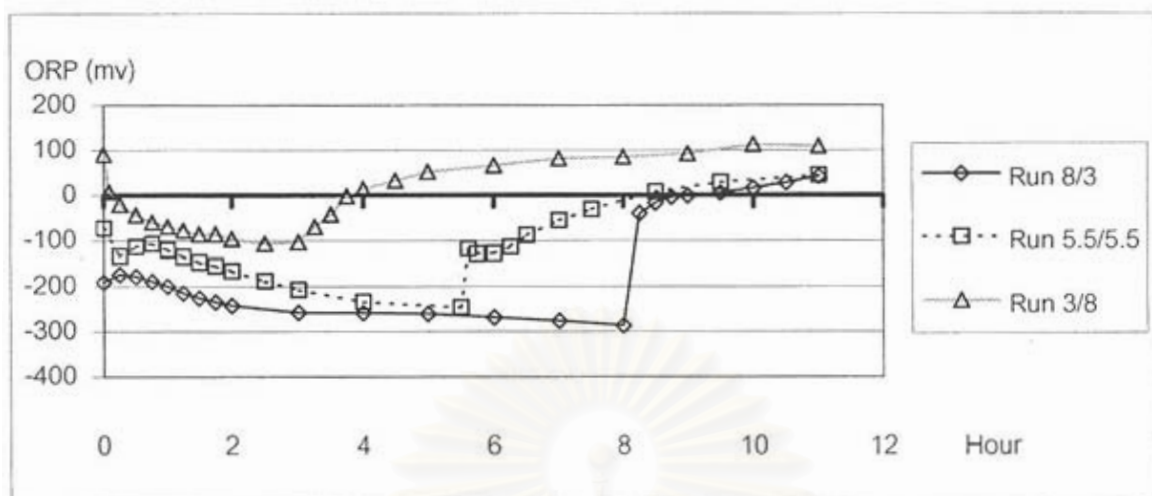
ค่าไออาร์พีที่ปลายแอมโรบิกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของระยะเวลาแอมโรบิกที่นานขึ้นโดยค่าไออาร์พีของชุดการทดลอง 8/3 มีค่า 34-52 มิลลิโวลต์ โดยรวมเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีเวลาเติมอากาศเพียง 3 ชั่วโมง แม้จะมีค่าออกซิเจนละลายสูงถึง 4-5 มก./ล.

ค่าไออาร์พีที่ปลายแอมโรบิกของชุดการทดลอง 5.5/5.5 มีค่า 45-131 มิลลิโวลต์ โดยมีเพียงค่าของวันที่ 127 ซึ่งเป็นวันที่ทำการวัดโปรไฟล์ที่มีค่าต่ำสุดคือ 45 มิลลิโวลต์ ซึ่งน่าจะเนื่องจากผลกระทบของการที่จุ่มหัววัดในช่วงแอมโรบิกที่มีค่าเป็นลบมากๆ และอายุการใช้งานของหัววัดทำให้มีความไวในการวัดลดลง

ค่าไออาร์พีที่ปลายแอมโรบิกของชุดการทดลอง 3/8 มีค่า 90-109 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าทั้งในช่วงแอมโรบิกและแอมโรบิกของทุกชุดการทดลองเกิดสภาวะแอมโรบิกและแอมโรบิกตามที่ต้องการจริง



รูปที่ 4.8 โออาร์พีในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8



รูปที่ 4.9 โพรไฟล์โออาร์พีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

4.1.5 สภาพต่างและสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่ายด้วยวิธีการไทเทรต ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่แม่นยำนักเพราะเป็นการวัดสภาพต่างของกรดไขมันระเหยง่าย ไม่ใช่ค่ากรดไขมันระเหยง่ายโดยตรง ทำให้ค่าที่ได้เป็นเพียงค่าประมาณเพื่อดูแนวโน้มหรือเปรียบเทียบเท่านั้น

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างและสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8 (มก./ล. CaCO_3)

ชุดการทดลอง	สภาพต่างในน้ำเข้า*	แอนแอโรบิก		แอโรบิก		n
		ALK	VFA	ALK	VFA	
8/3	726.2	712.2	84.4	642.2	56.7	4
5.5/5.5	1053.0	813.1	112.0	771.5	88.9	3
3/8	871.4	762.7	120.7	654.8	68.7	3

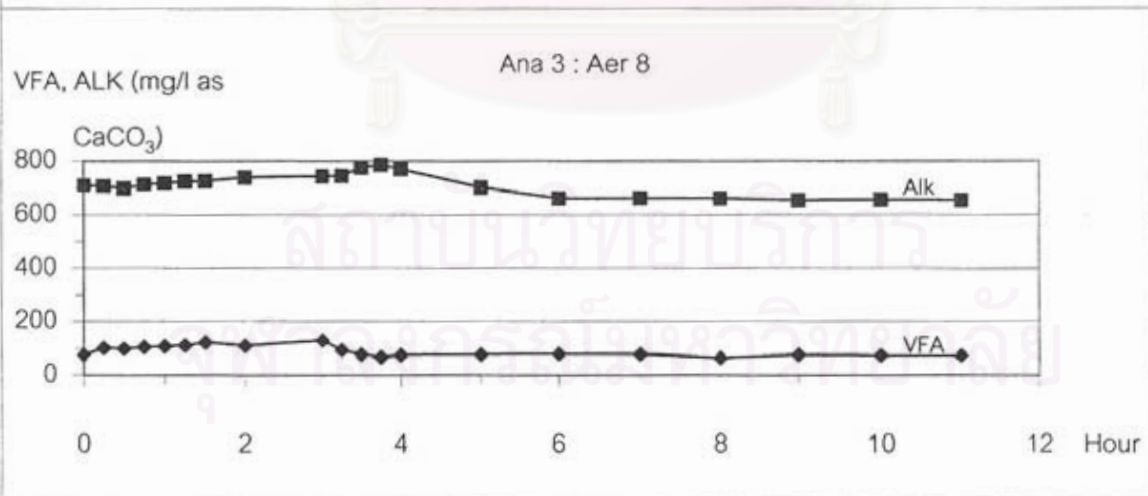
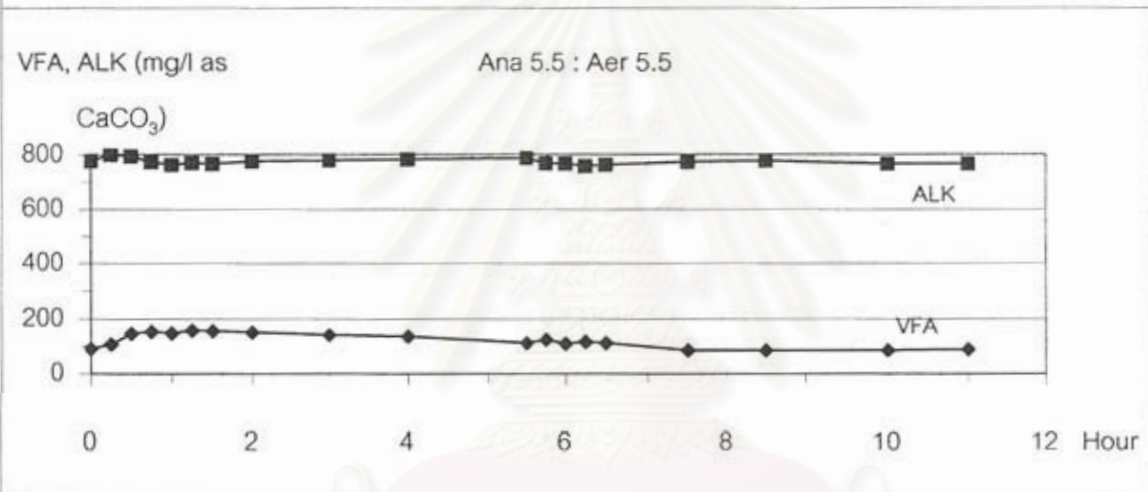
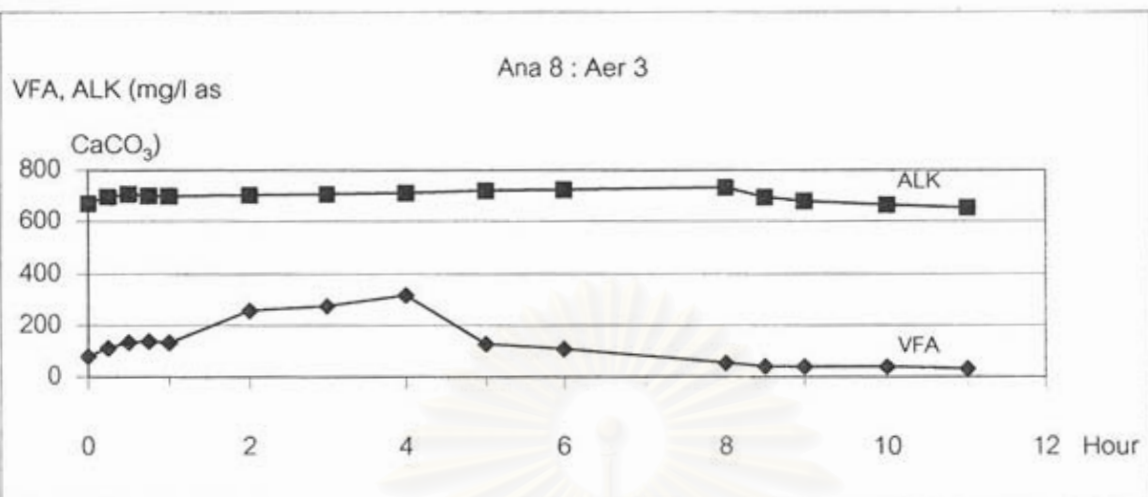
* คำนวณจากปริมาณ NaHCO_3

ผลของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8 ซึ่งในสถานะคงตัวเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 1.0, 1.45, 1.2 ก./ล. ในน้ำเข้า (ให้สภาพต่าง 726, 1053 และ 871 มก./ล. CaCO_3 ตามลำดับ) พบว่ามีสภาพต่างที่ปลายแอนแอโรบิก 674.2-732.2, 787.5-831.2, 743.1-780.9 มก./ล. CaCO_3 และกรดไขมันระเหยง่าย 53.8-109.7, 71.0-115.3, 110.2-128.2 มก./ล. CaCO_3 ตาม

ตามลำดับ โดยทั้งสภาพต่างและกรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแอนแอโรบิก เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนแอนโรบิกสภาพต่างลดลงเป็น 615.8-652.6, 732.7-777.2, 652.8-658.2 มก./ล. CaCO_3 ในขณะที่กรดไขมันระเหยง่ายเหลือเพียง 30.7-79.5, 28.8-90.5, 60.1-73.5 มก./ล. CaCO_3 ตามลำดับ

ในระบบเมื่อสัดส่วนเวลากักแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นจะมีการหมักมากกว่า แต่จากผลการทดลองที่เวลากักแอนแอโรบิก 8 ชม. กลับไม่พบว่ามีค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงสุด เนื่องจากการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายของแบคทีเรียที่เกิดควบคู่กันไป ซึ่งสามารถเห็นได้จากโปรไฟล์ของทุกชุดการทดลอง ในชุดการทดลอง 8/3 และ 5.5/5.5 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงสุดที่ 4 และ 1.15 ชม. (316.8 และ 157.4 มก./ล. CaCO_3) ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงลดต่ำลงเนื่องจากการดูดซึมของแบคทีเรีย ในขณะที่ชุดการทดลอง 3/8 เกิดการหมักน้อยเพราะมีสัดส่วนมวลแอนแอโรบิกน้อยกว่า โดยมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายค่อนข้างคงที่และสูงสุดที่ปลายแอนแอโรบิกคือ 128.2 มก./ล. CaCO_3 (ที่ 3 ชั่วโมง)

ผลการทดลองนี้แตกต่างกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในระบบอิมปีฟิอาร์ (ซึ่งมีการเดินระบบเป็นแอนแอโรบิก/แอโรบิก) เล็กน้อย คือโดยปกติระบบอิมปีฟิอาร์มักจะรับน้ำเสียที่มีกรดไขมันระเหยง่ายอยู่แล้ว โดยอาจจะผ่านการหมักขั้นต้นมาก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ แต่ในงานวิจัยนี้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีจึงจำเป็นต้องผ่านการไฮโดรไลซ์ก่อน ส่งผลให้ค่าซีโอดีกรองสูงขึ้นอย่างรวดเร็วใน 15 นาทีแรก (หัวข้อที่ 4.1.9) (แป้งมันไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้) หลังจากนั้นจึงเกิดการหมัก ทำให้กรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งในขณะเดียวกันแบคทีเรียบางส่วนก็มีการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายเข้าไปในเซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายไม่เพิ่มสูงนัก และเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหลือลดลงทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำสลัดจ์ลดลงด้วย

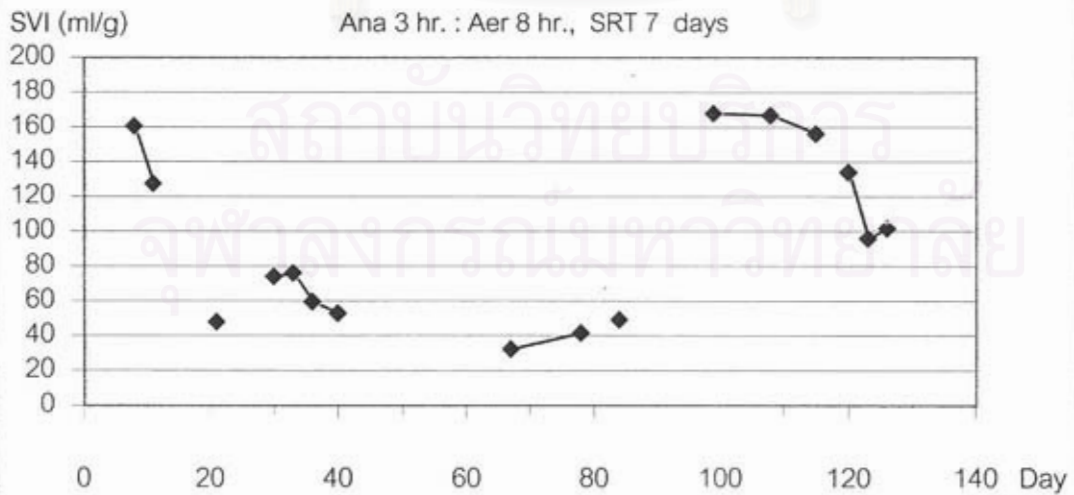
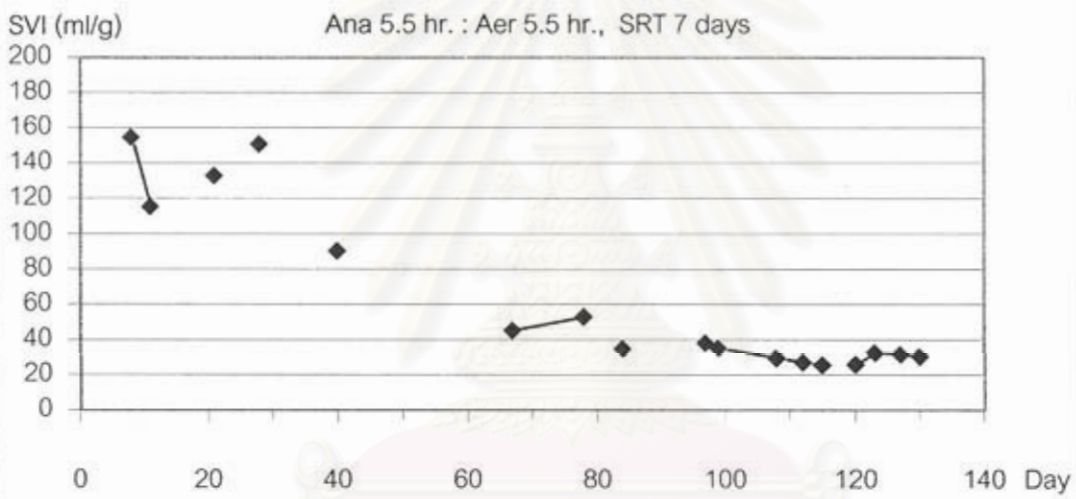
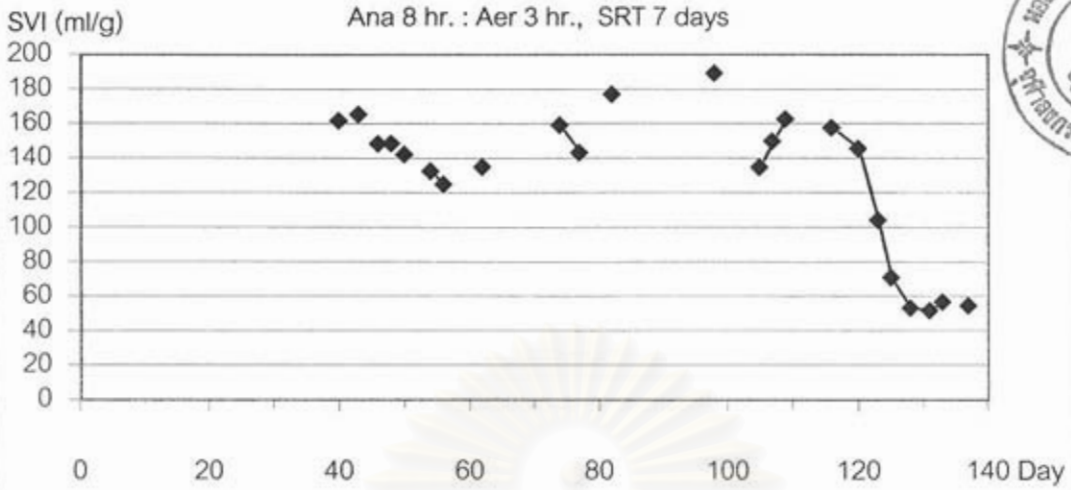


รูปที่ 4.10 โพรไฟล์สภาพต่างและสภาพต่างกรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

4.1.6 เอสวี30 และเอสวีไอ

ชุดการทดลอง 8/3 พบว่าระบบเกิดปัญหาสลัดจ์อุดตันตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลองเนื่องจากการใช้ บีโอดี : ไนโตรเจน = 36 : 1 โดยค่าเอสวีไอสูงถึง 125-177 มล./ก. หลังจากวันที่ 83 ได้ลดอัตราส่วน บีโอดี : ไนโตรเจน เป็น 20 : 1 โดยการเพิ่มยูเรียเป็น 0.762 ก./ล. และนิวเทรียนบรอก 0.1 ก./ล. (ไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์มาจากยูเรียเป็นหลักและเติมนิวเทรียนบรอกเล็กน้อยเพื่อป้องกันการขาดธาตุอาหาร) ในวันที่ 88 ได้ทดลองเพิ่มสัดส่วนไนโตรเจนที่มาจากนิวเทรียนบรอก โดยลดปริมาณยูเรียลงและเพิ่มนิวเทรียนบรอก (ยูเรีย 0.696 ก./ล. และนิวเทรียนบรอก 0.3 ก./ล.) โดยมีจุดประสงค์เพื่อจำลองลักษณะน้ำเสียให้คล้ายกับการเติมน้ำเสียชุมชนเพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ น้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง แต่พบว่าไม่สามารถลดปัญหาจากสลัดจ์อุดตันได้ รวมทั้งยังพบการเพิ่มขึ้นของจุลชีพชนิดเส้นใย(จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์)ที่มีสีส้มอย่างเห็นได้ชัด หลังจากการเพิ่มนิวเทรียนบรอก จึงลองแก้ปัญหาด้วยการเดินระบบเป็นสภาวะแอโรบิก อย่างเดียวจำนวน 1 วัฏจักร แต่พบว่ายิ่งทำให้สลัดจ์ในถังปฏิกริยามีสีส้มเด่นชัดขึ้นไปอีกและเมื่อทำการเหยียงเพื่อแยกน้ำใสจะพบกลุ่มจุลชีพชนิดนี้แยกเป็นชั้นสีส้มที่ชั้นบนสุด ในวันที่ 99 จึงกลับเป็นการเดินระบบเป็นแอนแอโรบิก 2 วัฏจักร พบว่าสลัดจ์มีการจมตัวดีขึ้นเล็กน้อยเพียง 4-5 วัน ก็กลับมีเอสวีไอสูงขึ้นไปอีก ในวันที่ 103 จึงลดสัดส่วนของนิวเทรียนบรอกลงเท่าเดิมและกลับเป็นการเดินระบบเป็นแอนแอโรบิก 2 วัฏจักร พบว่าทำให้การจมตัวของสลัดจ์ดีขึ้น จากนั้นสลัดจ์ก็มีการจมตัวดีขึ้นเรื่อยๆ จนเข้าสู่สถานะคงตัวโดยมีค่าเอสวีไอ 52-57 มล./ก.

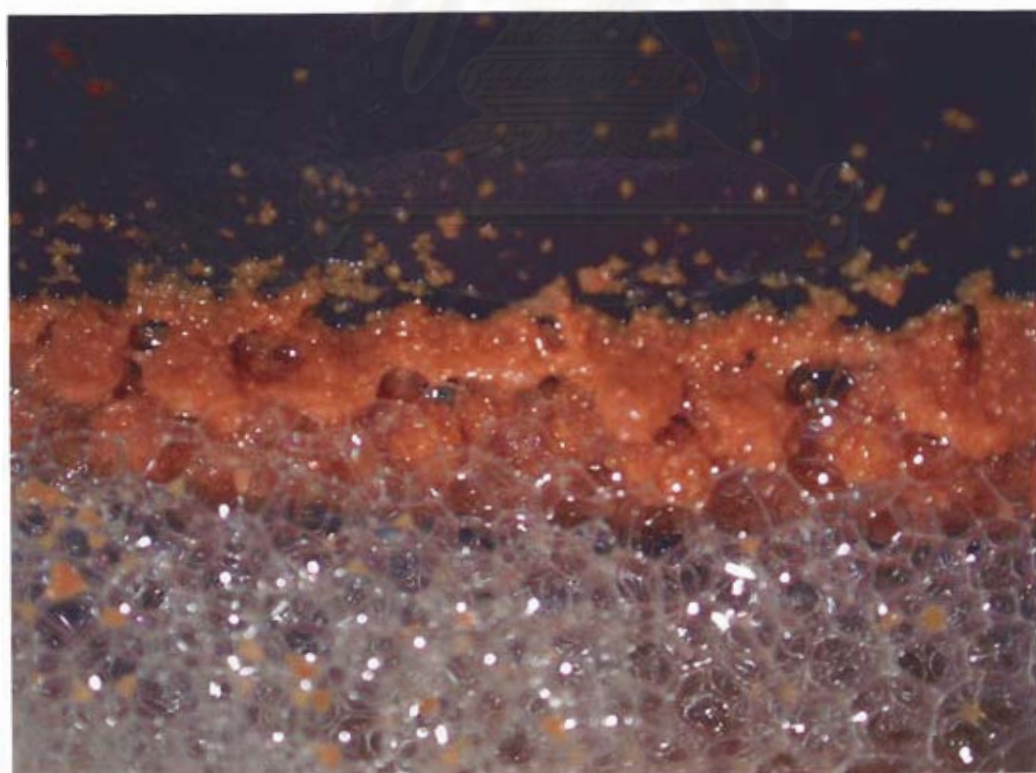
ชุดการทดลอง 5.5/5.5 เริ่มเดินระบบพร้อมกับชุดการทดลอง 3/8 โดยใช้เชื้อจากโรงบำบัดน้ำเสียนานาวาซึ่งสลัดจ์สามารถจมตัวได้ดีมาก แต่เมื่อเริ่มรับน้ำเสียสังเคราะห์แป้งมันสำปะหลัง ค่าเอสวี30 ก็สูงขึ้นถึง 980 มล. ในวันที่ 28 จึงทำการเปลี่ยนเชื้อส่วนใหญ่ในถังโดยใช้สลัดจ์ส่วนเกินจากชุดการทดลอง 3/8 ซึ่งมีค่าเอสวีไอ 74 มล./ก. ในช่วงวันที่ 88 พบว่าสลัดจ์มีการเปลี่ยนจากลักษณะที่เป็นฟล็อกกลายเป็นเม็ดเล็กๆ เกือบทั้งถังโดยไม่ทราบสาเหตุ ดังรูปที่ 4.12 (เกิดหลังจากการลดไนโตรเจนในน้ำเข้าเพื่อลดผลกระทบจากไนไตรต์และไนเทรตในวันที่ 82 แต่ทำการเติมไนโตรเจนเท่าเดิมในวันที่ 88 เนื่องจากทำให้เกิดปัญหาสลัดจ์อุดตันในชุดการทดลอง 3/8 ดังจะกล่าวต่อไป) สลัดจ์จมตัวเร็วมากแต่น้ำออกมีเอสเอสสูง หลังจากวันที่ 108 พบว่าสลัดจ์ส่วนที่เป็นเม็ดเริ่มลดลงโดยมีส่วนที่เป็นฟล็อกเพิ่มมากขึ้นและน้ำออกเริ่มมีเอสเอสน้อยลง หลังจากวันที่ 115 พบว่าสลัดจ์ที่เป็นเม็ดเหลือเพียงครึ่งหนึ่งในระบบเท่านั้น ในสถานะคงตัวชุดการทดลอง 5.5/5.5 มีค่าเอสวีไออยู่ในช่วง 26-32 มล./ก.



รูปที่ 4.11 เอสวีไอในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8



รูปที่ 4.12 ลักษณะสลัดจ์ของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ในวันที่ 119 (ส่วนล่างยังคงลักษณะที่เป็นเม็ด แต่ส่วนบนมีลักษณะเป็นฟล็อกตามปกติ น้ำออกเริ่มมีเฮลเฮลน้อยลง)



รูปที่ 4.13 ลักษณะของสลัดจ์ที่ติดขอบทางด้านบนของถังปฏิกริยาในชุดการทดลอง 5.5/5.5 (ในวันที่ 119)

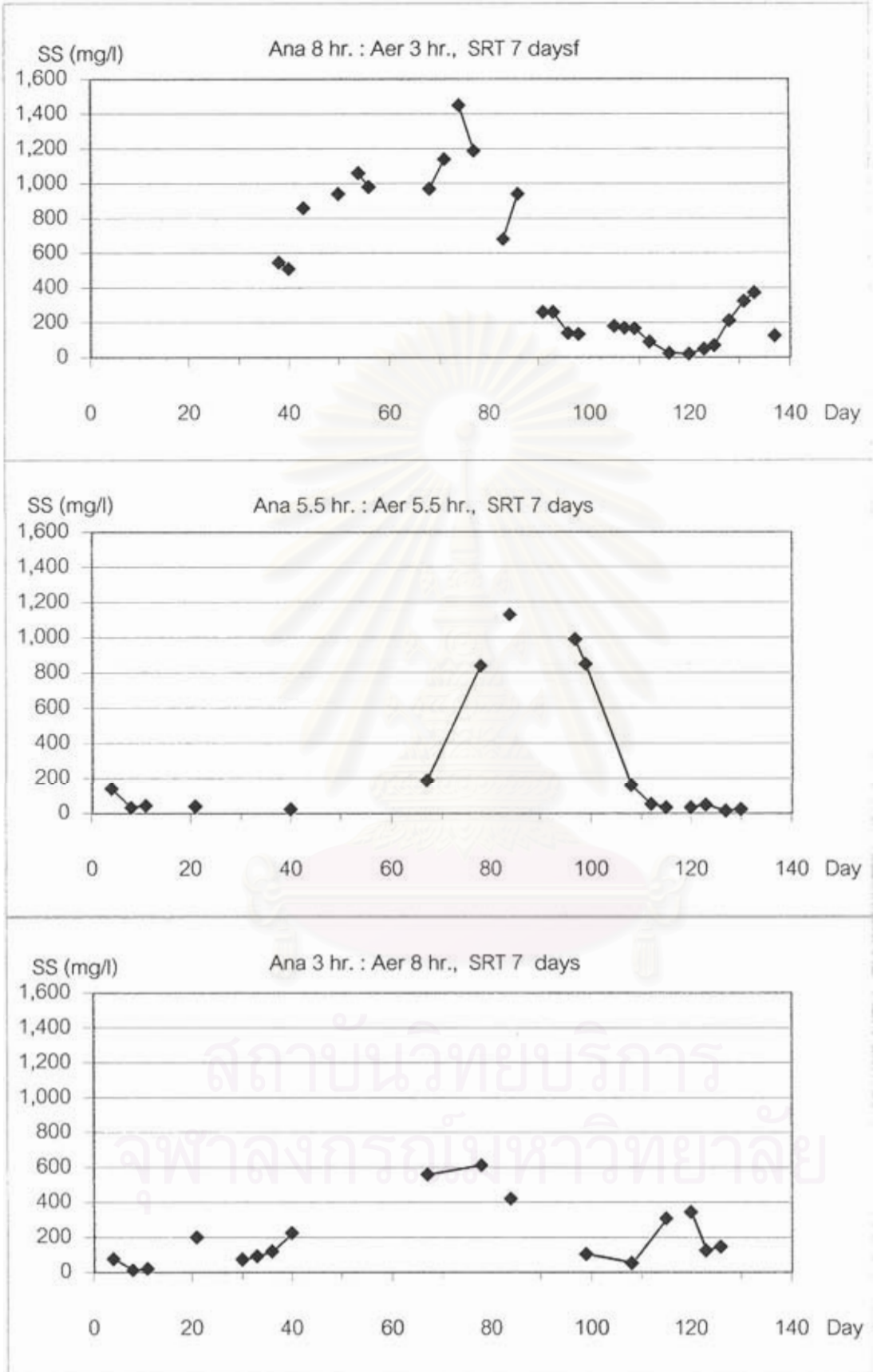
ชุดการทดลอง 3/8 การจมน้ำของสลัดจ์ที่ตั้งแต่เริ่มต้นระบบ จนถึงวันที่ 82 ซึ่งทดลองลดไนโตรเจนในน้ำเข้าเพื่อลดผลกระทบจากไนไตรต์และไนเตรต(ลดจาก 0.762 ก./ล. เป็น 0.700 ก./ล.) ปรากฏว่าค่าเอสวี 30 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2-3 วัน และน้ำออกเริ่มใสขึ้น(กล่าวถึงในหัวข้อ 4.1.7) แต่ในชุดการทดลอง 5.5/5.5 กลับไม่พบปัญหาจากสลัดจ์ที่ 82 จึงกลับมาเติมยูเรียในปริมาณเท่าเดิม ซึ่งระบบต้องใช้เวลากว่า 20 วัน เพื่อปรับตัวให้เอสวีลดจาก 168 เหลือ 100 มล./ก.

4.1.7 เอสเอส

ชุดการทดลอง 8/3 ในช่วงแรกถึงวันที่ 86 น้ำออกมีเอสเอสค่อนข้างสูงแม้จะมีปัญหาสลัดจ์ที่ (ปกติเมื่อเกิดปัญหาสลัดจ์ที่น้ำออกจะมีเอสเอสต่ำ) และค่อยๆ ลดลง เนื่องจากการเพิ่มไนโตรเจนในน้ำเข้า(ในวันที่ 83) โดยต่ำสุดที่วันที่ 120 (20 มก./ล.) หลังจากนั้นก็สูงขึ้นอีก แม้ในสถานะคงตัวระบบยังคงมีเอสเอสในน้ำออกแกว่งอยู่ในช่วง 125-372 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ชุดการทดลอง 5.5/5.5 ระบบมีค่าเอสเอสในน้ำออกค่อนข้างต่ำยกเว้นในช่วงวันที่ 67-110 เอสเอสในน้ำออกเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 67 เนื่องจากอุณหภูมิอากาศลดลงต่ำในเวลากลางคืน (840 มก./ล. ในวันที่ 78) หลังจากลดไนโตรเจนในวันที่ 82 เอสเอสสูงขึ้นถึง 1,130 มก./ล.(วันที่ 84) อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิลกลับเป็นปกติและเพิ่มไนโตรเจนเท่าเดิม เอสเอสก็ปรับตัวลดลงในช่วงสถานะคงตัวค่าเอสเอสในน้ำออกอยู่ในช่วง 14-48 มก./ล.

ชุดการทดลอง 3/8 ได้รับผลกระทบจากการลดลงของอุณหภูมิเช่นเดียวกับชุดการทดลอง 5.5/5.5 ตั้งแต่วันที่ 67 แต่หลังจากวันที่ 82 ที่ทดลองลดไนโตรเจนในน้ำเข้า ส่งผลให้เกิดปัญหาสลัดจ์ที่ขึ้นในชุดการทดลองนี้ ทำให้น้ำออกค่อนข้างใสเนื่องจากถูกแบคทีเรียชนิดเส้นใยกรองตะกอนแขวนลอยไว้ จึงเห็นว่าน้ำออกมีค่าเอสเอสต่ำเมื่อเทียบกับชุดการทดลอง 5.5/5.5 เมื่ออุณหภูมิลกลับเป็นปกติและเพิ่มไนโตรเจนเท่าเดิมเอสเอสก็ปรับตัวลดลงเช่นกัน ในช่วงสถานะคงตัวเอสเอสในน้ำออกแกว่งอยู่ในช่วง 124-344 มก./ล.



รูปที่ 4.14 เอสเอสในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

4.1.8 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส

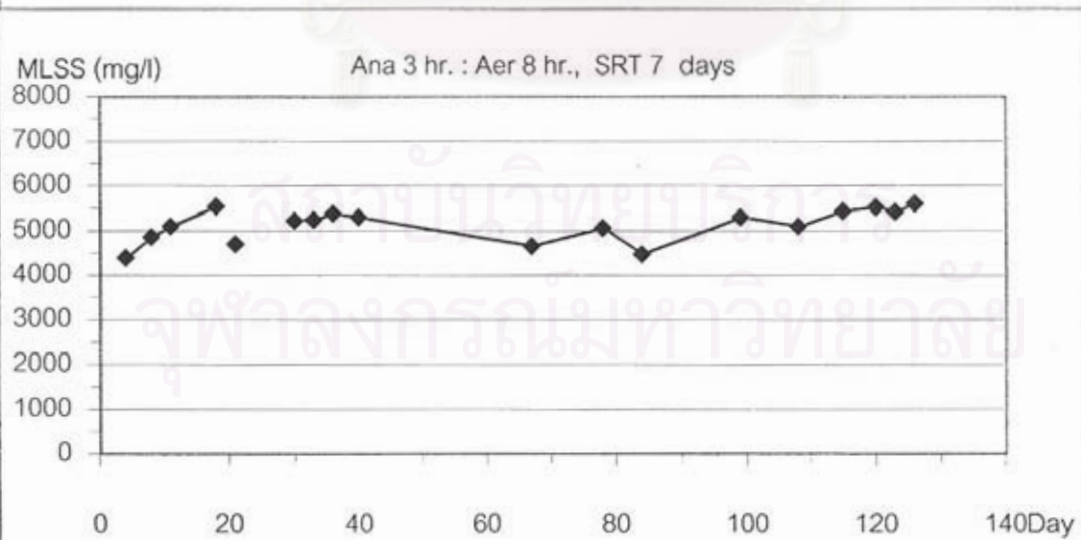
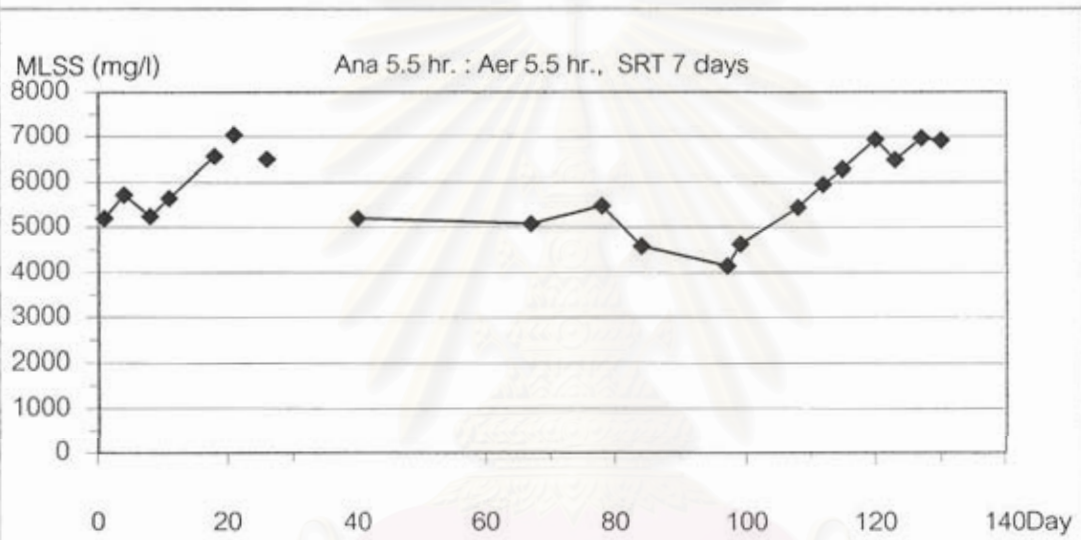
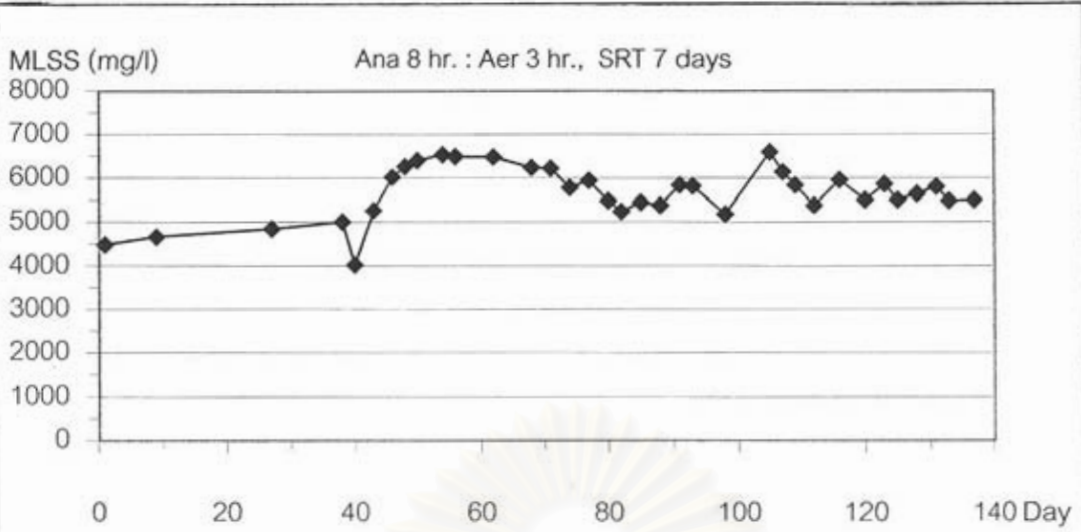
ค่าเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลอง 8/3 ในสถานะคงตัวเท่ากับ 5,480-5,800 มก./ล. และมีอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอสร้อยละ 92.1-94.1 โดยค่าเอ็มแอลเอสเอสในชุดการทดลองนี้มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันตั้งแต่วันที่ 70 เป็นต้นมาไม่ว่าระบบจะมีปัญหาจากสไลด์จ์อุดตันหรือไม่

ค่าเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ในช่วงวันที่ 67-97 ซึ่งอุณหภูมิอากาศลดต่ำลงร่วมกับการลดไนโตรเจน พบว่ามวลในระบบลดลงเนื่องจากเอสเอสน้ำออกสูงขึ้นทำให้มีมวลจุลชีพหลุดไปกับน้ำออกได้มากขึ้น หลังจากผ่านช่วงที่อุณหภูมิอากาศลดต่ำลงและเพิ่มไนโตรเจนแล้ว ระบบใช้เวลาปรับตัวเพื่อเข้าสู่สถานะคงตัวประมาณ 20 วัน โดยน้ำออกมีเอสเอสน้อยลงและมวลในระบบเพิ่มขึ้น

ในสถานะคงตัวชุดการทดลอง 5.5/5.5 และ 3/8 มีเอ็มแอลเอสเอสเท่ากับ 6,280-6,970 และ 5,420-5,600 มก./ล. อัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอสร้อยละ 92.4-94.4 และ 91.2-94.2 ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าเอ็มแอลเอสเอสในระบบเรียงจากมากไปน้อย คือ ชุดการทดลอง 5.5/5.5, 8/3 และ 3/8 (6,828, 5,605, 5,495 มก./ล.)ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติชุดการทดลองที่มีสัดส่วนมวลแอโรบิกมากกว่าควรจะมีเอ็มแอลเอสเอสมากกว่า แต่เนื่องจากน้ำออกมีเอสเอสที่ไม่เท่ากันส่งผลให้อายุสไลด์จ์จริงมีค่าไม่เท่ากัน โดยมีค่า 7.12, 6.87, 6.92 วัน ในชุดการทดลอง 5.5/5.5, 8/3 และ 3/8 ตามลำดับ โดยระบบที่มีน้ำออกขุ่นทำให้ค่าอายุสไลด์จ์จริงต่ำลง ส่งผลให้เอ็มแอลเอสเอสที่วัดได้ในระบบมีค่าลดลงด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

4.1.9 ซีโอดีและบีโอดี

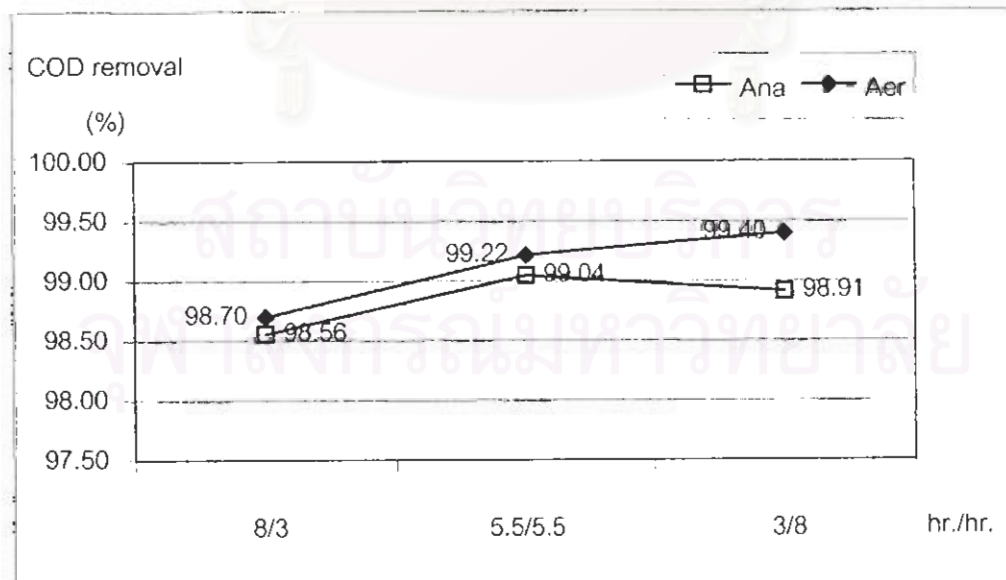
ซีโอดีน้ำเข้าของทุกชุดการทดลองมีค่า 8,256 - 9,091 มก./ล. และบีโอดี 6,000-6,800 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ประมาณไว้ในแผนการทดลอง(7,700 มก./ล.) อาจจะมีสาเหตุจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงทำให้ต้องใช้อัตราส่วนการเจือจางมากและหัวเชื้อในการทำบีโอดีใช้น้ำออกจากชุดการทดลอง 5.5/5.5 ซึ่งแม้เป็นสลัดจ์ที่ใช้บำบัดน้ำเสียแ่งมันสำปะหลังแต่กลไกการย่อยสลายแ่งมันสำปะหลังของสลัดจ์นี้เป็นการไฮโดรไลซ์และหมักในช่วงแอนแอโรบิก ซึ่งอาจจะไม่สามารถย่อยสลายแ่งมันสำปะหลังได้ดีนักในสภาวะแอโรบิก ส่งผลให้ค่าบีโอดีที่ได้อาจจะต่ำกว่าความเป็นจริง

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยซีโอดีในสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

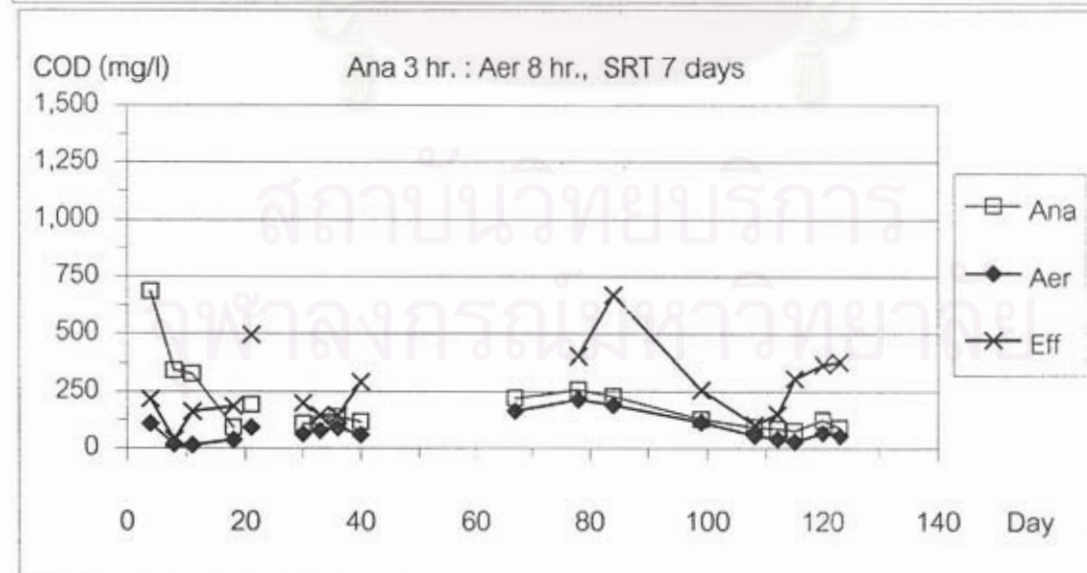
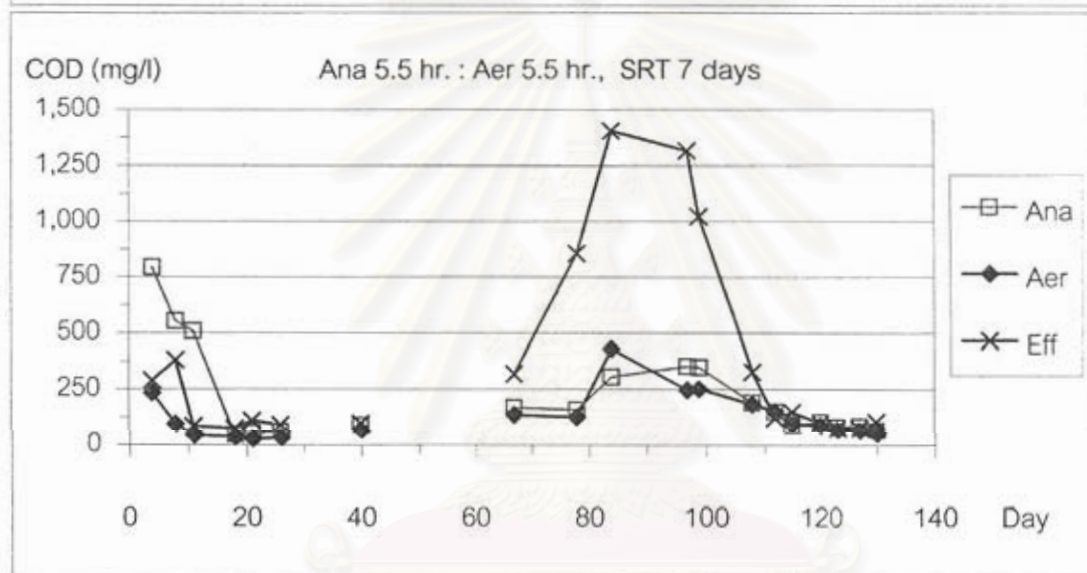
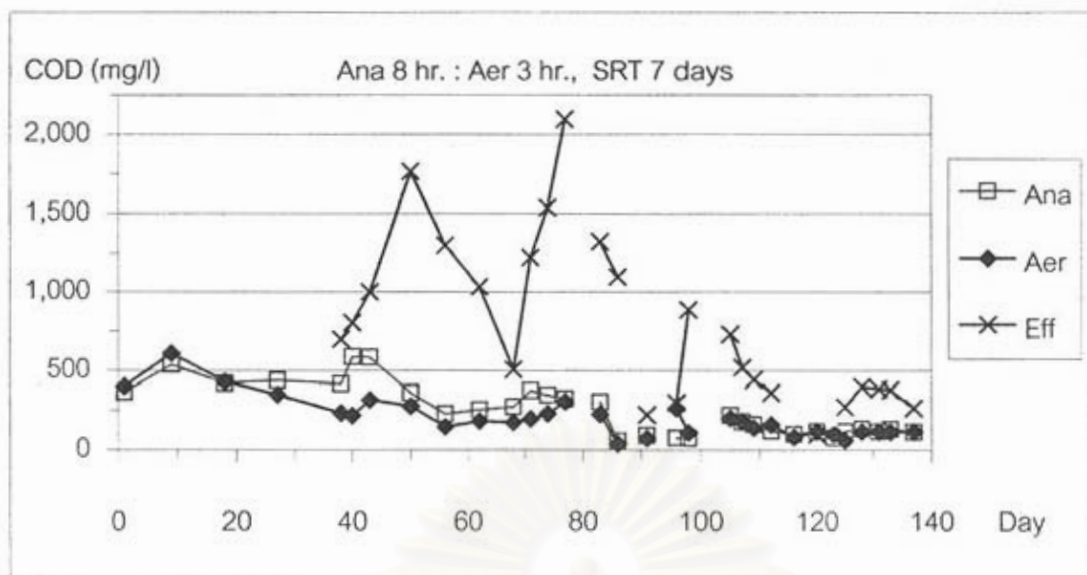
ชุดการทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	แอนแอโรบิก* (มก./ล.)	แอโรบิก* (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การกำจัด(%)	F/M**	n
8/3	8,570.5	123.8	114.8	98.7	0.25	4
5.5/5.5	8,658.8	82.7	67.8	99.2	0.21	5
3/8	8,958.5	97.5	50.7	99.4	0.26	3

* ซีโอดีวัดที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิก

** kg BOD₅/kg MLVSS.d



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8



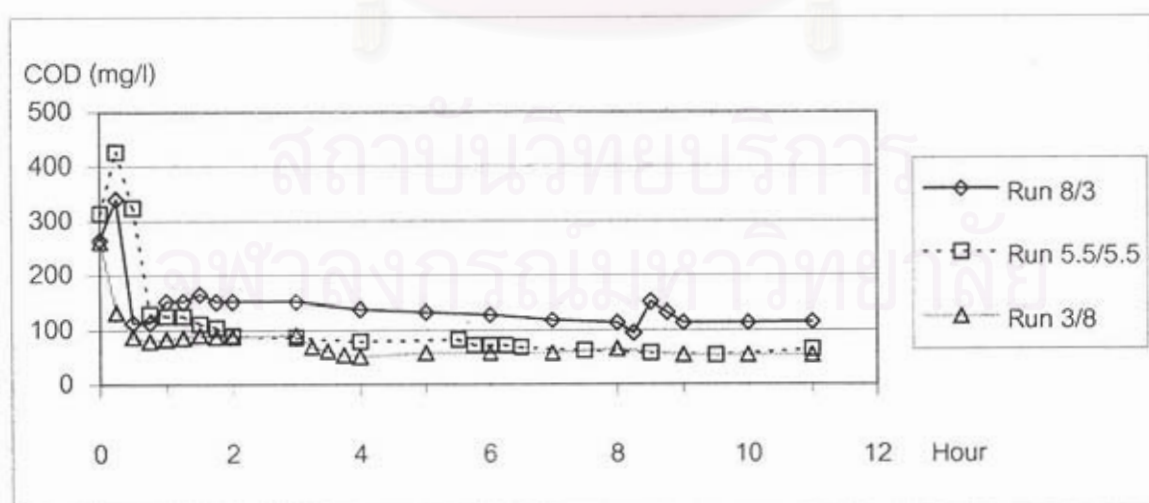
รูปที่ 4.17 ซีโอดีในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

(COD_{Ana}, COD_{Aer} - ซีโอดีกรอง, COD_{Eff} - ซีโอดีทั้งหมด)

ชุดการทดลอง 8/3 ในช่วงแรกถึงวันที่ 77 (จากรูปที่ 4.17) เมื่อสังเกตจากค่าซีไอดีกรองในช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิกพบว่ามีความสูงกว่าช่วงหลังวันที่ 83 เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอ (บีไอดี : ไนโตรเจน = 36 : 1) แต่ระบบก็ยังสามารถกำจัดซีไอดีได้ถึงร้อยละ 96.4-98.3 หลังจากวันที่ 83 ซึ่งลดอัตราส่วน บีไอดี : ไนโตรเจน เป็น 20 : 1 พบว่าซีไอดีกรองในแอนแอโรบิกและแอโรบิกลดลงทันที ในชุดการทดลองนี้แม้มีปัญหาจากสลดจ์อืดแต่พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี โดยในสถานะคงตัวชุดการทดลอง 8/3 มีค่าซีไอดีในแอนแอโรบิก 113.4-134.4 มก./ล. ซีไอดีในแอโรบิก 113.4-115.2 มก./ล. โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีร้อยละ 98.6-98.7

ชุดการทดลอง 5.5/5.5 และ 3/8 ในวันที่ 70-83 อุณหภูมิของอากาศลดต่ำลงจึงได้เปิดหลอดไฟเพื่อช่วยให้ความร้อน แม้ว่าไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรองเท่าใดนัก แต่พบว่าเอสเอสของชุดการทดลอง 5.5/5.5 เพิ่มขึ้นจาก 188 มก./ล. (วันที่ 67) เป็น 840 มก./ล. (วันที่ 78) จึงทำให้ซีไอดีทั้งหมด(COD_T)ของน้ำออกสูงขึ้นอย่างมาก

และผลจากการลดไนโตรเจนในน้ำเข้าในวันที่ 83-88 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (วันที่ 84) ของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ลดลง และต้องใช้เวลาประมาณ 20 วันหลังจากเพิ่มไนโตรเจนในน้ำเข้าให้เท่าเดิม ในการปรับตัวเข้าสู่สถานะคงตัวซึ่งมีค่าซีไอดีในช่วงแอนแอโรบิก 64.5-102.6 มก./ล. ซีไอดีช่วงแอโรบิก 50.1-93.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีร้อยละ 98.9-99.4



รูปที่ 4.18 โพรไฟล์ซีไอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

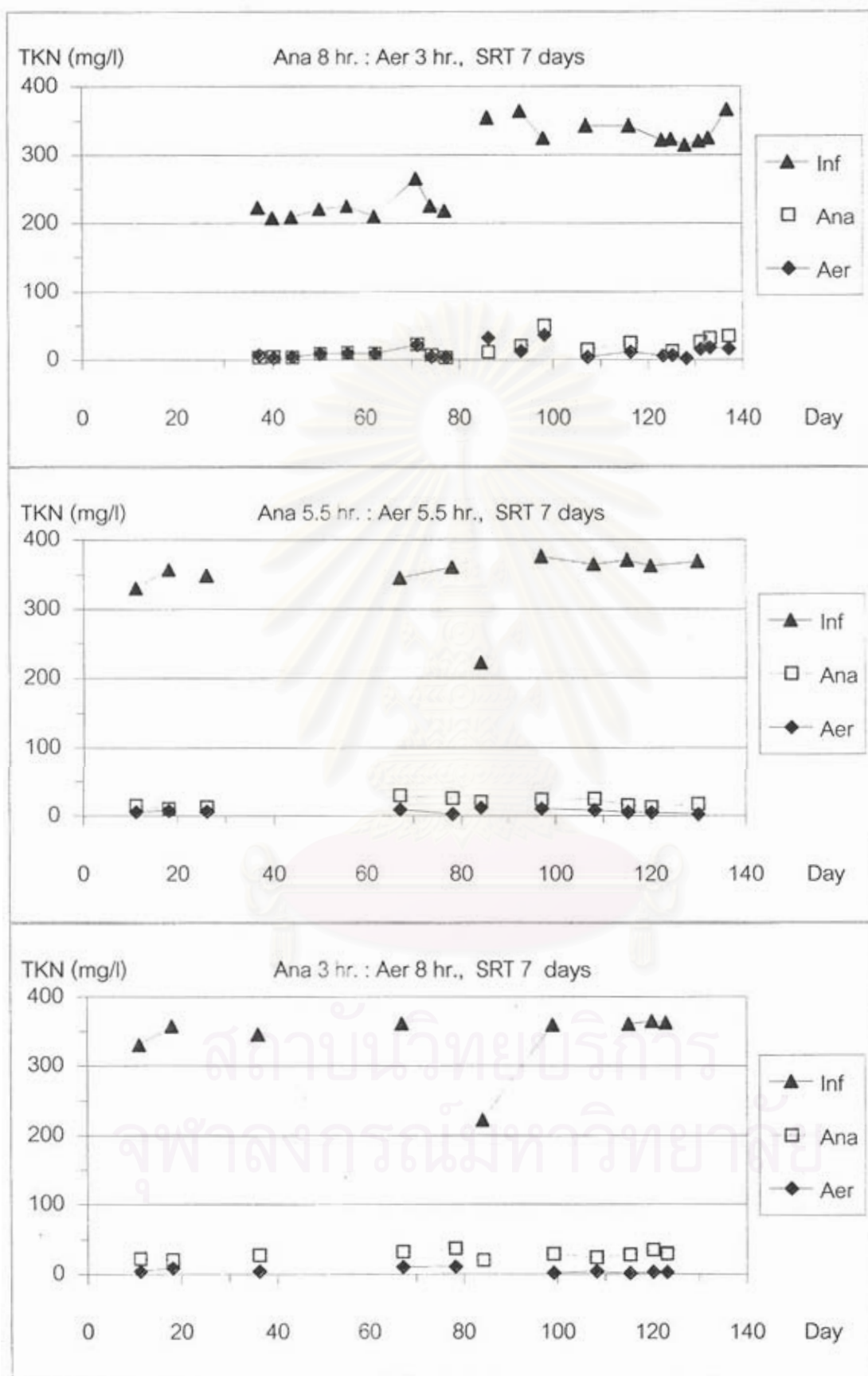
ชุดการทดลอง 3/8 พบว่าการลดไนโตรเจนในน้ำเข้าในวันที่ 83-88 กระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพียงเล็กน้อย แต่เกิดปัญหาสลัดจ์อัดอย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มไนโตรเจนจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวระบบมีค่าซีโอดีในช่วงแอนแอมโรบิก 78.1-123.5 มก./ล. ซีโอดีช่วงแอมโรบิก 29.8-67.9 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 98.6-99.1

จากโพรไฟล์ของทุกชุดการทดลองซีโอดีกรองที่ $t = 0$ มีค่าไม่เท่ากับค่าจากการคำนวณเนื่องจากน้ำเสียแ่งมันล่าปะหลังที่เติมไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้ ทำให้ผลจากห้องปฏิบัติการและการคำนวณไม่ตรงกัน และจากผลของชุดการทดลอง 8/3 และ 5.5/5.5 ในรูปที่ 4.18 พบว่า ซีโอดีกรองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 15 นาที เนื่องจากแบคทีเรียไฮโดรไลซ์แ่งมันล่าปะหลังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีโมเลกุลเล็กลงและสามารถผ่านกระดาษกรองได้ ส่งผลให้ซีโอดีกรองเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นทั้งแ่งมันและผลิตภัณฑ์จากการไฮโดรไลซ์จะถูกหมักไปเป็นกรดไขมันระเหยง่าย(ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5) แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า จากผลโพรไฟล์ของชุดการทดลอง 3/8 กลับไม่สามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์นี้ ทั้งนี้ น่าจะเนื่องจากระบบมีช่วงแอนแอมโรบิกสั้นทำให้กลุ่มจุลชีพในระบบจำเป็นต้องมีความสามารถในการดูดซึมสารอาหารที่เร็วกว่าเพื่อการอยู่รอดในระบบ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลซ์และการหมักถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ อัมพล เตโชวานิชย์ (2541) ซึ่งมีการหมักนิวเทรียนบรอด และปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ (2543) ซึ่งมีการหมักแ่งมันล่าปะหลัง รวมทั้ง Sedlak (1991) ซึ่งได้เสนอว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกจุลชีพดูดซึมเข้าในเซลล์ได้ในอัตราเร็วพอๆ กับที่ผลิติดอกมา

ในทุกชุดการทดลองค่าซีโอดีส่วนใหญ่ถูกกำจัดอย่างรวดเร็วในช่วงแอนแอมโรบิกด้วยเวลาเพียงครึ่งชั่วโมงเท่านั้นและถูกกำจัดอีกเพียงเล็กน้อยในช่วงต้นแอมโรบิก หลังจากนั้นก็ค่อนข้างคงที่จนถึงปลายแอมโรบิก ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองต่างๆ ไปที่เป็นระบบแอนแอมโรบิก/แอมโรบิก ทั้งที่เป็นอีปีฟิอาร์และไม่เป็น (อัมพล เตโชวานิชย์, 2541 ; ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2543)

4.1.10 ทีเคเอ็น, ไนโตรต์ และไนเทรต

เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นในการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย และน้ำเสียแ่งมันล่าปะหลังเป็นน้ำเสียที่สามารถทำให้เกิดปัญหาจากสลัดจ์อัดได้ง่าย เพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดธาตุอาหาร จึงเติมทีเคเอ็นให้ระบบโดยใช้ค่า บีโอดี : ไนโตรเจน = 100 : 5 ซึ่งเป็นค่าที่มากเกินไปโดยไม่ได้ทำการคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่ต้องเติมจากปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินเพื่อให้พอดีกับความต้องการใช้ของแบคทีเรีย ดังนั้นในบางชุดการทดลองจึงมีค่าทีเคเอ็นในน้ำออกสูงเนื่องจากมีทีเคเอ็นเกินความต้องการของแบคทีเรียโดยเฉพาะในกรณีที่ระบบไม่สามารถกำจัดซีโอดีได้หมด



รูปที่ 4.19 ที่เคเอ็นในวัฏจักรต่างๆ ของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นในสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

ชุดการทดลอง	TKN (mg/l)				NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		n
	น้ำเข้า	t = 0*	Ana	Aer	Ana	Aer	Ana	Aer	
8/3	337.2	48.8	31.0	16.8	-	-	-	-	3
5.5/5.5	366.1	40.5	15.1	4.3	-	3.6	-	3.6	3
3/8	362.3	38.9	31.0	3.0	0	7.3	0.7**	9.7	3

* ค่าที่ t=0 มาจากการคำนวณอัตราส่วนเฉลี่ยจางระหว่างน้ำเข้ากับน้ำค้างถึง

** ต่ำกว่าความสามารถในการวัดของเครื่อง

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทดลองลดปริมาณที่เคเอ็นที่เติมให้ชุดการทดลอง 5.5/5.5 และ 3/8 เพื่อลดผลกระทบจากไนไตรต์และไนเตรต ในวันที่ 83 เนื่องจากชุดการทดลอง 5.5/5.5 และ 3/8 มีไนไตรต์สูงถึง 5.4 และ 16 มก./ล. และไนเตรต 8.6 และ 7.7 มก./ล. ตามลำดับ และพบว่าในชุดการทดลอง 3/8 ค่าเอสไวไอสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดปัญหาสลัดจ์อัดตันที่ จึงได้เพิ่มที่เคเอ็นกลับไปเท่าเดิมในวันที่ 88

ทุกชุดการทดลองระบบสามารถลดที่เคเอ็นได้ทั้งในช่วงแอนแอโรบิกและช่วงแอโรบิก โดยแบคทีเรียใช้ที่เคเอ็นเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ แต่มีบางส่วนถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต โดยมีแนวโน้มมากขึ้นตามอัตราส่วนมวลแอโรบิกในระบบ จากผลการทดลองในชุดการทดลอง 8/3 ไม่สามารถตรวจพบไนไตรต์และไนเตรตในระบบในช่วงแอโรบิก ในชุดการทดลอง 5.5/5.5 มีไนไตรต์และไนเตรตในช่วงแอโรบิก 3.6 และ 3.6 มก./ล. ตามลำดับ และในชุดการทดลอง 3/8 ซึ่งมีสัดส่วนมวลแอโรบิกมากที่สุดมีไนไตรต์และไนเตรตในช่วงแอโรบิก 7.3 และ 9.7 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของไนไตรต์ที่พบในชุดการทดลอง 3/8 มีค่าค่อนข้างสูงกว่าปกติ

โดยปกติไนไตรต์เป็นผลผลิตช่วงกลาง(intermediates)ของกระบวนการออกซิเดชันแอมโมเนียมที่ขั้นตอนไนไตรเตชัน ซึ่งระบบบำบัดจะมีความเข้มข้นของไนไตรต์ไม่มากเพราะขั้นตอนไนเตรเตชันมีอัตราเร็วกว่าไนไตรเตชัน ไนไตรต์จึงถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตได้ค่อนข้างสมบูรณ์ แต่หากเกิดการยับยั้งกระบวนการไนเตรเตชันจะด้วยสาเหตุใดก็ตาม ไนไตรต์ก็จะสะสมมากขึ้นจนอาจเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียในถังปฏิกริยาได้ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) นอกจากนี้หากป้อนน้ำเสียหรือสารอาหารในรูปกลูโคสการสะสมไนไตรต์ในระบบก็มีโอกาสเกิดมากขึ้นได้ด้วย (Wilderer และคณะ, 1987 อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

ผู้วิจัยยังไม่พบงานวิจัยที่ทำการศึกษาลักษณะของไนโตรเจนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบแอนแอมโรบิก/แอโรบิก มีเพียงงานวิจัยของ Meinhold และคณะ (1999) อ้างโดย ธงชัย พรธนะสวัสดิ์ (2544) ซึ่งศึกษาลักษณะของไนโตรเจนต่อการจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะแอนอ็อกซิก พบว่าความเป็นพิษของไนโตรเจนจะเริ่มที่ความเข้มข้นประมาณ 8 มก.ไนโตรเจน/ล. อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในบางช่วงสูงถึง 16 มก. ไนโตรเจน/ล. ยังไม่พบว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบแต่อย่างใด

4.1.11 ฟอสฟอรัส

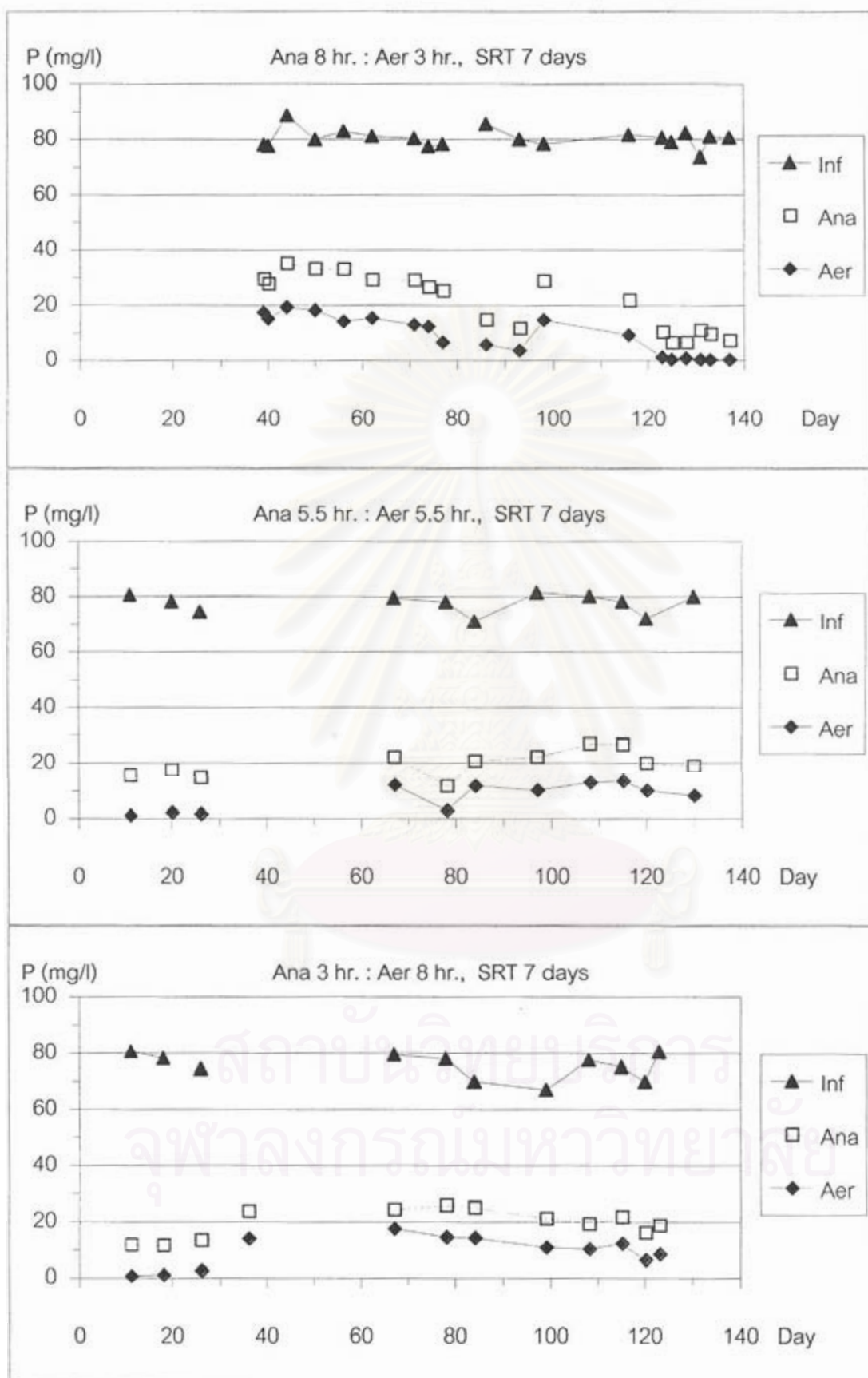
ในงานวิจัยนี้ไม่ต้องการให้ระบบเป็นอิมปีฟิอาร์ทังนั้นจึงเติมฟอสฟอรัสในอัตราส่วน ปีโอดี : ฟอสฟอรัส = 100 : 1 ซึ่งในทางปฏิบัติอาจใช้วิธีคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้องเติมจากปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินจะได้ปริมาณฟอสฟอรัสที่จุลชีพต้องการจริงๆ แต่เนื่องจากน้ำเสียแบ่งมันสำหรับทำให้เกิดปัญหาจากสลัดจ์อัดได้ง่าย จึงต้องการลดปัจจัยเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการแย่งชิงธาตุอาหารจนกลุ่มแบคทีเรียชนิดเส้นใยสามารถเติบโตเป็นกลุ่มเด่นได้ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5 และ 3/8 จึงเห็นว่ามีฟอสฟอรัสละลายเหลือในช่วงแอโรบิก ซึ่งเป็นฟอสฟอรัสส่วนเกินที่เหลือจากความต้องการในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสละลายในวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

ชุดการทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	t = 0 (มก./ล.)	แอนแอมโรบิก (มก./ล.)	แอโรบิก (มก./ล.)	%P	n
8/3	79.4	7.33	8.6	0.4	1.9	3
5.5/5.5	76.7	17.3*	21.9	10.7	1.4	3
3/8	75.2	15.7*	18.9	9.1	1.6	3

* มาจากการคำนวณระหว่างอัตราส่วนเจือจางของน้ำเข้ากับน้ำค้ำถัง

ทุกชุดการทดลองเติมฟอสฟอรัสในน้ำเข้า 70.0-83.7 มก./ล. ฟอสฟอรัสละลายในสภาวะแอนแอมโรบิกของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8 อยู่ในช่วง 6.6-11.0, 18.9-26.8 และ 16.2-21.8 มก./ล. ตามลำดับ ฟอสฟอรัสละลายในสภาวะแอโรบิกของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8 อยู่ในช่วง 0.2-0.8, 8.3-13.6 และ 6.5-12.4 มก./ล. ตามลำดับ ทั้งชุดการทดลอง 5.5/5.5 และ 3/8 ยังคงมีฟอสฟอรัสที่ปลายสภาวะแอโรบิกสูง ซึ่งจากปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์และการดูดมวลในระบบพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลือนั้นเป็นปริมาณที่เหลือจากการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ ในขณะที่ชุดการทดลอง 8/3 มีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์สูงกว่าทำให้ใช้ฟอสฟอรัสได้เกือบหมด



รูปที่ 4.20 ฟอสฟอรัสละลายในวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

จากตารางที่ 4.7 พบว่ามีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสเล็กน้อยในทั้ง 3 ชุดการทดลอง แต่เมื่อสังเกตจากปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 1.4-1.9 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่ถือว่าเป็นอีบีฟิอาร์(ระบบอีบีฟิอาร์มีฟอสฟอรัสในเซลล์ร้อยละ 4-12 ของน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสละลายส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ไปน่าจะเกิดจากการแบกที่เรียที่นำไปใช้ในการเติบโตและสร้างเซลล์ตามปกติ โดยมีความเป็นไปได้ว่าอาจจะมีจุลชีพกลุ่มฟิเอโอเติบโตอยู่ในระบบบ้างจึงส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก

4.1.12 การวิเคราะห์กลุ่มจุลชีพในระบบ

แม้ในปัจจุบันความเข้าใจถึงกลไกเมตาบอลิซึมของฟิเอโอและจีเอโอยังไม่ชัดเจน แต่ก็พบว่าทั้งสองกลุ่มมีเมตาบอลิซึมที่คล้ายกันมาก แตกต่างเพียงจีเอโอใช้กลัยโคเจนในเซลล์เป็นแหล่งพลังงานเดียวในการจับใช้สารอาหารในสภาวะแอนแอโรบิก รวมทั้งการจำแนกชนิดของจุลชีพชนิดฟิเอโอและจีเอโอออกจากกันก็ยังไม่ชัดเจน แต่จากการศึกษาทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของจีเอโอและฟิเอโอพบว่าจุลชีพทั้งสองน่าจะเป็นคนละประเภท (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) แต่อย่างไรก็ตามกลไกและเงื่อนไขขั้นพื้นฐานก็มีเพียงพอในการบ่งชี้กลุ่มจุลชีพที่เป็นกลุ่มเด่นในระบบได้

เนื่องจากสภาวะการเดินระบบที่ใช้ในการวิจัยนี้มีการสลับระหว่างแอนแอโรบิกกับแอโรบิกและป้อนสารอาหารเฉพาะช่วงต้นแอนแอโรบิกเท่านั้น ส่งเสริมให้กลุ่มจุลชีพที่สามารถเติบโตเป็นกลุ่มเด่นในระบบได้ต้องเป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการแย่งชิงสารอาหารที่จะมีมากเฉพาะช่วงต้นแอนแอโรบิกและนำไปสะสมไว้ในเซลล์ในรูปโพลีเมอร์ หลังจากสารอาหารหมดและเข้าสู่สภาวะแอโรบิกก็จะใช้โพลีเมอร์ที่สะสมไว้ในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่ง T. Mino และคณะ (1996) กล่าวว่ากลุ่มจุลชีพที่ทราบว่ามีประสิทธิภาพนี้มี 2 กลุ่ม ได้แก่ ฟิเอโอ และจีเอโอ (กล่าวในหัวข้อ 2.6)

แต่เนื่องจากสารอาหารที่ใช้คือแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสารอาหารที่มีความซับซ้อนรวมทั้งมีการจำกัดฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ (หัวข้อ 2.6) จึงเป็นสภาวะที่ส่งเสริมให้จีเอโอเติบโตเป็นกลุ่มเด่นเหนือฟิเอโอได้

และจากผลการทดลองพบว่าจุลชีพในระบบมีความสามารถในการใช้สารอาหารที่มีความซับซ้อนและดูดซึมสารอาหารในช่วงแอนแอโรบิกได้(หัวข้อ 4.1.5, 4.1.9) ซึ่งเป็นความสามารถของจุลชีพกลุ่มจีเอโอ(A. Randall และคณะ, 1997) แม้จะพบการปลดปล่อยฟอสฟอรัสเล็กน้อยในช่วง

แอนแอโรบิก แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์น้อยกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้ง(พีเอไอมีฟอสฟอรัสในเซลล์ร้อยละ 4-12 ของน้ำหนักแห้ง) ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า จุลชีพกลุ่มเด่นในงานวิจัยนี้ คือ จีเอไอ โดยมีจุลชีพกลุ่มพีเอไออยู่บ้างเป็นส่วนน้อย

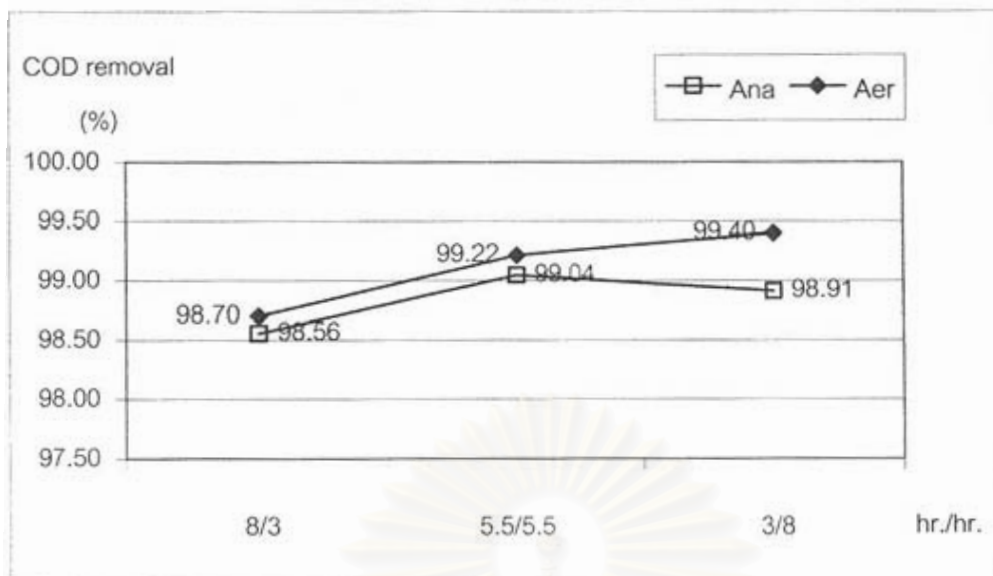
4.2 อัตราส่วนเวลากักแอนแอโรบิก/แอโรบิก

ในการเลือกอัตราส่วนเวลากักที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียแ่งมันสำปะหลังในงานวิจัยนี้ สามารถพิจารณาได้จากปัจจัยต่างๆ คือ

- ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

จากผลการทดลองของอัตราส่วนเวลากักทั้ง 3 ค่าพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่ใกล้เคียงกัน โดยมีชุดการทดลอง 3/8 มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังรูปที่ 4.21 แต่ประสิทธิภาพที่แตกต่างนั้นมีค่าน้อยจนไม่มีนัยสำคัญนัก

จากรูปที่ 4.21 ชุดการทดลองที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในช่วงแอนแอโรบิกสูงที่สุดกลับเป็นชุดการทดลอง 5.5/5.5 ในขณะที่ชุดการทดลอง 8/3 ซึ่งมีเวลากักแอนแอโรบิกนานที่สุดกลับมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในช่วงแอนแอโรบิกต่ำที่สุด อาจเพราะชุดการทดลอง 8/3 มีช่วงแอโรบิกสั้นทำให้การย่อยสลายพีเอชเอเพื่อสร้างกลัยโคเจนขึ้นมาใหม่ในสภาวะแอโรบิกเกิดได้ไม่สมบูรณ์ เมื่อกลับเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิกอีกครั้ง แบกทีเรียจึงยังมีพีเอชเอในเซลล์มากแต่มีกลัยโคเจนน้อย จึงมีแหล่งพลังงานเพื่อการดูดซึมสารอาหารได้ลดลง รวมทั้งการมีช่วงแอนแอโรบิกนานทำให้แบกทีเรียซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิกได้ดีมีโอกาสเติบโตแข่งกับจุลชีพกลุ่มจีเอไอได้ ส่วนชุดการทดลอง 3/8 แม้มีช่วงแอนแอโรบิกสั้นแต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีโดยรวมสูงที่สุด อาจเนื่องจากการมีช่วงแอโรบิกยาว เพราะในสภาวะแอโรบิกแบกทีเรียจะได้พลังงานจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนซึ่งได้พลังงานมากกว่าจึงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่า

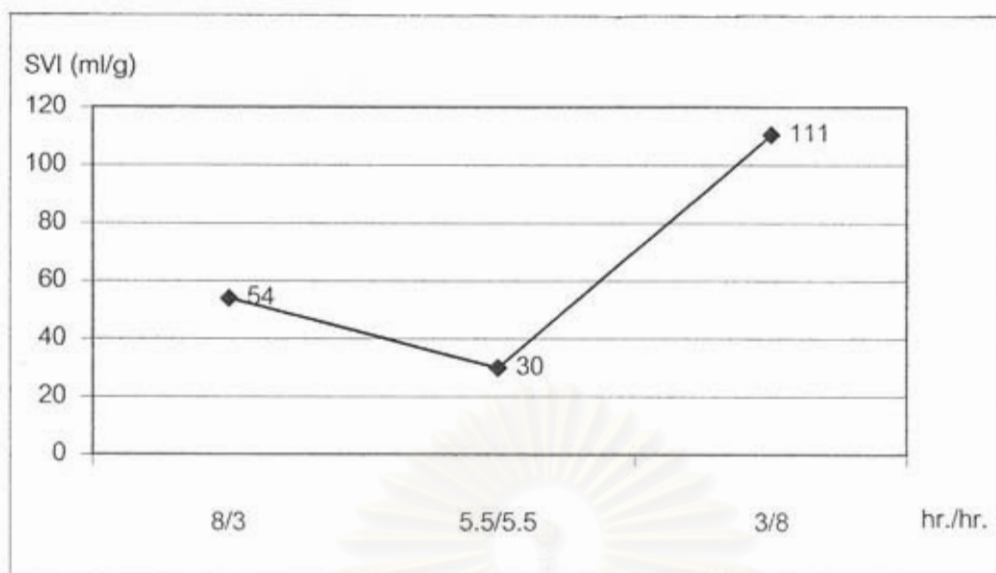


รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

- เอสวีไอและการลดปัญหาสลัดจ์

จากผลการทดลองพบว่าชุดการทดลอง 5.5/5.5 มีความไวต่อการเกิดปัญหาสลัดจ์อิดน้อยที่สุดและมีเอสวีไอต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ชุดการทดลอง แม้จะได้รับผลกระทบจากการลดไนโตรเจนในน้ำเข้าเช่นเดียวกับชุดการทดลอง 3/8 อาจเนื่องจากชุดการทดลอง 5.5/5.5 มีช่วงแอนแอโรบิกยาวกว่าทำให้มียีสต์ต่ำกว่า ดังนั้นความต้องการใช้ธาตุอาหารจึงมีน้อยกว่า เมื่อเกิดสภาวะขาดแคลนไนโตรเจนชุดการทดลอง 3/8 ซึ่งมียีสต์สูงกว่าจึงถูกแบกที่เรียชนิดเส้นใยซึ่งแย่งธาตุอาหารได้ดีกว่าโตขึ้นแทนที่ได้

ส่วนในชุดการทดลอง 8/3 ซึ่งมีช่วงแอนแอโรบิกยาว แบกที่เรียกลุ่มจีเอไอไม่สามารถใช้ข้อได้เปรียบในการดูดซึมสารอาหารในช่วงต้นแอนแอโรบิกได้อย่างเด็ดขาด ในบางกรณีแบกที่เรียชนิดเส้นใยจึงสามารถแย่งอาหารและเติบโตขึ้นมากได้ โดยเฉพาะกลุ่มแบกที่เรียชนิดเส้นใยสีส้มที่พบในการทดลอง เกิดเนื่องจากมีสารอาหารเหลือเข้าสู่ขั้นตอนแอโรบิกทำให้แบกที่เรียกลุ่มนี้สามารถเติบโตได้ในช่วงแอโรบิก ซึ่งพบว่าแบกที่เรียกลุ่มนี้ลดลงเมื่อเดินระบบเป็นแอนแอโรบิกอย่างเดียว 2 วัฏจักร



รูปที่ 4.22 ค่าเอสวีไอของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5 และ 3/8

- ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

การมีช่วงแอนแอโรบิกมาก่อนแอโรบิกนั้น ทำให้สามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเดินระบบได้ ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5.2 เพราะพลังงานที่ใช้ในช่วงแอนแอโรบิกใช้เพื่อการกวนผสมให้สลัดจ์แขวนลอยอยู่เท่านั้น ดังนั้นหากระบบมีช่วงแอนแอโรบิกที่นานกว่าก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า ดังนั้นชุดการทดลอง 8/3 จึงประหยัดพลังงานที่สุด และชุดการทดลอง 3/8 แม้มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีสูงสุดแต่ก็ต้องใช้พลังงานในการเดินระบบที่มากกว่า

4.3 อายุสลัดจ์

จากผลการทดลองแปรค่าอัตราส่วนเวลากักโดยใช้ค่าอายุสลัดจ์ 7 วัน ที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.2 จึงเลือกค่าเวลากัก 5.5/5.5 มาทดลองแปรค่าอายุสลัดจ์ เพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีถึงร้อยละ 99.2 และมีความไวต่อการเกิดสลัดจ์อีดีน้อยที่สุด รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่น้อยกว่าชุดการทดลอง 3/8

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ที่อายุสัปดาห์ 3 วัน

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ^ก	t = 0 ^ข	แอมโมเนีย ^ก	ไนโตรเจน ^ก	น้ำออก ^ก
พีเอช	7.22	-	7.03	8.49	-
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	-	-	-	4.20	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-244	60	-
ซีไอดี (มก./ล.)	8,734.2	-	120.1	96.5	493.9
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	359.3	40.5	15.3	3.8	-
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	77.0	17.3	10.3	1.9	-
สภาพต่าง (มก./ล. CaCO ₃)	1,053.0 ^ก	799.7	934.7	880.9	-
สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. CaCO ₃)	-	-	106.7	92.6	-
ไนไตรต์ (มก./ล. NO ₂ -N)	-	-	-	0.01	-
ไนเตรต (มก./ล. NO ₃ -N)	-	-	-	0.6	-
เอสเอส (มก./ล.)	-	-	-	-	390
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.2				
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)	3,013				
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	2,797				
เอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอส (%)	92.8				
เอสวี 30 (มล.)	117				
เอสวีไอ (มล./ก.)	38.5				
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%ของน้ำหนักแห้ง)	1.9				
F/M _v (กก.บีไอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)	0.47				
อายุสัปดาห์ (วัน)	3.28				

^กไม่กรองตัวอย่าง

^ขจากการคำนวณ

^คกรองตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์สำหรับซีไอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส สภาพต่าง สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย ไนไตรต์ และไนเตรต

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ที่อายุสัปดาห์ 5 วัน

พารามิเตอร์	น้ำเข้า ^ก	t = 0 ^ข	แอมโมเนีย ^ค	ไนโตรเจน ^ค	น้ำออก ^ก
พีเอช	7.24	-	6.98	8.39	-
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)		-		4.32	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-	-213	69	-
ซีโอดี (มก./ล.)	8,790.1	-	104.0	96.2	230.1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	364.1	40.5	19.4	6.8	-
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	77.4	15.3	16.5	8.4	-
สภาพต่าง (มก./ล. CaCO ₃)	1,053.0 ^ค	799.7	955.1	877.7	-
สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล. CaCO ₃)	-	-	116.0	95.0	-
ไนไตรต์ (มก./ล. NO ₂ -N)	-	-	-	1.1	-
ไนเตรต (มก./ล. NO ₃ -N)	-	-	-	1.7	-
เอสเอส (มก./ล.)	-	-	-	-	243
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			31.0		
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)			4,203		
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)			3,929		
เอ็มแอลวีเอสเอส/เอ็มแอลเอสเอส (%)			93.5		
เอสวี 30 (มล.)			180		
เอสวีไอ (มล./ก.)			42.2		
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%ของน้ำหนักแห้ง)			1.6		
F/M _v (กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)			0.34		
อายุสัปดาห์ (วัน)			5.00		

^กไม่กรองตัวอย่าง

^ขจากการคำนวณ

^คกรองตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์สำหรับซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส สภาพต่าง สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย ไนไตรต์ และไนเตรต

ในหัวข้อ 4.3 นี้จะนำผลของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ที่อายุสัปดาห์ 7 วัน จากช่วงแรกมาเปรียบเทียบกับ โดยจะแทนชุดการทดลองนี้เป็น ชุดการทดลอง 5.5/5.5-7

จากรูปที่ 4.23 ในช่วงวันที่ 15-20 ของการทดลองอุณหภูมิอากาศลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจากฝนตกติดกันหลายวัน ผู้วิจัยจึงได้เปิดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนเช่นเดียวกับในชุดการทดลองอื่นๆ แต่ในวันที่ 17 ได้มีผิดพลาดลืมเปิดไฟเพียง 1 วัน (อุณหภูมิ 25.0 °C) ส่งผลให้เอสเอสเพิ่มขึ้นสูงทันทีทั้งสองชุดการทดลอง หลังจากวันที่ 21 จนถึงสิ้นสุดการทดลองอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29-31 °C

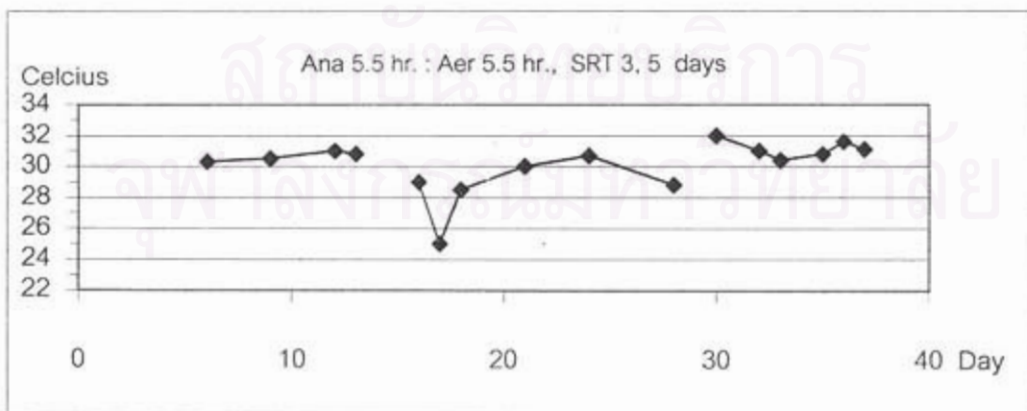
จากรูปที่ 4.24 – 4.27 พบว่าทั้งสองชุดการทดลองมีค่าพีเอช ออกซิเจนละลาย และเอสวีไอที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นไออาร์พี ดังนี้

พีเอชแอนแอโรบิก 6.8-7.1, พีเอชแอโรบิก 8.3-8.5

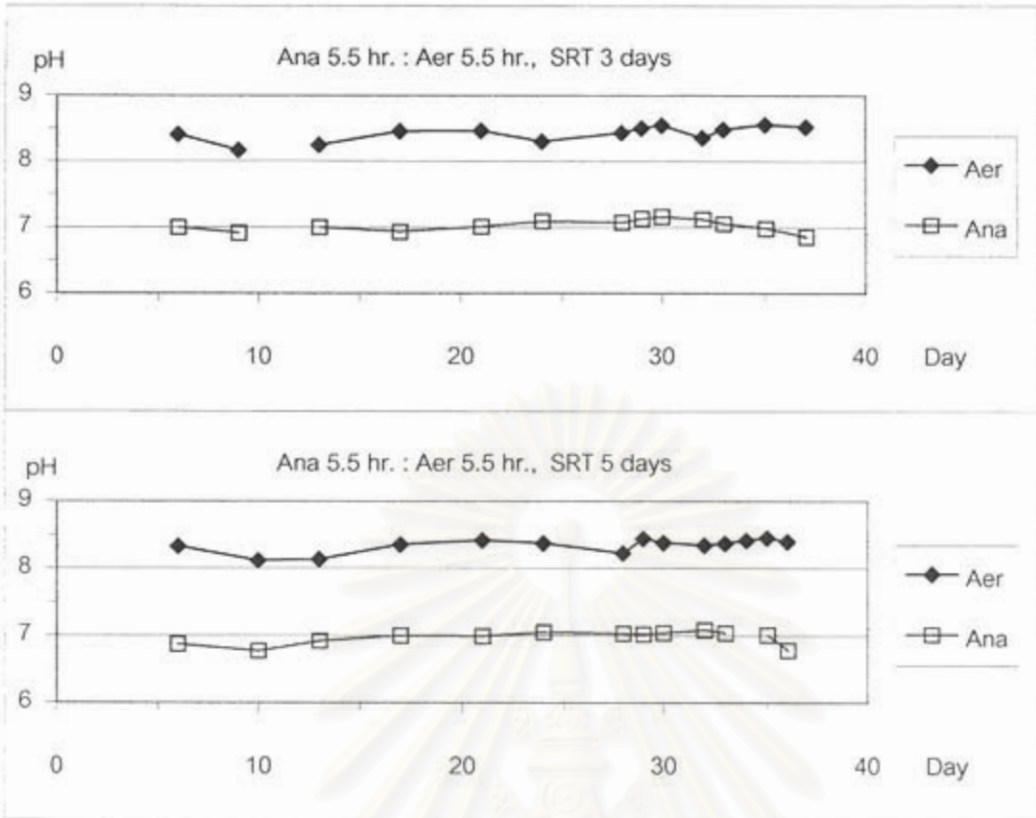
ออกซิเจนละลายในช่วงแอโรบิก 3.5-5.6 มก./ล.

เอสวีไอ 37-41 มล./ก.

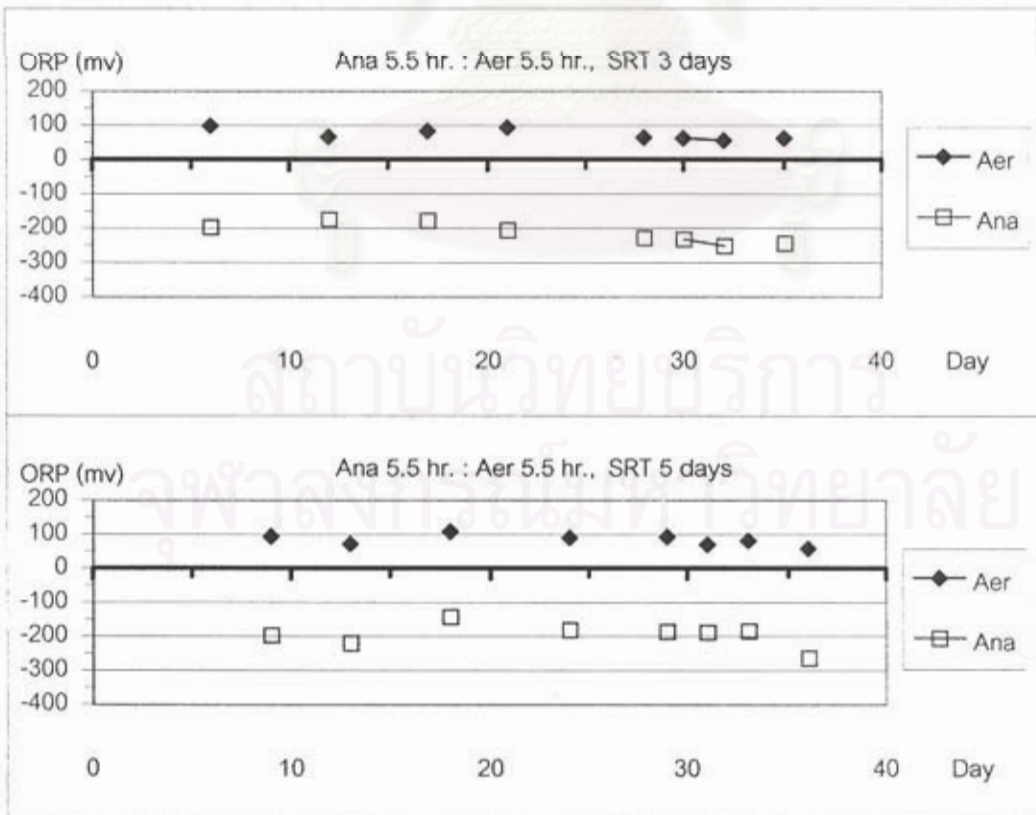
ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 ไออาร์พีแอนแอโรบิกมีค่า -253 ถึง -233, ไออาร์พีแอโรบิก 55-62 มิลลิโวลท์ และชุดการทดลอง 5.5/5.5-5 ไออาร์พีแอนแอโรบิกมีค่า -264 ถึง -185, ไออาร์พีแอโรบิก 58-81 มิลลิโวลท์



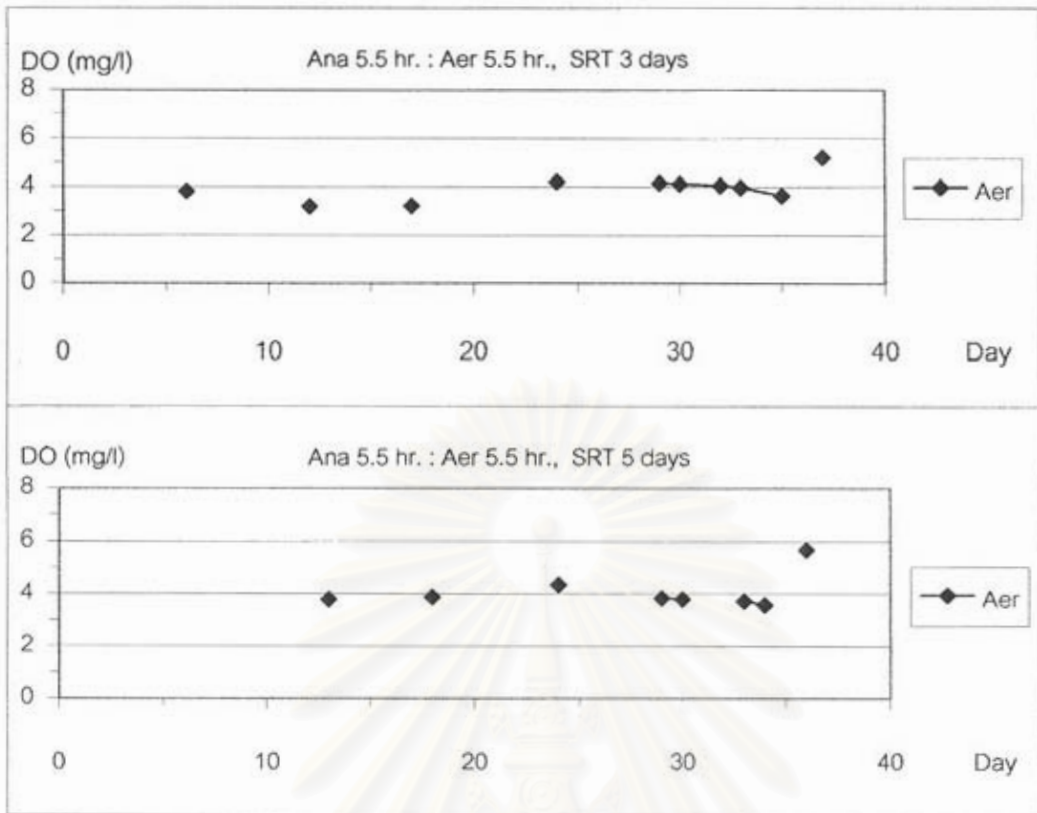
รูปที่ 4.23 อุณหภูมิของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5 ซึ่งเดินระบบขนานกัน



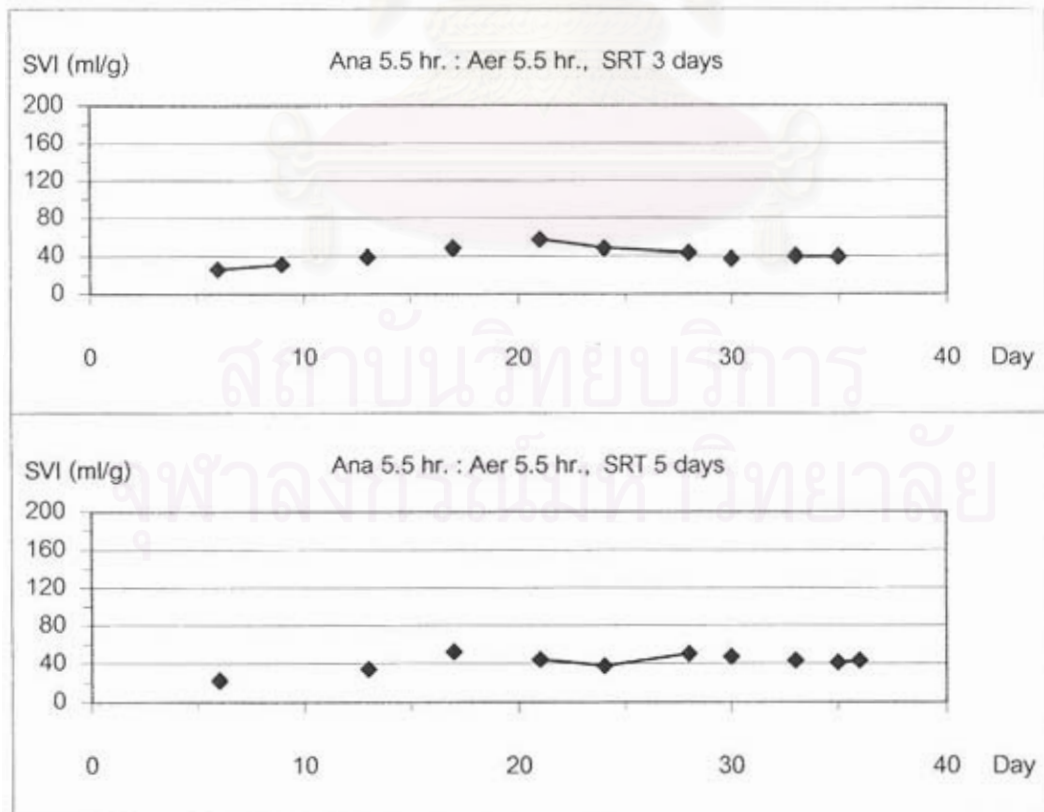
รูปที่ 4.24 พีเอชของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



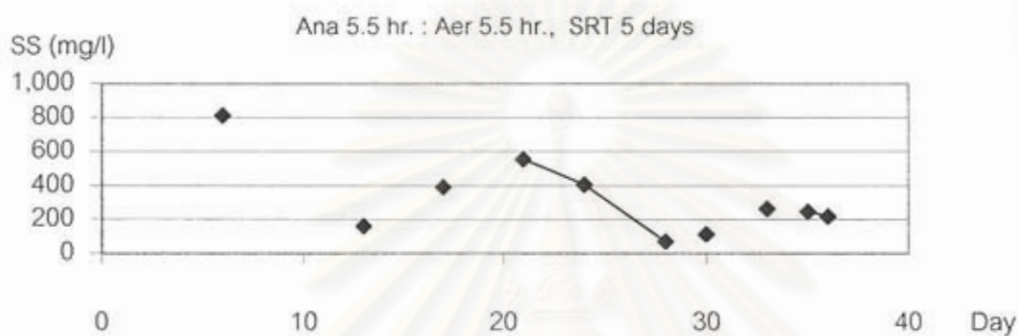
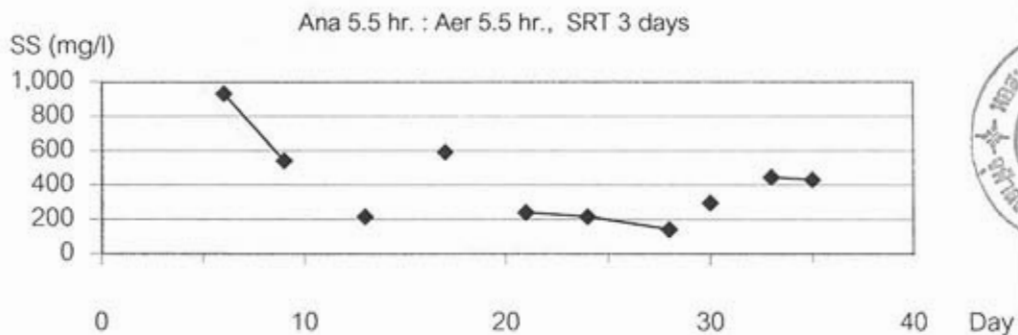
รูปที่ 4.25 โออาร์พีของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



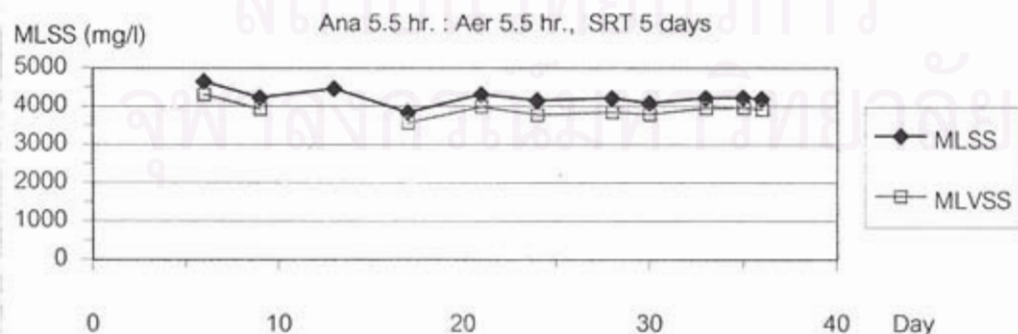
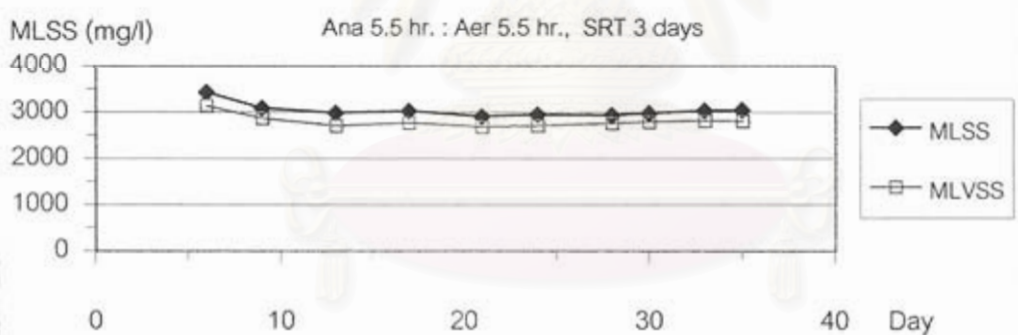
รูปที่ 4.26 ออกซิเจนละลายของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



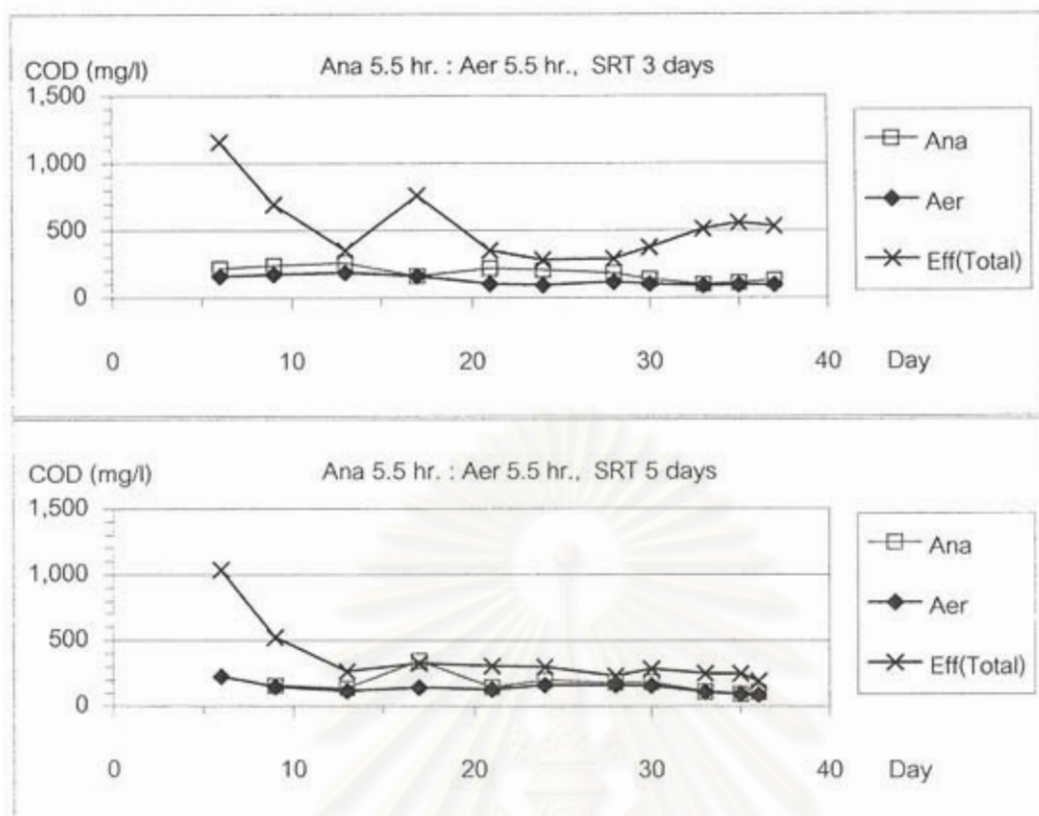
รูปที่ 4.27 เอสวีไอของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



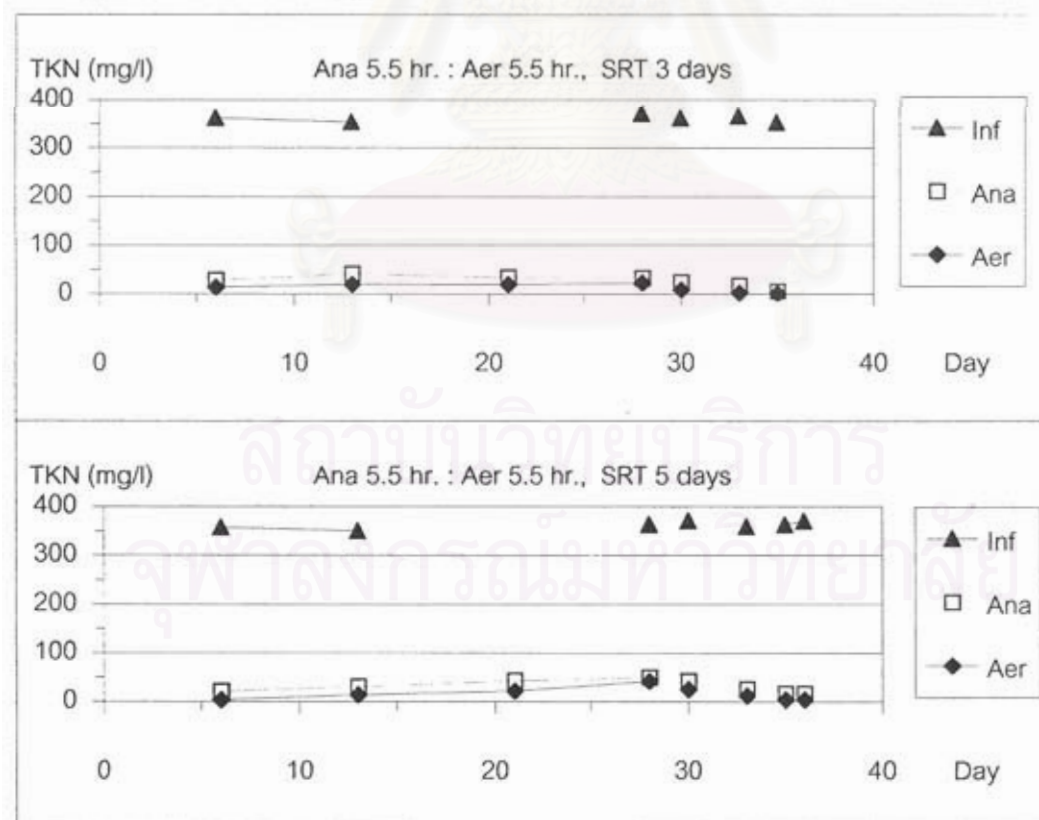
รูปที่ 4.28 เอสเอสของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



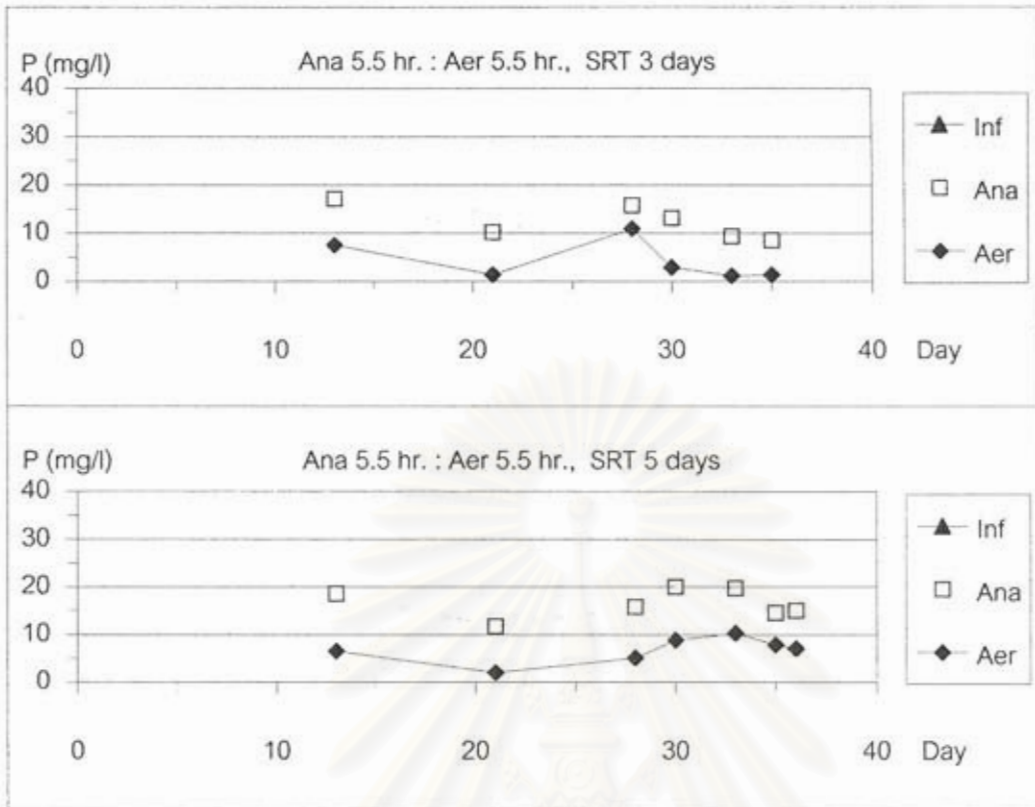
รูปที่ 4.29 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



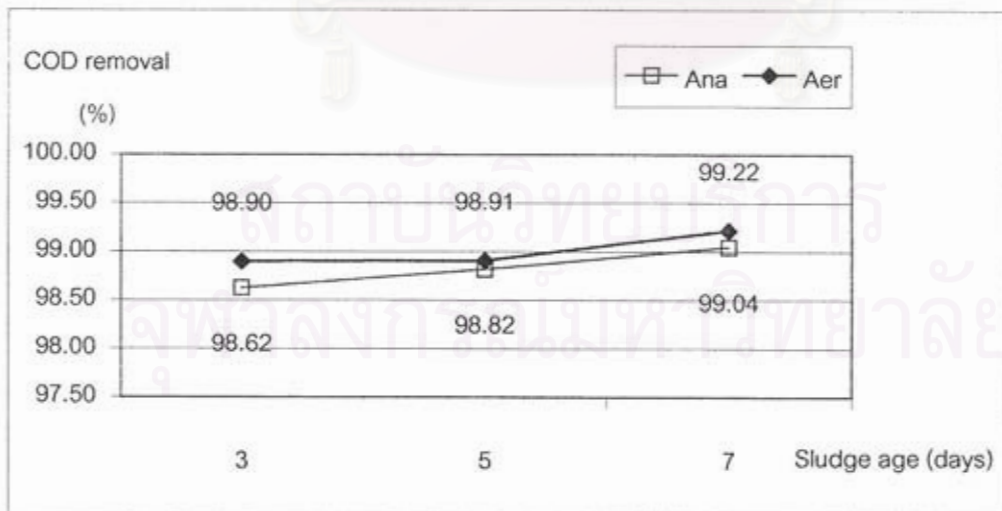
รูปที่ 4.30 ซีโอดีของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



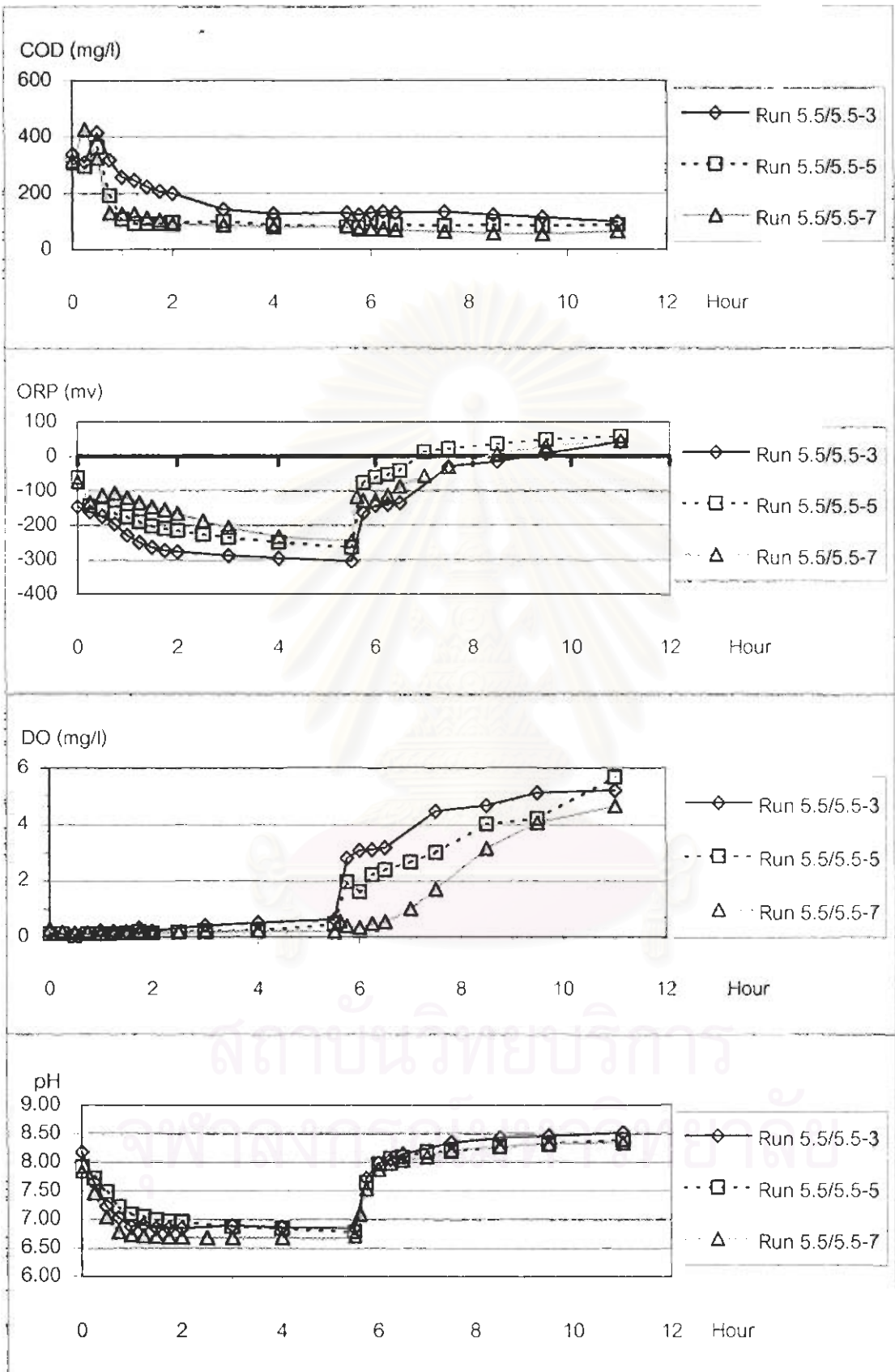
รูปที่ 4.31 ทีเคเอ็นของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



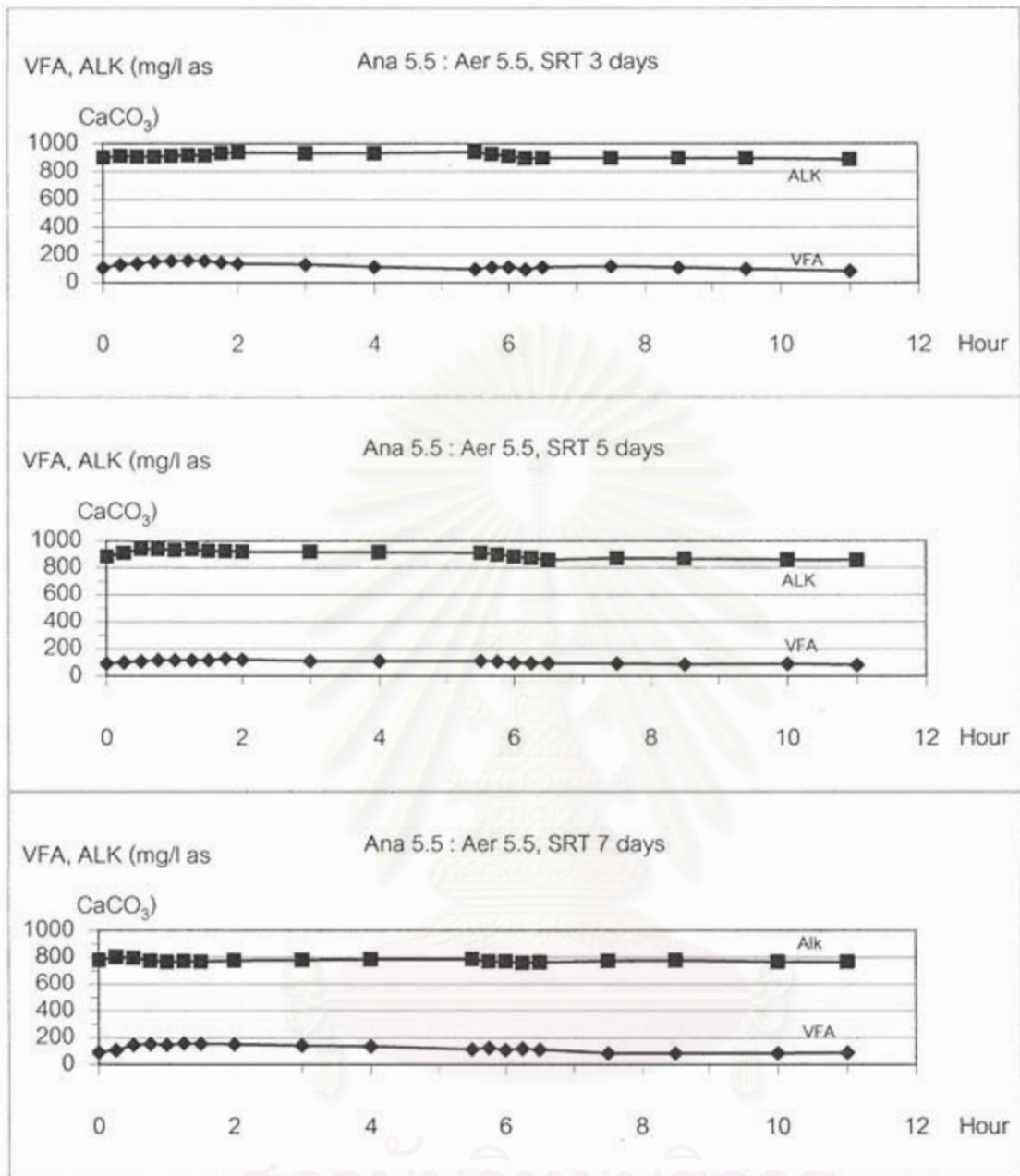
รูปที่ 4.32 ฟอสฟอรัสละลายของวัฏจักรต่างๆ ในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5



รูปที่ 4.33 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อายุสลัดจ์ต่างกันของอัตราส่วนเวลากักน้ำ 5.5/5.5



รูปที่ 4.34 โพรไฟล์พารามิเตอร์ต่างๆของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3, 5.5/5.5-5 และ 5.5/5.5-7



รูปที่ 4.34(ต่อ) โพรไฟล์พารามิเตอร์ต่างๆของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3, 5.5/5.5-5 และ 5.5/5.5-7

จากรูปที่ 4.28 พบว่าเอสเอสในชุดการทดลองที่ค่าอายุสลัดจ์ 3 วัน มีค่าเอสเอสสูงกว่าที่อายุสลัดจ์ 5 วัน เนื่องจากระบบมีค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ที่สูงกว่า โดยมีค่า 296-444 และ 112-347 มก./ล. ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.29 พบว่าเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลองที่อายุสลัดจ์ 3 และ 5 วัน มีค่า 2,970-3,040 และ 4,070-4,220 มก./ล., อัตราส่วน F/M_v เท่ากับ 0.47 และ 0.34 ตามลำดับ และในทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสร้อยละ 92.1-93.6

จากรูปที่ 4.30 และ 4.33 พบว่าในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5 ที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 0.47 และ 0.34 กก.ปีไอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน พบว่าระบบมีความสามารถกำจัดซีไอดีเท่ากันคือร้อยละ 98.9 และยังใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่อายุสลัดจ์ 7 วัน คือร้อยละ 99.2 ซึ่งรับภาวะบรรทุksารอินทรีย์เพียง 0.21-0.26 กก.ปีไอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการรับภาวะบรรทุksารอินทรีย์สูงๆ แต่ถึงแม้ระบบสามารถรับภาวะบรรทุksารอินทรีย์สูงๆได้ แต่ที่อายุสลัดจ์ต่ำจะทำให้สลัดจ์ส่วนเกินที่ต้องกำจัดทิ้งมีมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลเสียต่อค่าใช้จ่ายในการกำจัดที่มากกว่าต่อไป

จากรูปที่ 4.31 และผลของชุดการทดลอง 5.5/5.5-7 พบว่าในชุดการทดลองที่มีสลัดจ์ส่วนเกินมากกว่าจะเหลือที่เคเอ็นที่ปลายแอโรบิกน้อยกว่า เนื่องจากมีเซลล์เกิดใหม่มากกว่าจึงนำไปไนโตรเจนไปใช้เพื่อสร้างเซลล์มากกว่า โดยในชุดการทดลอง 5.5/5.5-3, 5.5/5.5-5 และ 5.5/5.5-7 มีปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินที่ถูกทิ้งแต่ละวัฏจักร 4,820, 4,203 และ 4,780 มก./วัฏจักร โดยมีที่เคเอ็นเหลือที่ปลายแอโรบิก 3.8, 6.8 และ 4.3 มก./ล. ตามลำดับ โดยปกติในชุดการทดลองที่มีอายุสลัดจ์ต่ำกว่าควรจะมีการทิ้งสลัดจ์ในรูปสลัดจ์ส่วนเกินมากกว่า แต่สาเหตุที่ชุดการทดลอง 5.5/5.5-7 มีปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินสูงกว่าชุดการทดลอง 5.5/5.5-5 ผู้วิจัยยังไม่สามารถอธิบายได้

จากรูปที่ 4.32 พบว่าชุดการทดลอง 5.5/5.5-3, 5.5/5.5-5 มีฟอสฟอรัสละลายที่ปลายแอโรบิก 1.9 และ 8.4 มก./ล. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง 5.5/5.5-7 ซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสละลาย 10.7 มก./ล. โดยดูจากปริมาณเซลล์ที่เกิดใหม่และทิ้งในรูปสลัดจ์ส่วนเกินแล้ว ชุดการทดลอง 5.5/5.5-7 ควรจะมีฟอสฟอรัสละลายที่ปลายแอโรบิกต่ำกว่าชุดการทดลอง 5.5/5.5-5 เนื่องจากทิ้งเซลล์มากกว่า แต่จากผลการทดลองและการดูลมวลในระบบพบว่าแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ไม่เท่ากัน โดยมีฟอสฟอรัสในเซลล์ร้อยละ 1.9, 1.6 และ 1.4 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

จากปริมาณฟอสฟอรัสภายในเซลล์และไม่พบการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกนี้ของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 และ 5.5/5.5-5 จึงมีความเป็นไปได้เช่นเดียวกับชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5-7 และ 3/8 ว่าจุลชีพกลุ่มเด่นในระบบน่าจะเป็นจีเอโอ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.12

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลอง 8/3, 5.5/5.5, 3/8 ที่อายุสัปดาห์ 7 วัน ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 98.7, 99.2 และ 99.4 ตามลำดับ
- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลอง 5.5/5.5 ที่อายุสัปดาห์ 3 และ 5 วัน มีค่าเท่ากันคือร้อยละ 98.9 และใกล้เคียงกับที่อายุสัปดาห์ 7 วัน คือร้อยละ 99.2
- ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แบ่งมันสำปะหลังด้วยกระบวนการแอนแอมโรบิก/แอโรบิก ซีโอดีเกือบทั้งหมดถูกบำบัดในช่วงแอนแอมโรบิก และเมื่ออัตราส่วนเวลากักแอนแอมโรบิก/แอโรบิกน้อยลง(เวลากักแอโรบิกมากขึ้น)ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงขึ้น แต่เปลืองพลังงานในการเดินระบบมากขึ้น
- ทุกอัตราส่วนเวลากักน้ำสามารถกำจัดซีโอดีได้ประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกัน แต่อัตราส่วนเวลากักแอนแอมโรบิก/แอโรบิกที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ แอนแอมโรบิก 5:30 ชม./แอโรบิก 5:30 ชม. เมื่อพิจารณาถึงความไวต่อการเกิดสลัดจ์สีดำและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ
- กระบวนการแอนแอมโรบิก/แอโรบิกสามารถลดปัญหาจากสลัดจ์สีดำจากน้ำเสียแบ่งมันสำปะหลังได้ เมื่อมีธาตุอาหารเพียงพอแก่ความต้องการของจุลินทรีย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาที่เวลากักน้ำน้อยกว่า 5 วัน ($V_f : V_0$ มากกว่านี้) เนื่องจากจากผลของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 ซึ่งมีอัตราส่วน F/M_v เท่ากับ 0.47 ระบบยังมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ถึงร้อยละ 98.9 เพื่อจะสามารถลดขนาดของถังปฏิกริยาได้
- ควรนำกระบวนการแอนแอมโรบิก/แอโรบิกทดลองบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานแบ่งมันสำปะหลังเพื่อดูผลการกำจัดซีโอดีและการลดปัญหาจากสลัดจ์สีดำในระยะยาว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร, 2544.
- บุษกร อมรวิทย์. การตอบสนองของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบเอสปีอาร์ต่อการเติมคาร์บอนเฟดบางส่วนที่ขั้นตอนแเอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์. ผลของเวลากักแอนแอโรบิกและความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีอีเอ็มรีแอกทีฟชนิดอะซิทีลโคโรสรางทางเคมีต่างกันโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แเอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม แบ่งน้ำเสียทิ้ง แบ่งน้ำคัดแปร และแบ่งน้ำแปรรูป. โรงพิมพ์สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, 2540.
- สุรพล สายพานิช. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ประโยชน์และเพื่อกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานแบ่งน้ำเสียทิ้งในระดับห้องปฏิบัติการ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- อำพล เตโชวานิชย์. ประสิทธิภาพการกำจัดซีอีเอ็มรีแอกทีฟชนิดอะซิทีลโคโรสโดยระบบเอสปีอาร์แบบแเอโรบิกและแอนแอโรบิก-แเอโรบิกภายใต้สภาวะการปฏิบัติการที่ต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- อุดร จารุรัตน์. "สลัดจ์อีดีจากจุลินทรีย์เส้น". Thai Environmental Engineering Journal, Vol.10, No.6, pp.20-25, 1997.

ภาษาอังกฤษ

- Irvine R.L., "Sequencing Batch Biological Reactor-an Overview", J.WPCF, Vol.51, (1979): 182-192.
- Liu W.T., Mino T., Nakamura K., and Matsuo T., "Glycogen Accumulating Population and its Anaerobic Substrate Uptake in Anaerobic-Aerobic Activated Sludge without Biological Phosphorus Removal", Wat. Res., Vol.30, No.1 (1996): 75-82.

- Madoni P., Davoli D., and Gibin G., "Survey of Filamentous Microorganisms from Bulking and Foaming Activated-Sludge Plants in Italy", Wat. Res., Vol.34, No.6 (2000) 1767-1772.
- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 3rd Edition, Singapore: McGraw-Hill, 1991.
- Mino T., Liu W.T., Kurisu F., and Matsuo T., "Modeling Glycogen Storage and Denitrification Capability of Microorganisms in Enhanced Biological Phosphate Removal Processes", Wat. Sci. Tech., Vol.31, No.2 (1995): 25-34.
- Mino T., Liu W.T., Satoh H., and Matsuo T., "Possible Metabolisms of Polyphosphate Accumulating Organisms(PAOs) and Glycogen Accumulating Non-Poly-P Organisms(GAOs) in the Enhanced Biological Phosphate Removal Process", Med. Fac.Landbouww. Univ. Gent., 61/4a, 1996.
- Prasanna L. A., Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry Wastewater by Bench Scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket(UASB) Reactor, Master Thesis, AIT, Bangkok, 1996.
- Randall C.W., Barnard J.L., Stensel H.D., "Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal", Water Quality Management Library, Vol.5, Lancaster: Technomic, 1992.
- Randall A.A., Benefield L.D., Hill W.E., Nicol J.P., Boman G.K., and Jing S.R., "The Effect of Volatile Fatty Acids on Enhanced Biological Phosphorus Removal and Population Structure in Anaerobic/Aerobic Sequencing Batch Reactors", Wat. Sci. Tech., Vol.35, No.1 (1997): 153-160.
- Satoh H., Mino T., and Matsuo T., "Diversity of Microorganisms in Activated Sludge Processes in Metabolisms of Substrate Uptake", Microbial Community and Functions in Wastewater Treatment Processes, COE Project, Dept. of Urban Eng., School of Eng., Univ. of Tokyo, March 1998.
- Tanaka T. et. al., "Energy Saving, High Biological Phosphorus removal and Improvement of Sludge Settleability on Full scale Anaerobic-Aerobic Activated Sludge Process", Wat. Sci. Tech., Vol.23 (1991): 801-810.
- Tongkasame C., Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Waste, Master Thesis, AIT, Bangkok, 1968.

Uddin Md. S., Anaerobic Pond Treatment of Tapioca Starch Waste, Master Thesis, AIT, Bangkok, 1970.

Wanner J. et. al., "Control of Activated Sludge Filamentous Bulking-VII. Effect of Anoxic Condition", Wat. Res., Vol.21, No.12 (1987): 1447-1451.

Wongsaengchantra K., Anaerobic-Oxic Activated Sludge Process for the Treatment of Modified Tapioca Starch Wastewater, Master Thesis, AIT, Bangkok, 1993.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP(mv)	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
1		363.6	400.0				7.26	8.43				
3							7.24	8.39				
9		537.3	609.0				7.10	8.31				
18	8,762.3	421.2	430.5									
27	8,530.7	440.1	350.2				7.24	8.37				
38		416.7	233.3	700.0			7.20	8.58	0.25	3.14		
39							7.24	8.51				
40	8,223.8	587.4	218.2	805.6	97.3							
41							7.20	8.56	0.35	4.28	-326	12
42							7.09	8.56				
43	8,666.7	583.3	316.7	1,000.0	96.3		7.14	8.52			-291	14
44							7.24	8.62	0.29	2.91		
46							7.19	8.57		4.12		
50		359.2	277.6	1,763.3			7.32	8.49				
54							7.25	8.57			-292	43
56	8,432.4	227.0	146.0	1,297.3	98.3					5.00	-308	27
62	8,974.0	253.6	183.1	1,033.3	98.0		7.20	8.54			-280	25
68	8,780.5	273.2	175.6	507.3	98.0		7.27	8.53		4.80	-272	42

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3 (ต่อ)

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP(mv)	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
71	8,557.4	373.8	196.7	1,219.7	97.7						-261	34
74	9,024.0	345.6	230.4	1,536.0	97.4		7.33	8.67		5.99	-245	23
77	8,571.4	323.8	304.8	2,095.2	96.4		7.28	8.67				
82							7.05	8.69			-250	12
83	8,598.4	302.4	226.8	1,322.8	97.4							
86	8,976.4	56.7	37.8	1,096.1	99.6		7.19	8.58				
91	9,023.2	92.3	73.9	221.5	99.2		7.01	8.46				
93							7.06	8.50		4.72	-297	5
96	8,906.3	75.0	262.5	300.0	97.1		7.16	8.36				
98	8,307.7	73.8	110.8	886.1	98.7		7.24	8.50				
105	8,885.5	219.9	201.5	732.8	97.7		7.16	8.34			-267	27
107	8,800.0	180.0	180.0	520.0	98.0		7.24	8.41				
109	8,470.6	161.3	141.2	443.7	98.3		6.99	8.38			-232	51
112	8,470.6	121.0	161.3	363.0	98.1		6.98	8.39				
116	8,665.6	100.3	80.7	0.0	99.1		6.95	8.43	0.35	4.70	-194	105
120	8,878.0		117.1	97.6	98.7		6.92	8.41				
123	8,390.2	78.0	97.6	0.0	98.8		6.95	8.40	0.28	4.14	-217	32
124							6.99	8.43				

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3 (ต่อ)

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP(mv)	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
125	8,520.0	117.1	58.5	273.2	99.3		6.85	8.40			-193	46
126							6.98	8.42				
128	8,640.0	134.4	115.2	399.2	98.7		6.87	8.12	0.25	4.07		
131	8,256.0	115.2	115.2	384.0	98.6		6.77	8.17			-187	52
133	8,787.4	132.3	113.4	377.9	98.7		6.96	8.23	0.31	4.99	-190	34
135							6.81	8.27				
137	8,598.4	113.4	115.2	264.6	98.7	6.96	6.68	8.27	0.46	5.40	-287	42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3 (ต่อ)

Day	Alkalinity (mg/l CaCO ₃)			VFA (mg/l CaCO ₃)		P (mg/l)				TKN (mg/l N)			NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		
	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Inf.	Ana.	Aer.	%P	Inf.	Ana.	Aer	Ana.	Aer	Ana.	Aer	
1																	
38										222.8	3.6	6.6					
39						78.0	29.5	17.5									
40						77.6	27.7	15.2		207.3	4.5	3.0	0.02		0.05		
42		1,602.8	1,583.3	279.5	89.0								0.02	0.03	0.02	0.03	
44						88.8	35.2	19.4		208.7	3.7	4.5					
50										220.7	9.0	9.0					
54						80.0	33.2	18.3									
56						83.0	33.1	14.3		225.1	10.4	9.7					
62						81.2	29.2	15.5		210.4	9.4	9.0					
71						80.4	29.0	13.1		265.4	22.4	21.6					
74						77.4	26.5	12.4		225.1	6.7	4.5					
77						78.2	25.1	6.6		217.7	3.0	3.7					
86			80			85.6	14.8	5.8		354.9	11.2	32.1					
91			91														
93			93			80.0	11.7	3.7		363.8	20.2	12.7					
98						78.3	28.6	14.8		325.1	49.7	36.1					
107										343.1	15.1	3.8					

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3 (ต่อ)

Day	Alkalinity (mg/l CaCO ₃)			VFA (mg/l CaCO ₃)		P (mg/l)				TKN (mg/l N)			NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)	
	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Inf.	Ana.	Aer.	%P	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.
116						81.7	21.8	9.3		343.1	24.8	11.4				
123		674.2	565.1	71.3	39.77	80.7	10.4	1.2		322.1		6.0				
125		680.3	605.1	58.9	31.5	79.0	6.5	0.4		323.6	12.8	6.8				
128		680.3	615.8	74.1	49.4	82.3	6.6	0.8		314.6		2.3				
131						73.7	11.0	0.4		320.6	26.3	15.8				
133		722.1	652.6	109.7	79.5	81.0	9.6	0.3		325.1	31.8	18.1				
135		714.3	648.0	100.1	67.2											
137		732.2	652.3	53.8	30.7	80.7	7.2	0.3		365.9	34.8	16.6				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3 (ต่อ)

Day	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	f (%)	SS (mg/l)	SV30 (ml/g)	SVI	°C
1	4,480						
9	4,660						
27	4,840	4,410	91.12				
38	5,000	4,600	92.00	546.7			30.1
40	4,020			510.0	650	162	29.5
42							28.5
43	5,260	4,880	92.78	860.0	870	165	29.5
44							28.8
46	6,020				890	148	
48	6,260				930	149	28.9
50	6,400			940.0	910	142	28.6
54	6,530			1060.0	920	133	30.0
56	6,490	6,040	93.07	980.0	930	125	
62	6,480				920	135	29.5
68	6,240	5,820	93.27	970.0			
71	6,220	5,860	94.21				29.5
74	5,780	5,380	93.08	1450.0	920	159	29.5
77	5,940	5,460	91.92	1187.3	850	143	28.8
80	5,480						29.6

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 8/3 (ต่อ)

Day	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	f (%)	SS (mg/l)	SV30 (ml/g)	SVI	°C
82	5,240			680	930	177	30.2
85	5,440	5,060	93.01				
86				940.0			29.5
91	5,840	5,440	93.15	260.0			29.2
93	5,820	5,420	93.13	260.0			29.0
96				140.0			31.0
98	5,180	4,900	94.59	133.3	980	189	29.0
105	6,600	6,080	92.12	180.0	890	135	29.3
107	6,140	5,740	93.49	170.0	920	150	
109	5,840	5,380	92.12	166.7	950	163	28.8
112	5,380			90.0			29.5
116	5,960	5,600	93.96	25.0	940	158	29.3
120	5,500	5,180	94.18	20.0	800	146	28.9
123	5,860	5,360	91.47	48.0	610	104	29.0
125	5,500	5,060	92.00	68.5	390	71	
128	5,640	5,240	92.91	212.0	300	53	
131	5,800	5,340	92.07	324.0	300	52	29.6
133	5,480	5,160	94.16	372.0	310	57	29.0
137	5,500	5,100	92.73	125.0	300	55	28.8

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
1												
4	8,950.1	793.9	234.6	288.7	97.4		6.30	8.46		5.70		
8	8,523.6	552.4	95.2	380.9	98.9		6.73	8.19	0.23	4.58	-216	99
11	9,053.5	507.5	42.7	85.4	99.5		6.84	8.37	0.21	4.62	-187	91
18	8,893.2	46.1	36.9	73.8	99.6		7.08	8.48				
21	8,904.0	54.9	27.5	109.9	99.7		7.11	8.52	0.19	4.75	-185	101
24												
26	8,653.1	61.0	32.5	90.2	99.6		7.07	8.49		5.10	-200	105
40	8,853.0	88.2	68.2	97.1	99.2		6.84	8.29	0.22	5.30	-116	114
67	8,780.5	169.0	135.2				7.00	8.59		4.34	-187	82
78	8,810.2	158.9	124.9				6.59	8.00			-140	132
80							6.72	7.95				
84	8,979.6	304.8	429.9	1,404.1	95.2		6.75	7.89		4.01	-206	67
93										3.98	-192	59
97	9,047.6	352.4	247.6	1,314.3	97.3		6.64	8.03		4.03	-185	62
99		348.6	252.1	1,021.5								

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5 (ต่อ)

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
108	8,437.5	191.3	183.8	328.1	97.8		6.89	8.34		3.87	-171	79
112	8,645.0	150.0	150.0	121.9	98.3		7.00	8.37		3.95	-196	63
115	8,598.4	89.3	93.0	148.8	98.9		6.81	8.46		4.00	-163	106
120	8,702.3	102.6	87.9	97.7	99.0		6.80	8.42	0.19	4.23	-168	120
123	8,636.4	80.5	68.1	74.5	99.2				0.20	4.70	-170	131
127	8,571.4	83.0	65.0	76.3	99.2	7.20	6.71	8.34	0.20	4.65	-246	45
130	8,727.3	64.5	50.1	103.9	99.4		6.94	8.21	0.19	4.36	-185	106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5 (ต่อ)

Day	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			VFA (mg/l as CaCO ₃)		P (mg/l)				TKN (mg/l as N)			NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		
	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Inf.	Ana.	Aer.	%P	Inf.	Ana.	Aer	Ana.	Aer	Ana.	Aer	
1																	
11						80.7		15.8	1.20	330.5	15.1	6.0					
18										357.3	10.6	7.6					
20						78.2	17.6	2.3									
26						74.5	14.9	1.8		348.6	12.8	6.5					
67						79.5	22.2	12.2	12.20	345.0	29.5	9.1					
78						78.0	11.8	3.0	3.00	360.8	25.4	2.7					
80		829.4	732.7	71.0	28.8												
82													1.1	5.4	0	8.6	
84						71.0	20.8	11.9	11.85	222.3	20.3	11.9					
97						81.4	22.3	10.3		376.4	23.6	10.4					
108						80.2	27.1	13.2		365.2	25.0	8.3					
115						78.2	26.8	13.6	1.38	371.0	15.2	5.3	-	3.5	-	3.5	
116						72.0	20.0	10.2	1.28								
120		820.7	770.0	115.3	90.5	80.0	18.9	8.4	1.51	363.1	12.6	4.9	-	3.7	-	3.2	
127		787.5	767.2	112.4	88.1												
130		831.2	777.2	108.2	88.1		18.9	8.4	1.71	369.1	17.5	2.7	-	3.6	-	4.1	

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5 (ต่อ)

Day	MLSS	MLVSS	f (%)	SS	SV30	SVI	Temp
1	5,200						
4	5,720			140.0			29.0
8	5,240	3,640	69.5	32.0	810	154.6	28.5
11	5,640	4,180	74.1	44.0	650	115.2	29.5
18	6,560	5,760	87.8				29.0
20							29.0
21	7,040	6,240	88.6	39.0	935	132.8	28.3
24							
26	6,500	5,780	88.9				30.0
28					980	150.8	
30							29.5
36							29.0
40	5,200	4,720	90.8	24.0	470	90.4	
67	5,080	4,660	91.7	188.0	230	45.3	30.0
78	5,480	4,880	89.1	840.0	290	52.9	28.5
82							28.0

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5 (ต่อ)

Day	MLSS	MLVSS	f (%)	SS	SV30	SVI	Temp
84	4,580	4,300	93.9	1,130.0	160	34.9	27.0
88							28.5
93							30.0
97	4,140			990.0	158	38.2	29.0
99	4,620			850.0	163	35.3	29.0
108	5,440	5,040	92.6	160.0	160	29.4	30.0
112	5,950			52.0	161	27.1	29.5
115	6,280	5,800	92.4	34.0	160	25.5	30.0
116							29.3
120	6,940	6,440	92.8	34.0	180	25.9	30.0
123	6,480	6,120	94.4	48.0	210	32.4	30.0
127	6,970	6,460	92.7	14.0	220	31.6	29.9
130	6,920	6,520	94.2	24.0	210	30.3	29.0

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 3/8

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
1												
4	8,950.1	685.7	108.3	216.5	97.6		6.25	8.31		5.20		
8	8,523.6	342.9	19.0	38.1	99.6		6.74	8.44	0.10	6.70	-115	111
11	9,053.5	327.3	14.2	161.3	98.2		6.75	8.45	0.09	5.41	-151	99
18	8,893.2	92.3	36.9	184.6	97.9		7.07	8.36	0.10	6.20	-138	105
21	8,904.0	192.4	91.6	494.7	94.4		7.02	8.33	0.08	5.71	-187	88
30		108.3	63.2	198.5			7.15	8.49	0.09	4.24	-107	103
33	8,979.6	102.3	78.2	144.4	98.4		7.25	8.49				
36		138.3	90.2	144.4			7.12	8.54	0.08	4.85	-95	109
38							7.08	8.51				
40	8,853.0	117.6	58.8	291.2	96.7							
67		219.7	163.4				7.25	8.60	0.10	4.26	-68	73
78	8,810.2	257.5	213.7	402.7	95.4		6.82	7.99		4.03	-62	85
80*							6.87	7.96				
82							6.84					
84	8,816.3	228.6	190.5	669.4	92.4		6.79	8.04		5.03	-48	92

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 3/8 (ต่อ)

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
99	9,047.6	127.0	114.3	257.1	97.2	7.13	6.97	8.09	0.09	4.06	-110	86
108	8,156.3	93.8	56.3	103.1	98.7		6.86	8.16	0.09	4.6	-46	86
112		86.3	41.3	150.0			6.98	8.27				
115	8,990.7	78.1	29.8	306.9	96.6		6.95	8.36	0.10	4.58	-65	86
116							7.01	8.34	0.09	4.63		
120	8,793.9	123.5	67.9	367.2	95.8		6.99	8.34	0.10	4.6	-87	90
123	9,090.9	90.9	54.5	377.3	95.8	7.42	7.06	8.32	0.11	5.25	-104	109
126									0.09	4.25	-96	98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 3/8 (ต่อ)

Day	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			VFA (mg/l as CaCO ₃)		P (mg/l)				TKN (mg/l as N)			NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		
	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Inf.	Ana.	Aer.	%P	Inf.	Ana.	Aer	Ana.	Aer	Ana.	Aer	
1																	
11						80.7	11.8	0.9		330.45	22.68	4.54					
18						78.2	11.7	1.2		357.30	21.20	9.10					
26						74.5	13.5	2.8									
36								23.9	14.1	345	27.90	4.54		4.12			11.1
38		1,045.4	995.8	90.2	42.2								0.02	3.54	0		10.6
40																	
67						79.5	24.4	17.6		360.8	32.51	10.60					
78						78.0	25.9	14.6			37.50	11.00					
80		842.4	838.1	111.4	40.3												
82													0	0.80	16		7.7
84						69.7	25.1	14.4		222.3	20.30	1.76					
99						67.0	21.2	11.0	1.66	358.90	29.40	4.20	0	0.50	7.3		9.9
108						77.6	19.3	10.4			24.19	1.51					
115		780.9	652.8	110.2	60.1	75.2	21.8	12.4		360.20	28.23	3.50	0	0.65	6.9		8.8
120		764.1	658.2	123.8	73.5	70.0	16.2	6.6	1.61	364.5	35.1	2.8	0	0.82	7.5		10.2
123		743.1	653.5	128.2	72.6	80.5	18.7	8.5	1.65	362.30	29.80	2.75	0	0.72	7.4		10.1

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 3/8 (ต่อ)

Day	MLSS	MLVSS	f	SS	SV30	SVI	Temp
1							
4	4,400	-	-	75.0			29.0
8	4,860	3,700	76.1	12.0	780	161	28.5
11	5,100	4,080	80.0	20.0	650	127	29.5
18	5,540	4,880	88.1				29.0
20		-	-				29.0
21	4,700	-	-	200.0	225	48	28.3
26							30.0
30	5,220	-	-	72.0	390	74	29.5
33	5,240	4,780	91.2	92.0	400	76	30.0
36	5,380	-	-	120.0	320	60	29.0
40	5,300	4,780	90.2	224.0	280	53	
67	4,660	4,220	90.6	560.0	150	32	27.0
78	5,060	4,620	91.3	613.0	210	42	27.5
82							28.0
84	4,480	4,020	89.7	420.0	220	49	27.0
88							28.5

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 3/8 (ต่อ)

Day	MLSS	MLVSS	f	SS	SV30	SVI	Temp
93							30.0
97							29.0
99	5,300	4,850	91.5	104	890	168	29.0
108	5,100	4,640	91.0	52	850	167	30.0
115	5,440	5,000	91.9	306.3	850	156	30.0
116							29.3
120	5,520	5,200	94.2	344	740	134	30.0
123	5,420	4,960	91.5	124	520	96	30.0
126	5,600	5,110	91.25	146.7	600	102	30.0

ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
1												
6	8,869.6	215.7	160.0	1,156.5	98.2		7.00	8.40		3.82	-197	98
9		240.0	173.9	695.6			6.91	8.16				
12										3.19	-175	66
13	9,058.7	260.6	188.6	351.4	97.9		7.00	8.24				
17	8,828.6	161.1	161.1	762.9	98.2		6.93	8.45		3.21	-178	83
21	8,764.3	217.9	102.1	348.9	98.8		7.01	8.46			-207	93
24	8,640.0	208.0	92.0	280.0	98.9		7.09	8.30		4.21		
28	8,900.0	184.0	116.0	290.0	98.7		7.07	8.43			-229	64
29							7.13	8.50		4.16		
30	8,635.3	137.7	102.3	373.8	98.8	7.18	7.16	8.54		4.12	-233	62
32							7.12	8.35		4.05	-253	55
33	8,920.2	100.7	89.0	512.9	99.0	7.32	7.05	8.48		3.98		
35	8,640.0	111.4	96.0	556.8	98.9	7.21	6.98	8.55		3.64	-245	62
37	8,741.3	130.6	98.5	532.1	98.9	7.16	6.85	8.52	0.62	5.20		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 (ต่อ)

Day	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			VFA (mg/l as CaCO ₃)		P (mg/l)				TKN (mg/l as N)			NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		
	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Inf.	Ana.	Aer.	%P	Inf.	Ana.	Aer	Ana.	Aer	Ana.	Aer	
1																	
6										361.7	29.4	14.0					
13							17.1	7.5		353.3	41.4	19.6					
21							10.2	1.4	2.2		33.7	18.9					
28						80.3	15.8	10.9	1.6	370.4	32.2	22.4					
29		988.9	899.9	138.2	91.6									0.02			1.2
30						74.0	13.1	3.0	2.0	360.8	23.8	8.4					
32		954.0	895.8	123.2	99.8									0.01			0.1
33						76.7	9.3	1.2	1.9	364.9	17.1	2.1					
34		908.6	859.2	101.8	95.7									0			0.6
35						80.3	8.5	1.4	1.7	352.3	5.0	0.7					
37		941.4	887.6	95.1	82.5												

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3 (ต่อ)

Day	MLSS	MLVSS	f (%)	SS	SV30	SVI	Temp
1							
6	3,420	3,140	91.81	930.0	90	26.0	30.3
9	3,080	2,860	92.86	540.0	95	31.0	30.5
12							31.0
13	2,980	2,700	90.60	215.0	115	38.6	30.8
16							29.0
17	3,020	2,760	91.39	590.0	145	48.0	25.0
18							28.5
21	2,900	2,680	92.41	240.0	165	57.0	30.0
24	2,940	2,700	91.84	215.0	140	48.0	30.7
28	2930	2750	93.86	140.0	125	43.0	28.8
30	2970	2780	93.60	296.0	110	37.0	32.0
32							31.0
33	3030	2810	92.74	444.0	120	39.6	30.4
35	3040	2800	92.11	429.0	120	39.0	30.8
36							31.6
37							31.1

ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5-5

Day	COD (mg/l)					pH			DO (mg/l)		ORP	
	Inf.	Ana.	Aer.	Eff.	%rem.	Inf.	Ana.	Aer	Ana	Aer	Ana.	Aer.
1												
6	8,869.6		226.1	1,034.8	97.5		6.87	8.32				
9		156.5	146.1	521.7							-197	93
10							6.77	8.11				
13	8,571.4	137.1	113.1	265.7	98.7	7.14	6.92	8.13	3.78		-221	71
17	8,742.9	346.3	140.6	325.7	98.4		7.00	8.35				
18									3.86		-143	107
21	8,840.2	142.9	125.9	306.4	98.6		6.99	8.41				
24	8,790.1	196.0	160.0	300.0	98.2		7.05	8.37	4.34		-182	89
28	8,400.0	180.0	160.0	230.0	98.1		7.03	8.22				
29							7.02	8.44	3.83		-187	92
30	9,020.1	184.9	157.4	285.2	98.3	7.29	7.04	8.38	3.79			
31											-189	69
32							7.08	8.34				
33	8,806.5	112.6	108.4	251.6	98.8	7.21	7.04	8.37	3.72		-185	81
34								8.41	3.57			
35	8,951.3	92.2	92.2	247.2	99.0	7.15	7.01	8.45				
36	8,612.4	107.2	88.0	191.4	99.0	7.35	6.78	8.39	0.46	5.68	-264	58



ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5-5 (ต่อ)

Day	Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			VFA (mg/l as CaCO ₃)		P (mg/l)				TKN (mg/l as N)			NO ₂ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		
	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Inf.	Ana.	Aer.	%P	Inf.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	Ana.	Aer.	
1																	
6										357.5	21.7	4.2					
13								18.6	6.5	350.5	30.8	14.0					
21								11.7	2.1	2.2	42.8	21.7					
28						80.0	15.8	5.2	1.9	363.1	49.8	41.4					
29		946.7	885.7	139.1	101.8									0.66			2.2
30						75.3	20.0	8.8	2.0	371.0	42.1	25.2					
31														0.65			1.0
32		1,001.7	916.2	116.1	101.8												
33						81.7	19.7	10.3	1.8	359.2	25.7	12.1					
34		952.5	859.2	120.1	101.8									1.60			2.0
35						72.2	14.6	7.9	1.5	362.8	16.4	4.3					
36		911.1	857.7	112.0	81.4	78.3	15.1	7.1	1.5	370.2	16.2	4.1		1.10			2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองของชุดการทดลอง 5.5/5.5-5 (ต่อ)

Day	MLSS	MLVSS	f (%)	SS	SV30	SVI	Temp
1							
6	4,640	4,300	92.67	810	100	22	30.3
9	4,220	3,920	92.89				30.5
12							31.0
13	4,450			160	150	34	30.8
16							29.0
17	3,830	3,560	93.0	390	200	52	25.0
18							28.5
21	4,300	3,970	92.3	553	190	44	30.0
24	4,140	3,760	90.8	405	155	37	30.7
28	4200	3830	91.2	68	210	50	28.8
30	4070	3780	92.9	112	190	47	32.0
32							31.0
33	4210	3940	93.6	264	180	43	30.4
35	4220	3943	93.4	247	180	41	30.8
36	4,180	3,904	93.4	218	179	43	31.6

ภาคผนวก ข

ข้อมูลไฟล์ของชุดการทดลองต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-2 โพรไฟล์ของชุดการทดลอง 5.5/5.5

Time (hr.)	pH	ORP (mV)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	VFA (mg/l CaCO ₃)	ALK (mg/l CaCO ₃)
Influent	7.20	-	-	8571.4	-	598.30
0:00	7.84	-73	0.28	314	90.14	777.16
0:15	7.46	-134	0.17	425.9	107.66	801.20
0:30	7.04	-113	0.15	324.8	146.22	795.19
0:45	6.78	-107	0.15	129.9	152.73	773.66
1:00	6.73	-120	0.14	126.3	147.72	763.64
1:15	6.71	-135	0.15	126.3	157.38	770.20
1:30	6.70	-147	0.15	111.9	155.23	766.15
1:45	6.69	-155	0.16	104.7	-	-
2:00	6.69	-166	0.16	90.2	150.23	776.16
2:30	6.68	-188	0.18	-	-	-
3:00	6.68	-207	0.19	86.6	141.14	779.23
4:00	6.68	-234	0.22	79.4	135.2	783.67
5:30	6.71	-246	0.20	83	112.44	787.54
5:37	7.09	-118	0.56	-	-	-
5:45	7.53	-129	0.40	72.2	124	767.82
6:00	7.87	-128	0.33	72.2	109.69	767.82
6:15	7.98	-114	0.48	72.2	116.84	758.28
6:30	8.03	-88	0.55	68.6	112.07	763.05
7:00	8.09	-56	1.00	-	-	-
7:30	8.20	-31	1.70	63	85.13	773.66
8:30	8.27	8	3.15	57.7	85.13	778.67
9:30	8.31	29	4.05	54.1	85.13	766.15
11:00	8.34	45	4.65	65	88.13	767.15

ตารางที่ ข-3 โพรไฟล์ของชุดการทดลอง 3/8

Time (hr.)	pH	ORP (mV)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	VFA (mg/l CaCO ₃)	ALK (mg/l CaCO ₃)
Influent	7.42	-	-	9090.9	-	-
0:00	7.72	90	0.90	261.8	75.1	708.60
0:05	-	7	0.55		-	-
0:15	7.28	-20	0.20	132.75	100.1	706.10
0:30	7.10	-44	0.12	87.3	97.6	698.50
0:45	7.10	-59	0.10	80	103.7	711.80
1:00	7.10	-69	0.09	83.6	106.6	717.20
1:15	7.11	-78	0.09	85.7	110.2	723.60
1:30	7.10	-86	0.09	90.9	120.2	725.10
1:45	7.09	-86	0.09	87.3	-	-
2:00	7.09	-97	0.09	87.3	108.5	738.60
2:30	7.08	-107	0.09	-	-	-
3:00	7.06	-104	0.11	90.9	128.2	743.10
3:15	7.86	-70	0.47	69.1	91.4	744.60
3:30	8.04	-42	0.57	61.8	75.6	774.60
3:45	8.17	-2	1.36	54.5	66.1	785.20
4:00	8.07	14	2.43	50.9	74.1	769.20
4:30	-	33	2.35	-	-	-
5:00	8.02	52	2.30	58.2	76.3	701.10
6:00	8.02	66	3.25	58.2	78.1	661.00
7:00	8.24	82	4.14	58.2	77.4	662.40
8:00	8.29	85	4.98	65.5	62.6	661.00
9:00	8.29	92	4.96	54.5	75.1	653.50
10:00	8.31	113	5.03	54.5	72.6	656.00
11:00	8.32	109	5.25	54.5	72.6	653.50

ตารางที่ ๕-4 โพรไฟล์ของชุดการทดลอง 5.5/5.5-3

Time (hr.)	pH	ORP (mV)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	VFA (mg/l CaCO ₃)	ALK (mg/l CaCO ₃)
influent	7.16	-	-	8571.4	-	598.30
0:00	8.18	-146	0.14	337.9	106.9	900.9
0:15	7.65	-161	0.11	311.0	129.8	911.1
0:30	7.23	-175	0.11	414.7	137.4	906.0
0:45	7.03	-196	0.12	318.7	150.2	906.4
1:00	6.87	-229	0.22	257.3	155.2	911.4
1:15	6.90	-250	0.20	245.8	160.2	916.4
1:30	6.85	-264	0.20	222.7	155.2	913.9
1:45	6.84	-273	0.32	207.4	145.2	931.4
2:00	6.84	-277	0.21	199.7	135.2	936.4
3:00	6.89	-288	0.41	142.1	130.2	931.4
4:00	6.86	-296	0.51	126.7	112.7	931.4
5:30	6.85	-305	0.62	130.6	95.1	941.4
5:45	7.72	-164	2.80	122.9	110.2	926.4
6:00	7.99	-143	3.08	130.6	110.2	911.4
6:15	8.04	-140	3.10	134.4	92.6	896.3
6:30	8.14	-136	3.17	130.6	110.2	898.8
7:30	8.34	-30	4.46	134.4	117.7	898.8
8:30	8.42	-15	4.66	122.9	107.7	898.8
9:30	8.46	8	5.12	114.3	97.7	896.3
11:00	8.52	42	5.20	98.2	82.5	887.6

ตารางที่ ข-5 โพรไฟล์ของชุดการทดลอง 5.5/5.5-5

Time (hr.)	pH	ORP (mV)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	VFA (mg/l CaCO ₃)	ALK (mg/l CaCO ₃)
influent	7.35	-	-	8612.4	-	-
0:00	7.92	-62	0.11	306.2	91.62	883.12
0:15	7.72	-144	0.10	294.7	101.8	911.11
0:30	7.48	-155	0.04	363.64	106.89	941.65
0:45	7.22	-165	0.10	191.4	117.07	939.11
1:00	7.09	-176	0.11	107.18	117.07	928.93
1:15	7.05	-190	0.12	91.87	117.07	936.56
1:30	6.99	-203	0.13	91.87	117.07	926.38
1:45	6.97	-210	0.19	91.87	127.25	923.84
2:00	6.96	-216	0.14	95.69	119.62	918.75
2:30	-	-227	0.18	-	-	-
3:00	6.87	-235	0.22	99.52	109.44	916.20
4:00	6.84	-250	0.23	88.04	109.44	913.66
5:30	6.78	-264	0.46	80.4	111.98	911.11
5:45	7.64	-77	1.96	76.56	106.89	895.94
6:00	7.97	-61	1.60	107.18	96.71	880.57
6:15	8.07	-53	2.21	95.69	94.17	872.94
6:30	8.09	-41	2.38	88.04	94.17	857.67
7:00	8.18	13	2.66	-	-	-
7:30	8.19	22	3.00	84.21	91.62	870.39
8:30	8.27	36	4.01	88.04	86.53	865.3
9:30	8.32	49	4.20	84.21	89.08	860.21
11:00	8.39	58	5.68	88.04	81.44	857.67



ภาคผนวก ค

รีเลย์แลตเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

 ***** RUN Pom1 *****
 ***** SYSTEM Ana/Aer 12 Hr/cycle *****

0 M8002 [MOV K 0 C0]

***** time compare M0 - M140 *****

6 M8000 [CMP C0 K 5 M10]

14 M8000 [CMP C0 K 325 M20]

22 M8000 [CMP C0 K 330 M30]

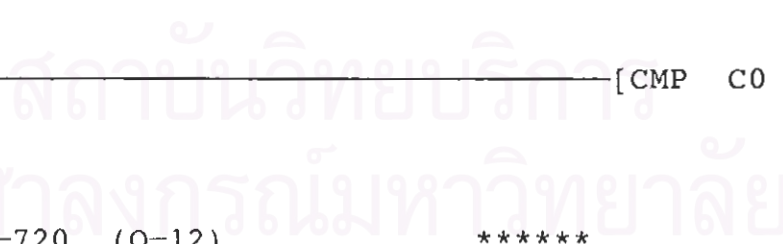
30 M8000 [CMP C0 K 660 M40]

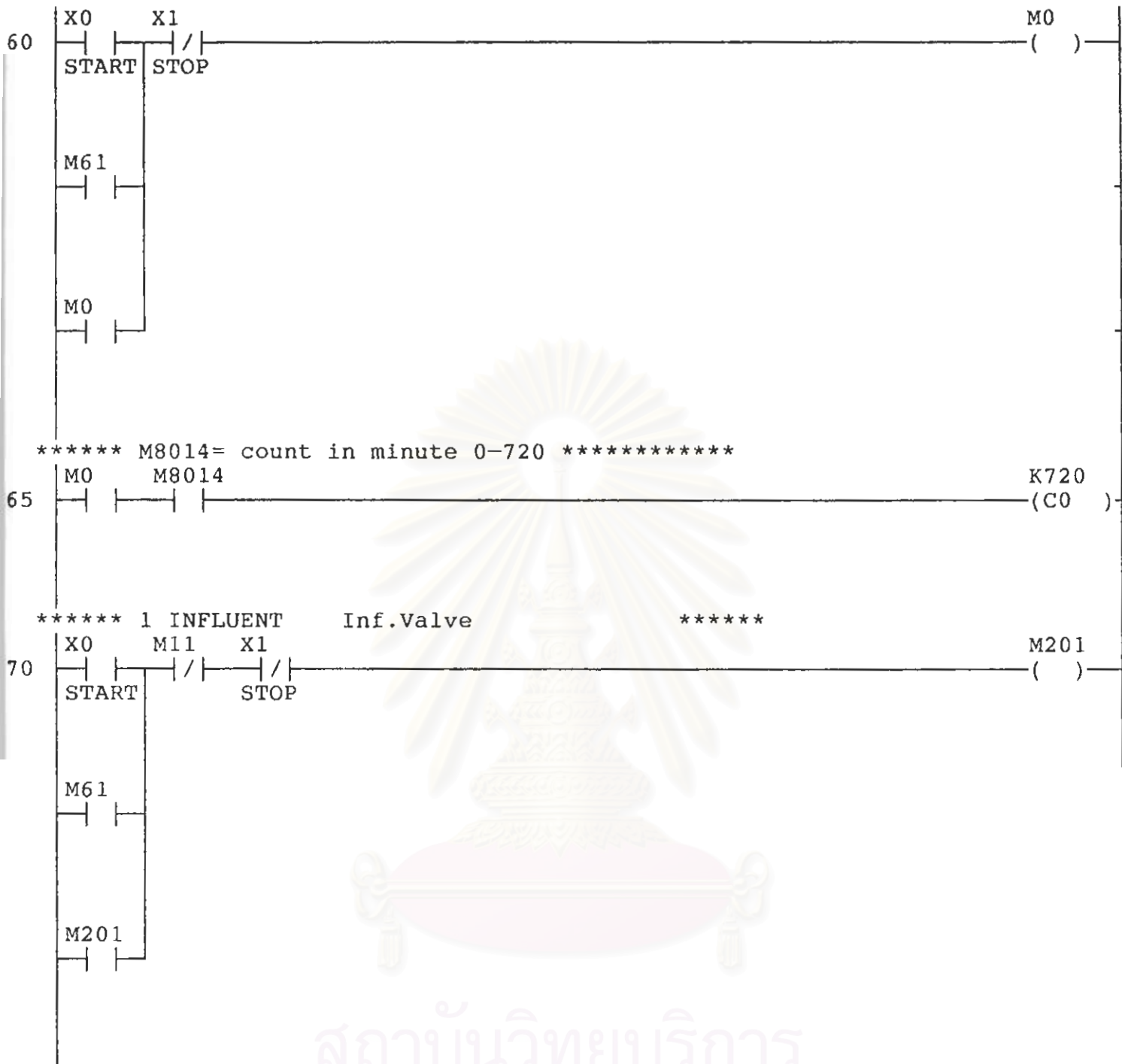
38 M8000 [CMP C0 K 710 M50]

46 M8000 [CMP C0 K 720 M60]

***** COUNTER 0-720 (0-12) *****
 ***** X0 = start X1 = stop *****

54 X1 [MOV K 0 C0]
 STOP





สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

***** 1 Anarobic + Aerobic Mixer *****



***** excess valve *****



***** 1 Aerobic Aerator *****



***** 1 SEDIMENT *****

***** 1 Effluent Eff.V. *****



สถาบันวิทยบริการ
 วิทยาลัย
 วิศวกรรมมหา

***** Mixer On

97 M202 Y0
 ()
 MIXER

***** Influent Valve On

99 M201 Y1
 ()
 INF.V

***** Excess Valve On*****

01 M203 Y2
 ()
 EXX.V

***** Effluent Valve On*****

03 M205 Y3
 ()
 EFF.V

***** Aerator On*****

05 M204 Y5
 ()
 1M204 AIR2

07 M61 [RST C0]

10 [END]

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนิษทร์ ปัญญาภิญโญผล เกิดเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จ
การศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้เข้าศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตที่สถาบันเดิม
ในปี 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย