

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

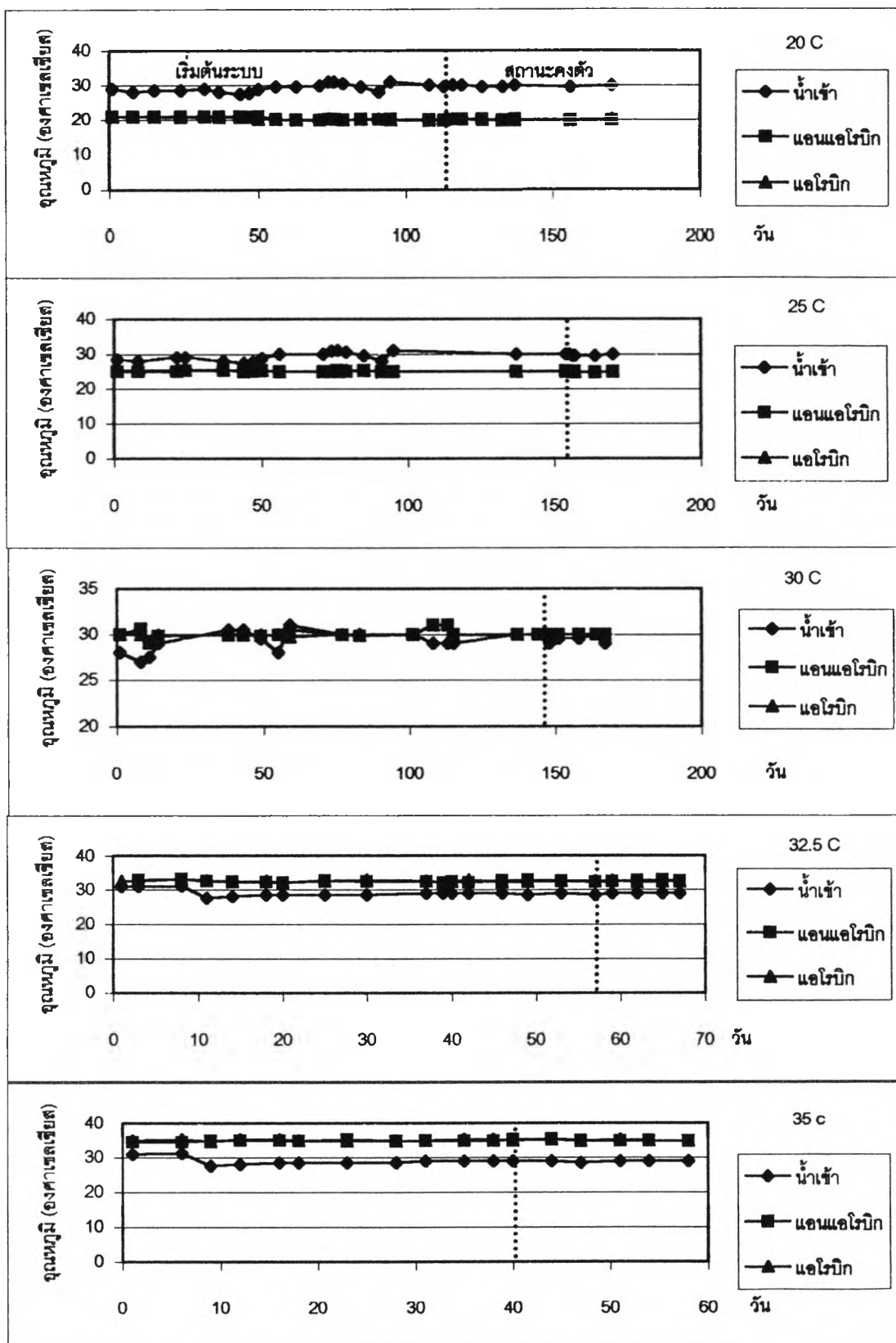
งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการทดลองสองส่วนหลัก ส่วนแรกได้แก่การทดลองที่อุณหภูมิคงที่ที่ 20, 25, 30, 32.5 และ 35 °ซ. ผู้วิจัยได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มเดินระบบ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะคงตัว โดยในขณะที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างน้อย 5 วันเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของระบบในแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นจึงทำการเก็บผลตามเวลา (profile) และทำการทดลองแบบเบตซ์เพื่อหาอัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ ผลการทดลองในส่วนแรกได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 4.1 ส่วนที่สองได้แก่การทดลองเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ ซึ่งทำการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองส่วนแรก โดยทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 4.2

4.1 ผลการทดลองที่อุณหภูมิคงที่และการวิเคราะห์ผล

การทดลองชุดที่ 1-5 ตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะคงตัว แสดงผลจำแนกตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1 – 4.13 โดยผลการทดลองที่สถานะคงตัวของแต่ละชุดการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 – 4.5 ส่วนผลการทดลองที่สถานะคงตัวและผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เทียบกับเวลาเปรียบเทียบกับทั้ง 5 ชุดการทดลอง ได้นำเสนอโดยจำแนกออกเป็นแต่ละพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

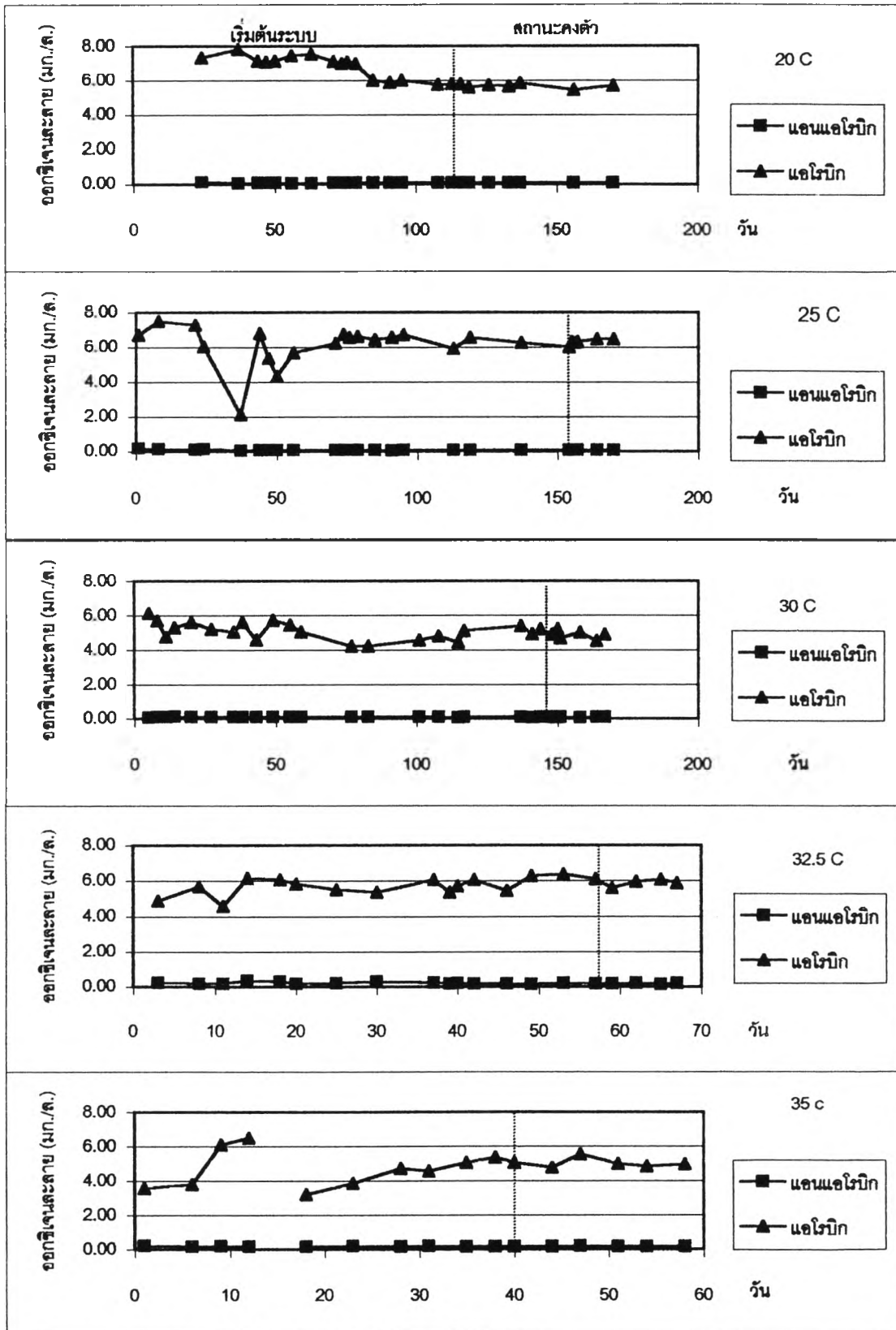
4.1.1 อุณหภูมิ

การทดลองชุดที่ 1 – 5 ทำที่อุณหภูมิคงที่ที่ 20, 25, 30, 32.5 และ 35 °ซ. ตามลำดับ ถึงปฏิกรณ์ที่ใช้สามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้ เนื่องจากมีอุปกรณ์ทำความร้อน (ทำงานในกรณีที่อุณหภูมิของระบบต่ำกว่าค่าที่กำหนด) และอุปกรณ์ทำความเย็น (ทำงานในกรณีที่อุณหภูมิของระบบสูงกว่าค่าที่กำหนด) ติดตั้งไว้ในถังปฏิกรณ์เดียวกันซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองจะทำงานโดยอัตโนมัติในทันทีที่อุณหภูมิของระบบแตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.5 °ซ. นอกจากนี้ยังมีวงจรการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองเพื่อให้อุณหภูมิของระบบคงที่



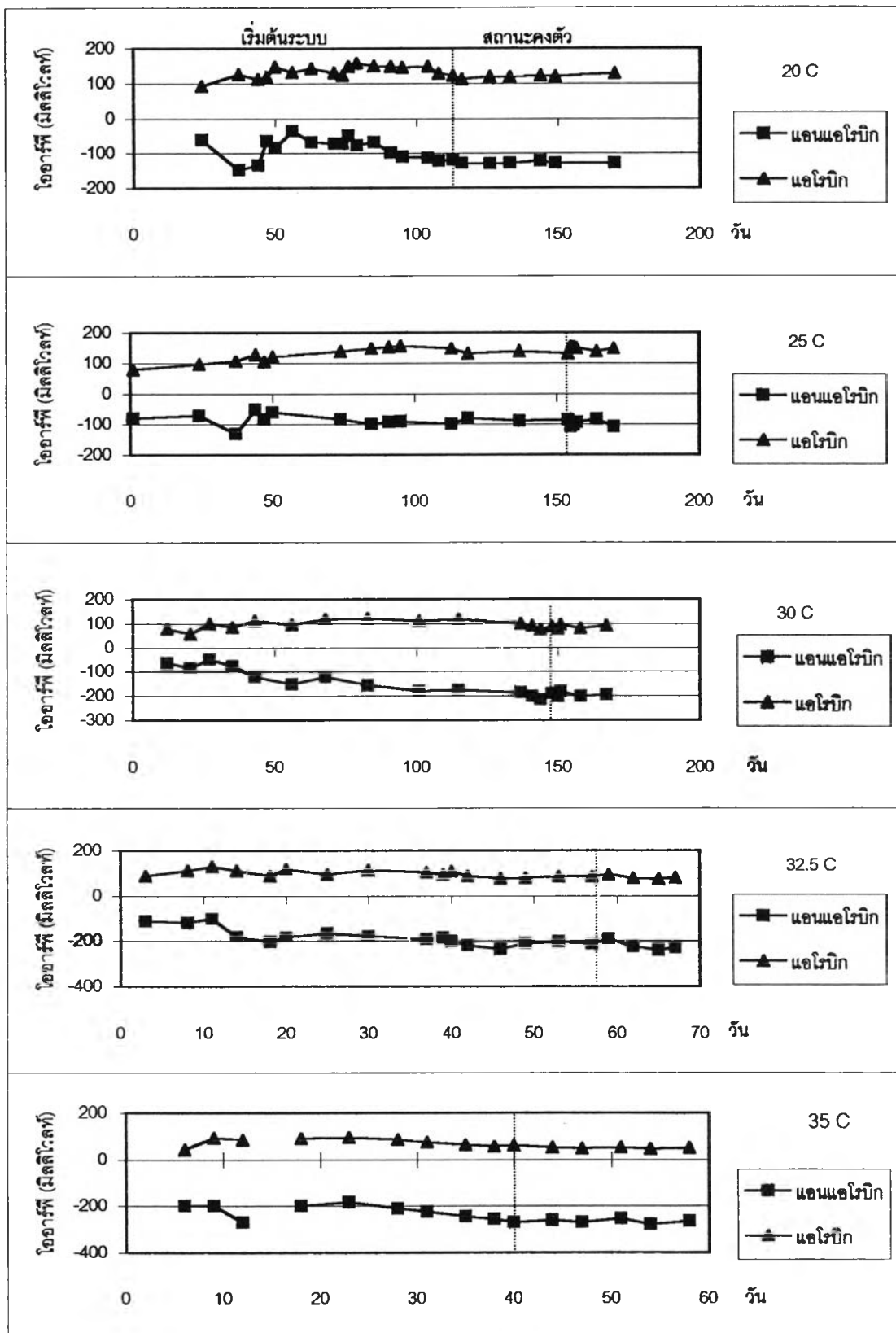
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



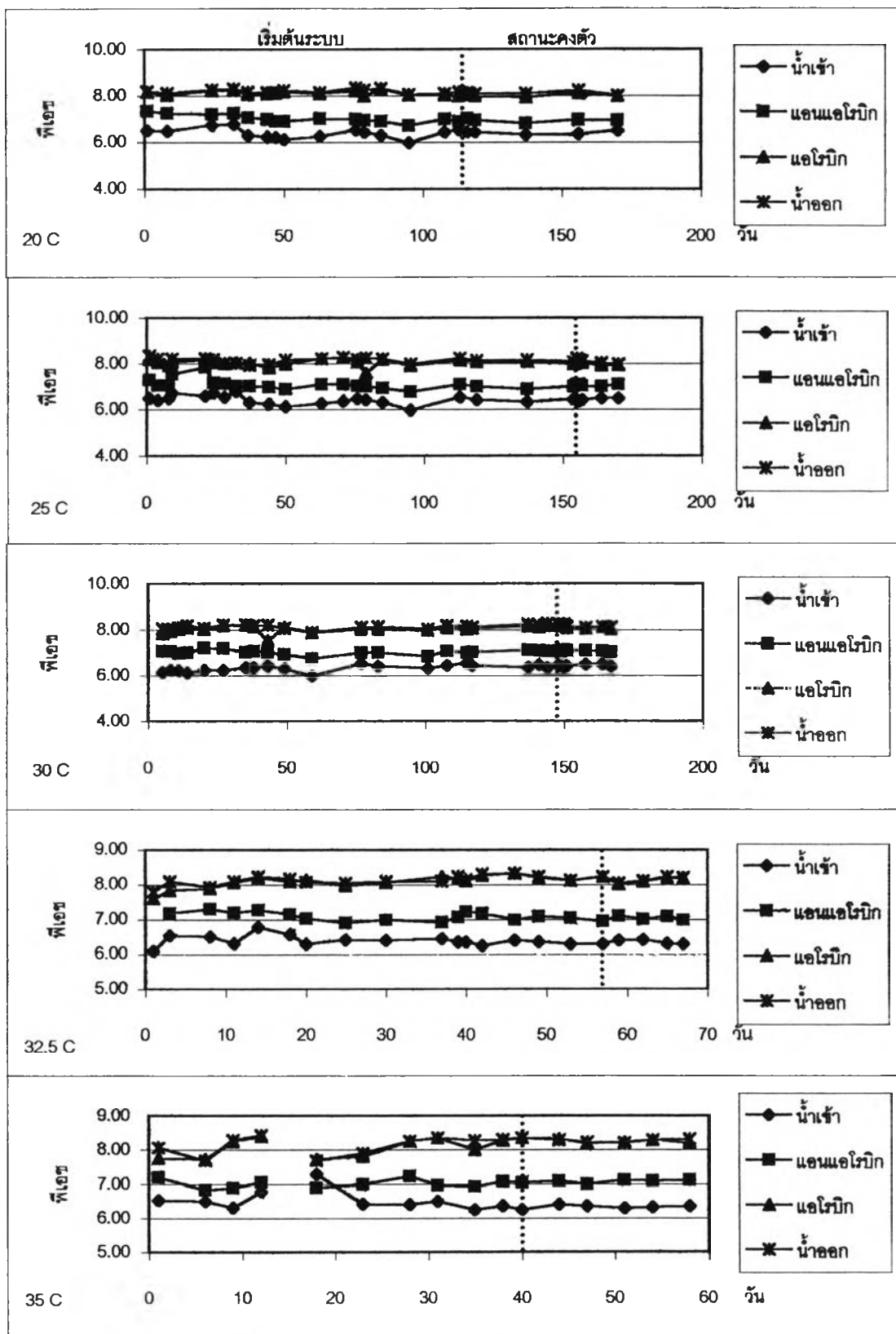
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



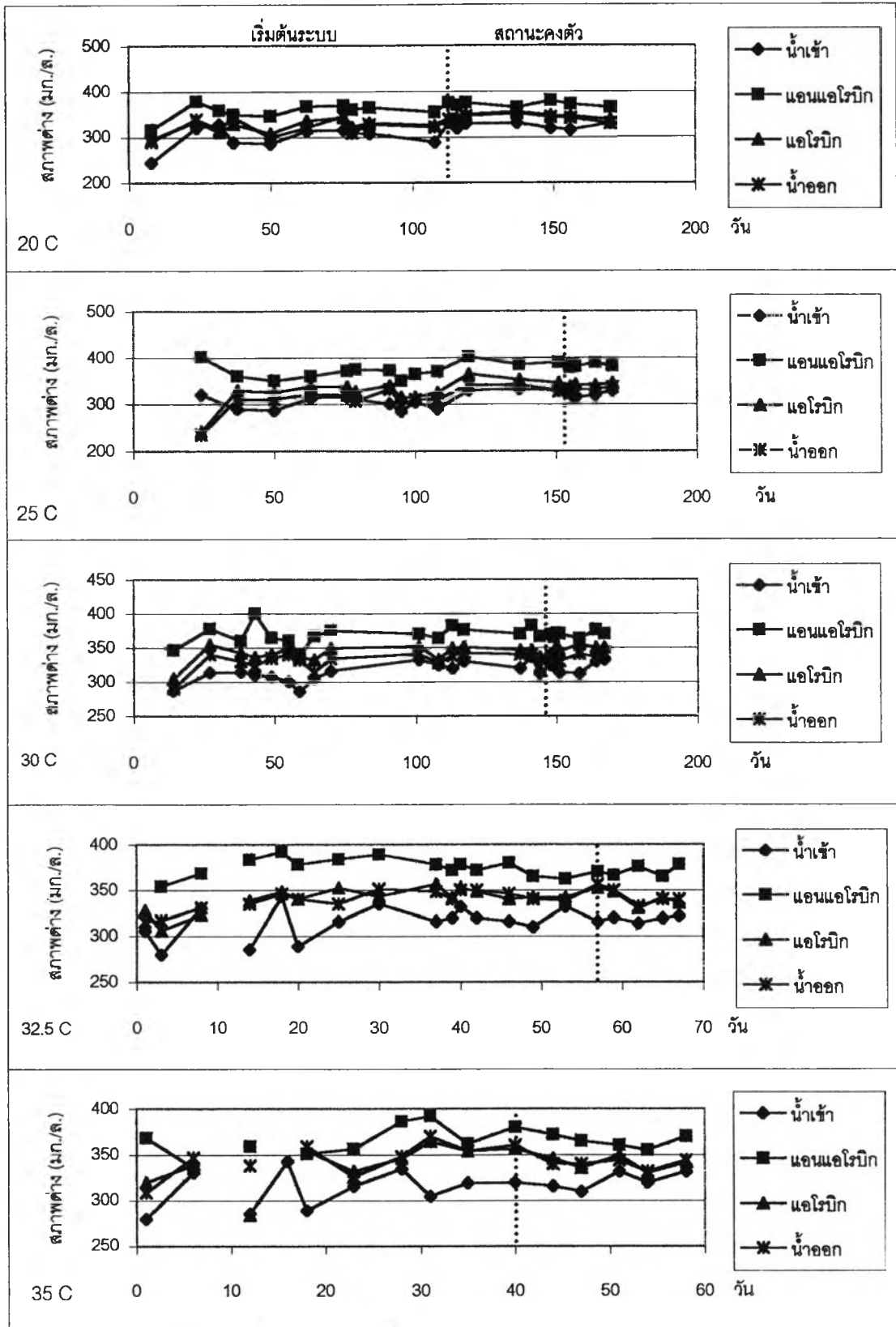
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.3 ค่าไออาร์พีของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



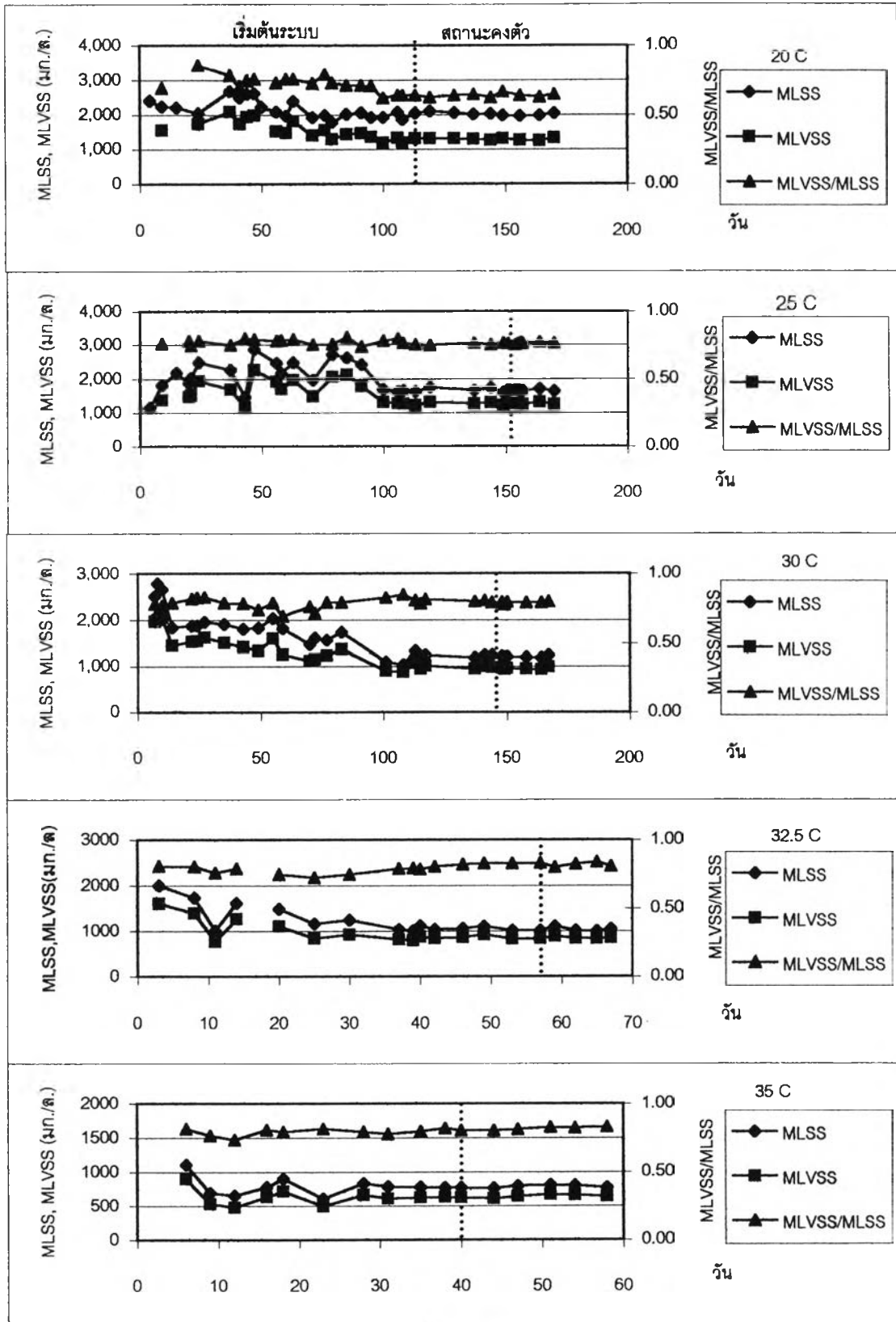
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.4 ค่าพีเอชของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



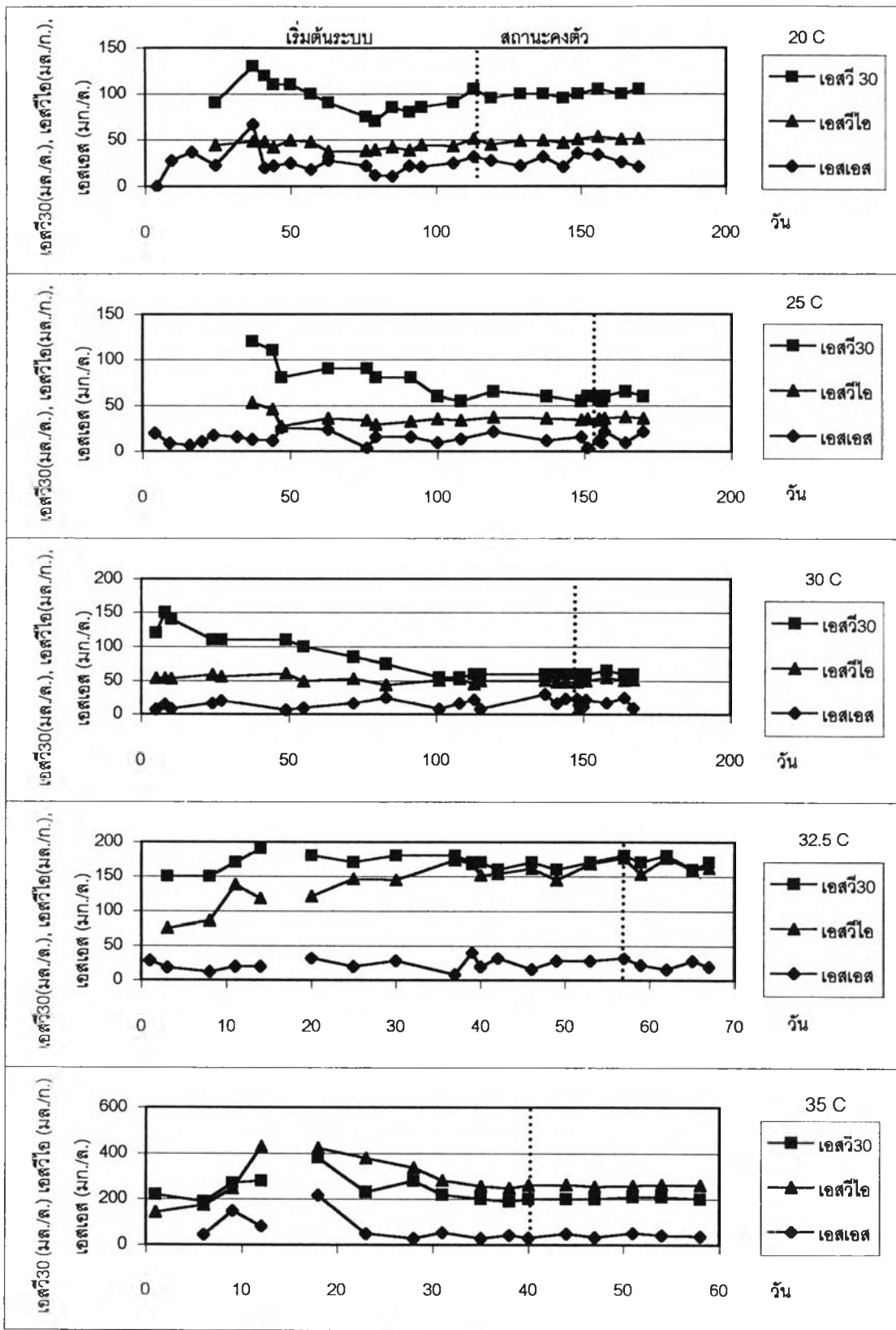
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.5 ค่าสภาพต่างของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



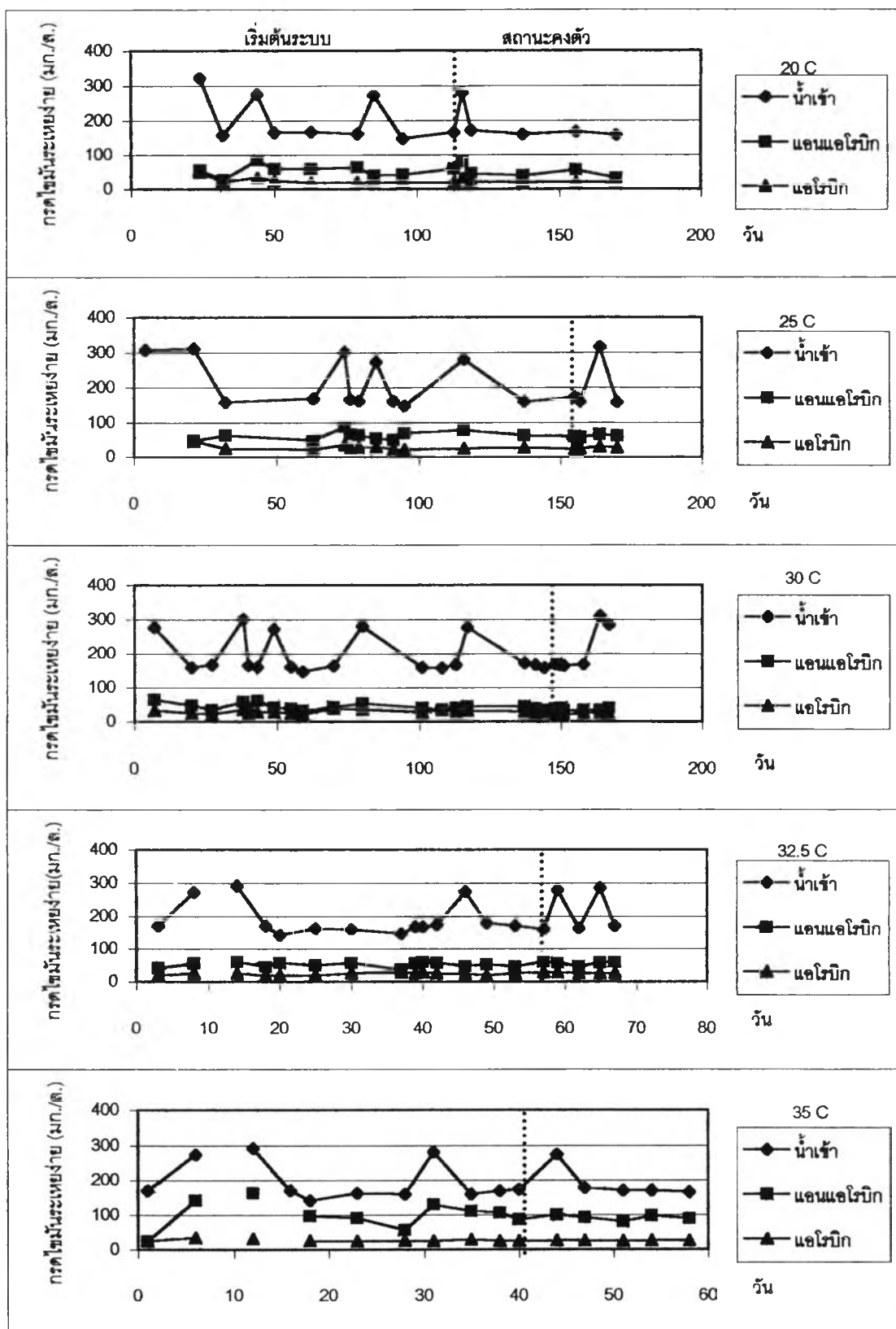
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.6 ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



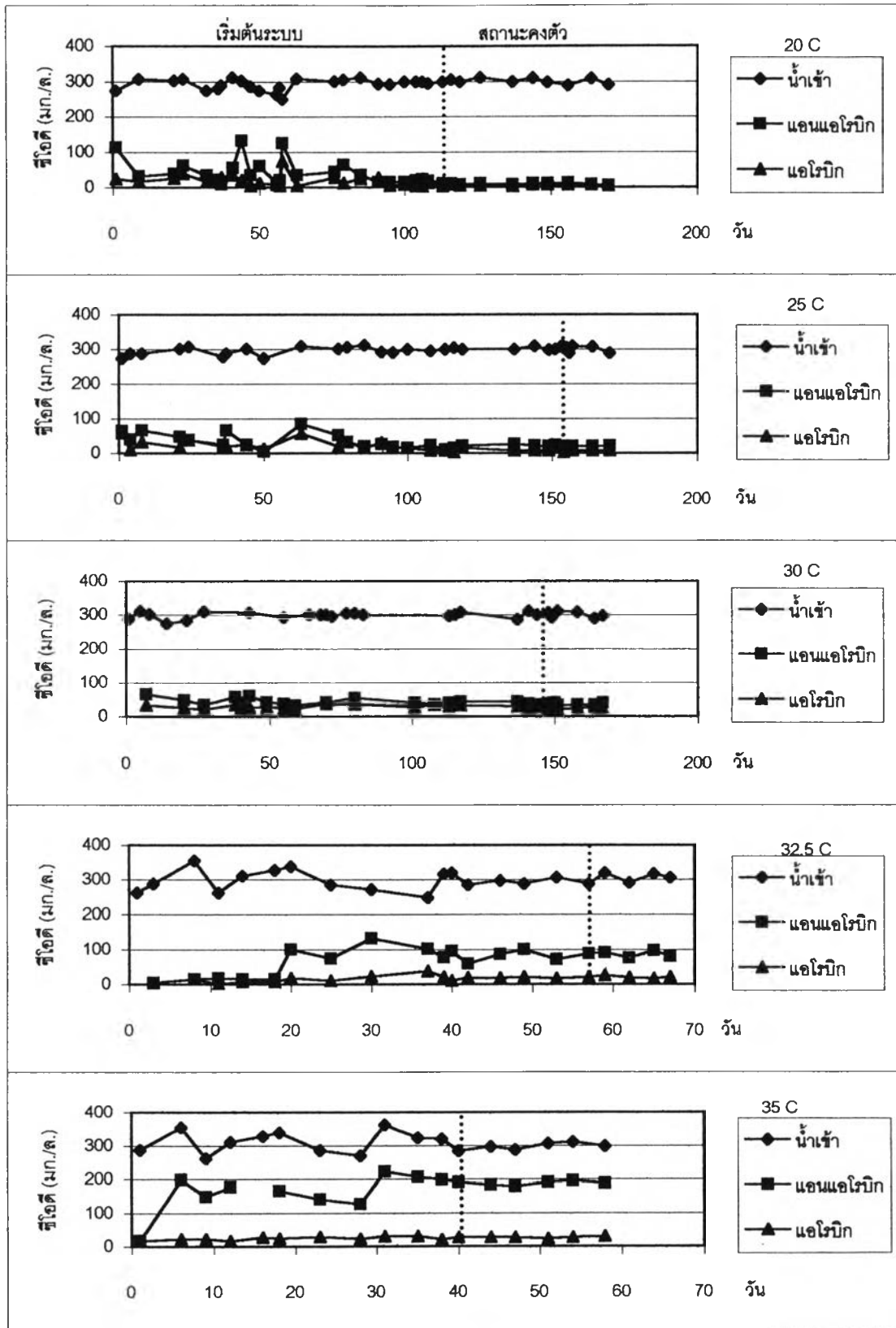
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.7 ค่าของแข็งแขวนลอย เอสวี30 และเอสวีไอของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



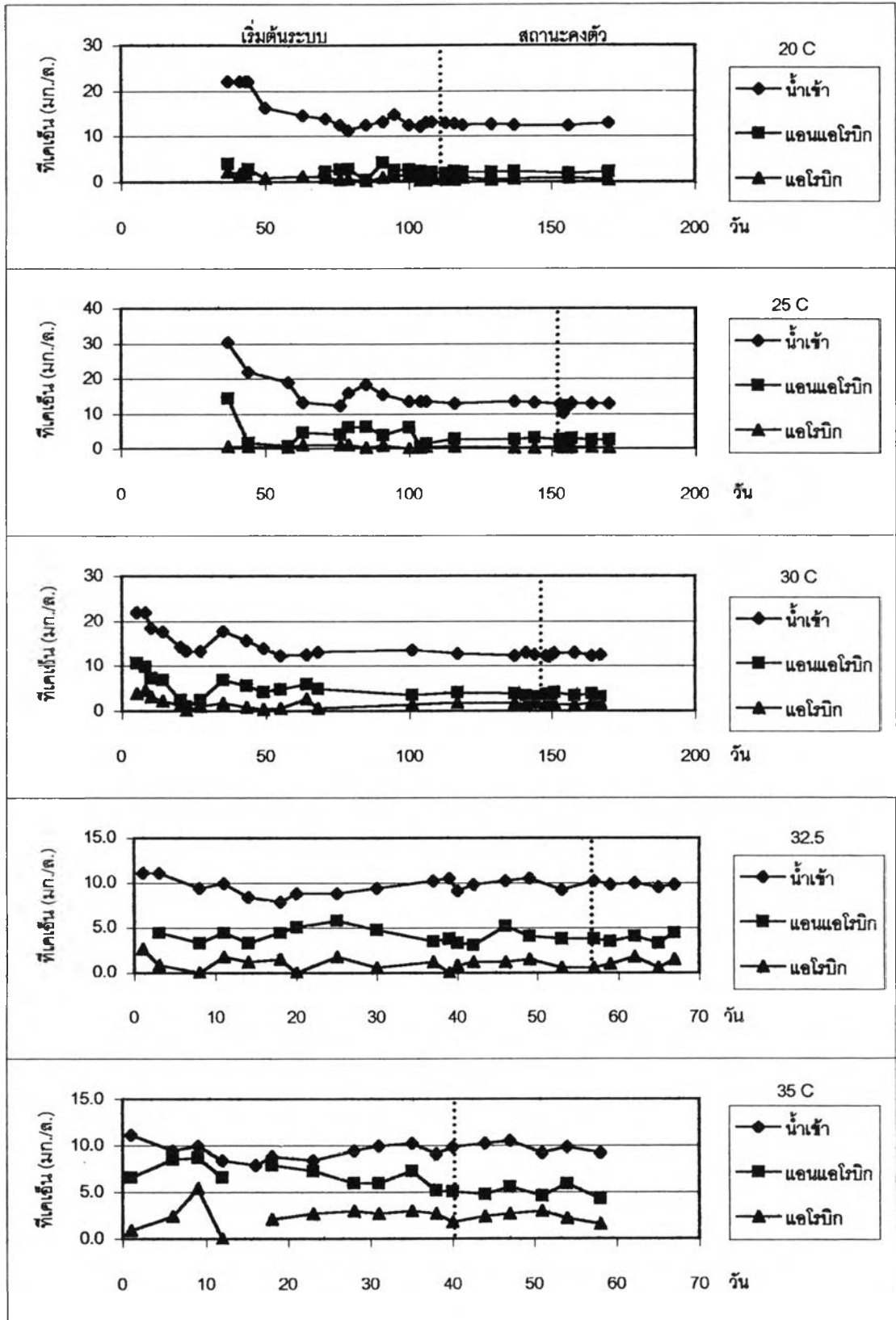
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.8 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายของระบบช่วงเริ่มต้นและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



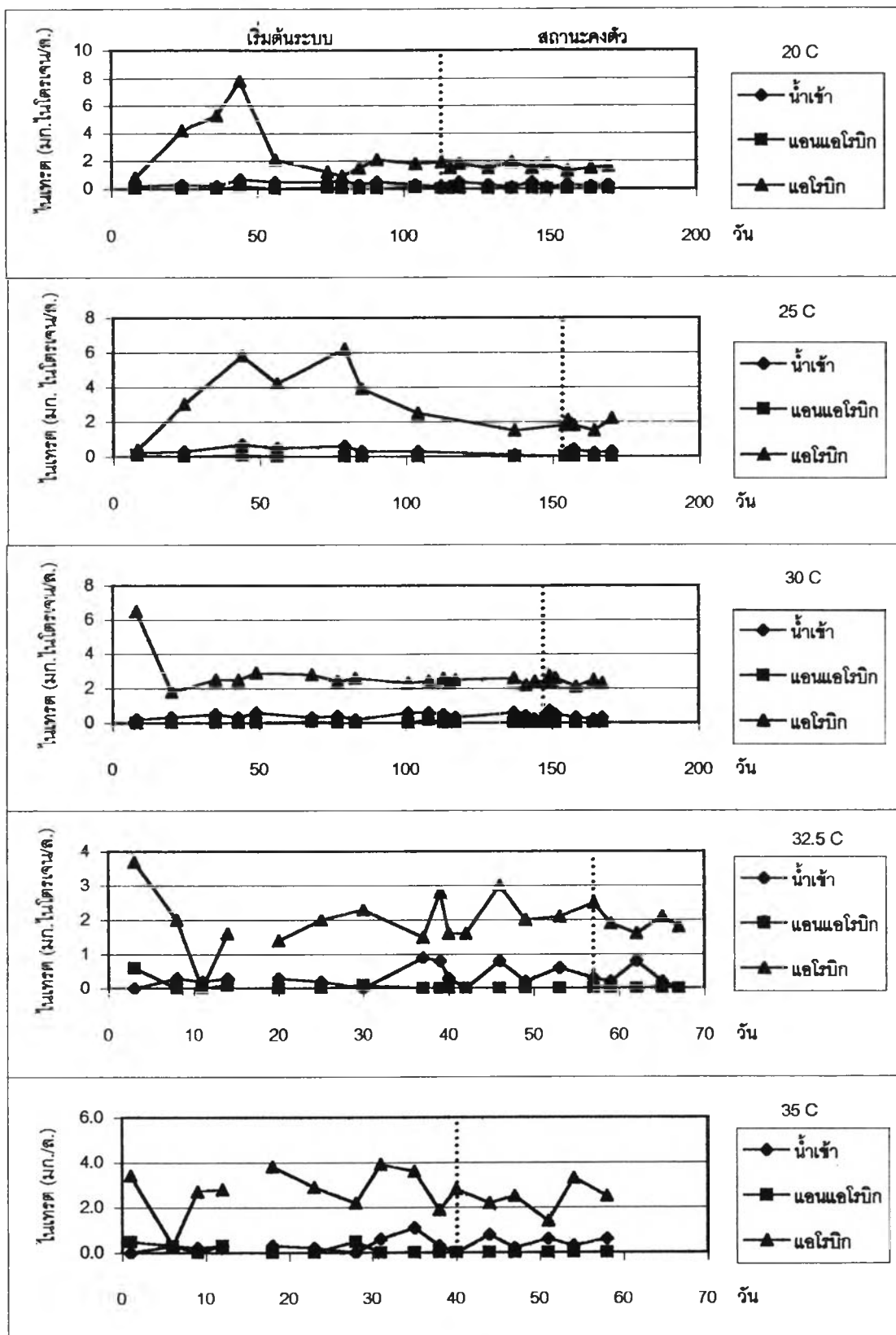
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.9 ค่าซีโอดีของระบบช่วงเริ่มต้นระบบและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



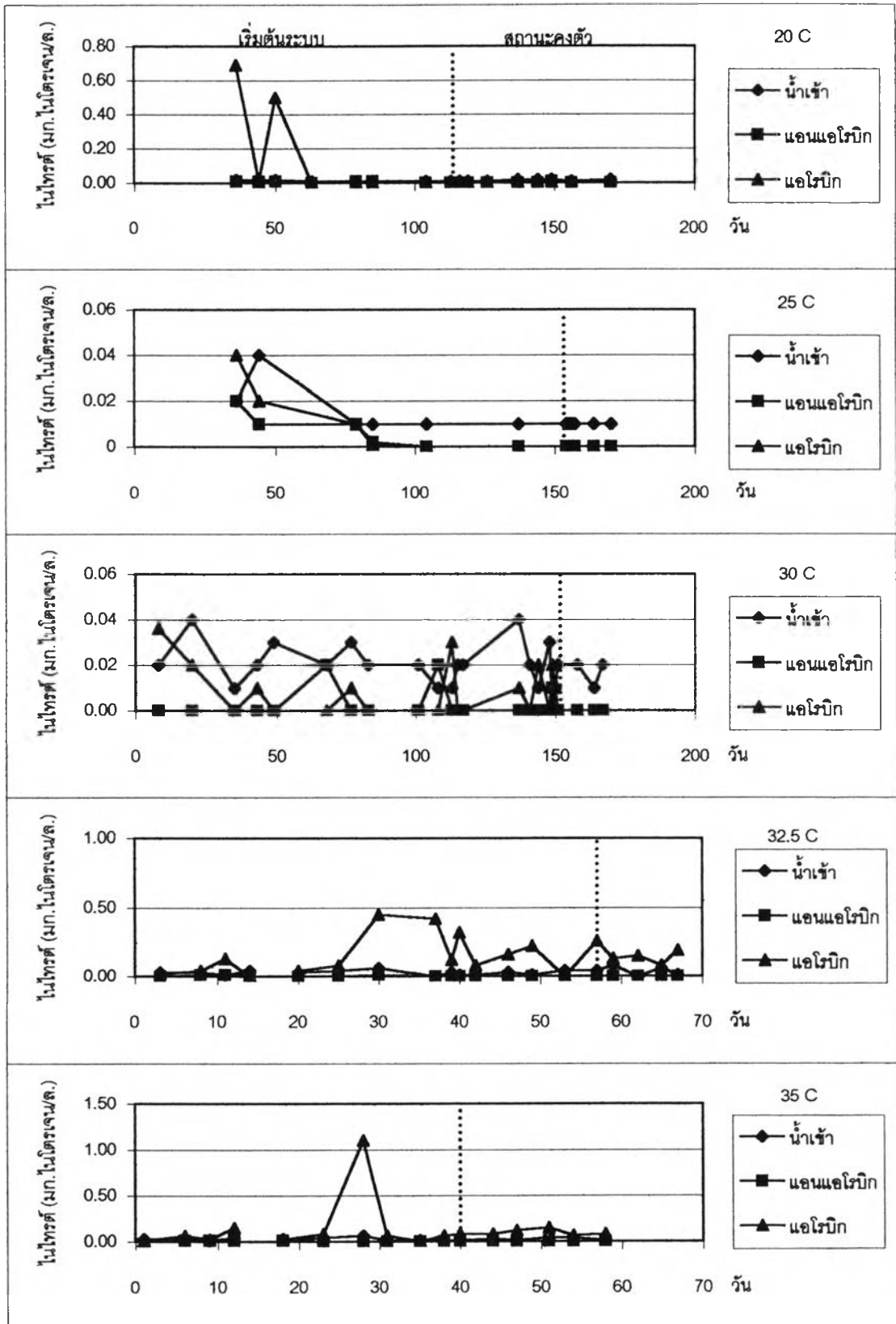
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.10 ค่าที่เคเอ็นของระบบช่วงเริ่มต้นระบบและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



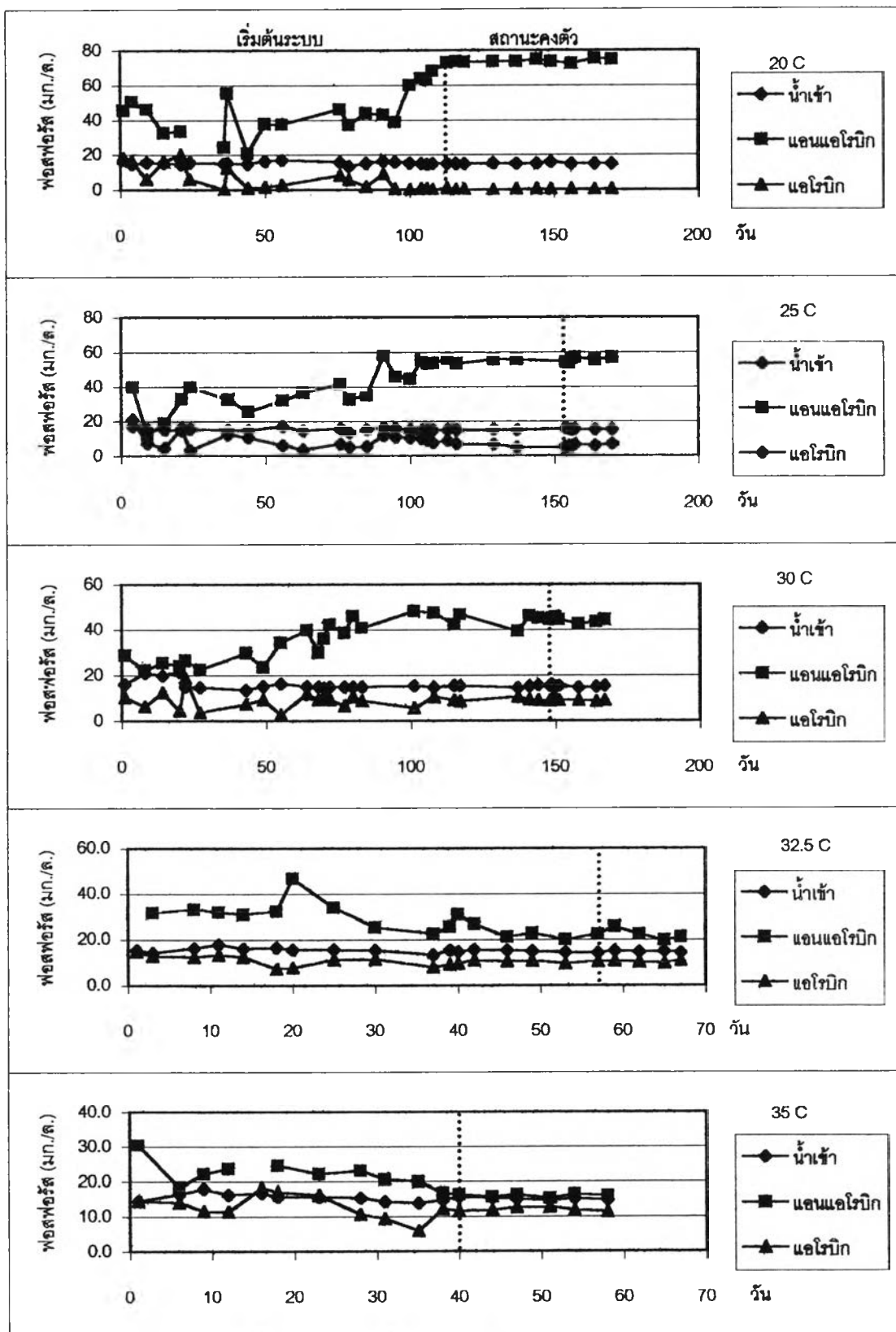
หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.11 ค่าไนเตรดของระบบช่วงเริ่มต้นระบบและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.12 ค่าไนโตรต์ของระบบช่วงเริ่มต้นระบบและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



หมายเหตุ เส้นประแนวตั้งแสดงถึงวันที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว

รูปที่ 4.13 ค่าฟอสฟอรัสของระบบช่วงเริ่มต้นระบบและช่วงสถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1 (20^oซ.)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ	°ซ.	30	20	20	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	-	0.08	5.70	3.05
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-	-126	121	-
พีเอช	-	6.43	6.93	7.99	8.10
สภาพต่างกรอง	มก.หินปูน / ล.	321*	370	344	340
เอ็มแอลเอสเอส	มก./ล.	-	-	2,003	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	มก./ล.	-	-	1,281	-
สัดส่วน f	-	-	-	0.64	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	-	-	-	28
เอสวี 30	มล./ล.	-	-	101	-
เอสวีไอ	มล./ก.	-	-	50	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธี GC)	มก./ล.	216*	0	0	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธีโทเทรต)	มก./ล.	184*	52	22	-
ซีไอดีกรอง	มก./ล.	301*	9	6	-
ทีเคเอ็นกรอง	มก./ล.	12.7*	2.1	0.6	-
ไนเตรตกรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.3*	0	1.6	-
ไนไตรต์กรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.01*	0	0	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	15.1	-	192	-
ฟอสฟอรัสละลาย	มก./ล.	-	73.3	0.4	-
สัดส่วนฟอสฟอรัส ในเซลล์	%	-	-	14.8	-
ค่าอายุสลัดจ์	วัน	9.9			

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยไมโครกรองตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 2 (25^oซ.)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ	°ซ.	30	25	25	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	-	0.09	6.35	2.55
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-	-101	148	-
พีเอช	-	6.44	7.06	8.02	8.09
สภาพต่างกรอง	มก.หินปูน / ล.	321*	384	340	331
เอ็มแอลเอสเอส	มก./ล.	-	-	1,658	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	มก./ล.	-	-	1,266	-
สัดส่วน f	-	-	-	0.76	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	-	-	-	15
เอสวี 30	มล./ล.	-	-	60	-
เอสวีไอ	มล./ก.	-	-	36	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธี GC)	มก./ล.	210*	0	0	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธีไทเทรต)	มก./ล.	195*	58	25	-
ซีไอดีกรอง	มก./ล.	300*	20	8	-
ทีเคเอ็นกรอง	มก./ล.	12.8*	2.7	0.4	-
ไนเตรตกรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.3*	0	1.9	-
ไนไตรต์กรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.01*	0	0	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	15.2	-	137	-
ฟอสฟอรัสละลาย	มก./ล.	-	55.8	6.4	-
สัดส่วนฟอสฟอรัส ในเซลล์	%	-	-	10.4	-
ค่าอายุสัลดจ์	วัน	10.6			

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยไมกรองตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 3 (30°C.)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ	°ซ.	30	30	30	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	-	0.08	4.88	2.10
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-	-195	86	-
พีเอช	-	6.44	7.07	8.12	8.16
สภาพด่างกรอง	มก.นินปุน / ล.	322*	369	348	337
เอ็มแอลเอสเอส	มก./ล.	-	-	1,210	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	มก./ล.	-	-	957	-
สัดส่วน f	-	-	-	0.79	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	-	-	-	17
เอสวี 30	มล./ล.	-	-	61	-
เอสวีไอ	มล./ก.	-	-	50	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธี GC)	มก./ล.	206*	0	0	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธีไทเทรต)	มก./ล.	205*	36	24	-
ซีโอดีกรอง	มก./ล.	301*	9	4	-
ทีเคเอ็นกรอง	มก./ล.	12.5*	3.6	1.6	-
ไนเตรตกรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.4*	0	2.4	-
ไนไตรต์กรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.02*	0	0	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	15.2	-	88	-
ฟอสฟอรัสละลาย	มก./ล.	-	44.2	9.1	-
สัดส่วนฟอสฟอรัส ในเซลล์	%	-	-	8.2	-
ค่าอายุสัปดาห์	วัน	9.9			

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยไมโครงดัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานีบังคับตัวของชุดการทดลองที่ 4 (32.5^oซ.)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ	°ซ.	28.9	32.5	32.4	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	-	0.19	5.99	1.98
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-	-220	83	-
พีเอช	-	6.34	7.03	8.13	8.15
สภาพต่างกรอง	มก.หินปูน / ล.	321*	370	342	343
เอ็มแอลเอสเอส	มก./ล.	-	-	1,040	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	มก./ล.	-	-	853	-
สัดส่วน f	-	-	-	0.82	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	-	-	-	24
เอสวี 30	มล./ล.	-	-	172	-
เอสวีไอ	มล./ก.	-	-	166	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธีไทเทรต)	มก./ล.	211*	56	27	-
ซีไอดีกรอง	มก./ล.	304*	87	21	-
ทีเคเอ็นกรอง	มก./ล.	9.9*	3.8	1.1	-
ไนเตรดกรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.3*	0	2.0	-
ไนไตรต์กรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.04*	0	0.14	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	14.8	-	63.4	-
ฟอสฟอรัสละลาย	มก./ล.	-	22.3	10.6	-
สัดส่วนฟอสฟอรัส ในเซลล์	%	-	-	6.2	-
ค่าอายุสัติจ์	วัน	9.9			

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยไม่กรองตัวอย่างน้ำ

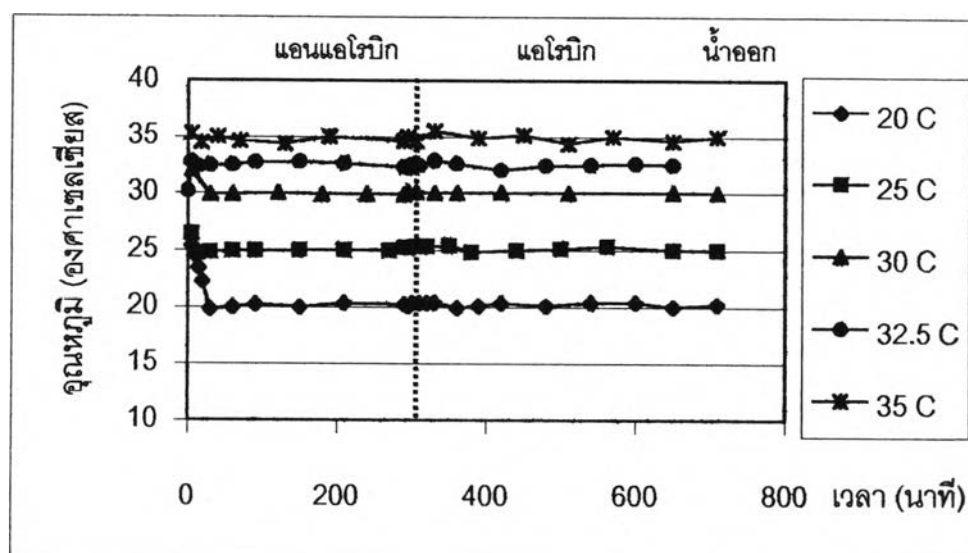
ตารางที่ 4.5 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 5 (35^oซ.)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ	°ซ.	29	35	35	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	-	0.16	5.02	2.20
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-	-266	51	-
พีเอช	-	6.33	7.07	8.26	8.28
สภาพต่างกรอง	มก.หินปูน / ล.	322*	367	343	343
เอ็มแอลเอสเอส	มก./ล.	-	-	783	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	มก./ล.	-	-	640	-
สัดส่วน f	-	-	-	0.82	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	-	-	-	40
เอสวี 30	มล./ล.	-	-	203	-
เอสวีไอ	มล./ก.	-	-	260	-
กรดไขมันระเหยง่าย (วิธีไทเทรต)	มก./ล.	189*	90	25	-
ซีไอดีกรอง	มก./ล.	297*	187	26	-
ทีเคเอ็นกรอง	มก./ล.	9.8*	5.1	2.3	-
ไนเตรดกรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.4*	0	2.5	-
ไนไตรต์กรอง	มก.ไนโตรเจน/ล.	0.02*	0	0.09	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	15.1	-	34.0	-
ฟอสฟอรัสละลาย	มก./ล.	-	15.9	12.0	-
สัดส่วนฟอสฟอรัส ในเซลล์	%	-	-	3.4	-
ค่าอายุสลัดจ์	วัน	9.3			

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยไม่กรองตัวอย่างน้ำ

น้ำเสียสังเคราะห์มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 29.0 – 30.0 °ซ. และเมื่อเติมเข้าระบบแล้ว อุณหภูมิของระบบจะปรับเข้าสู่ค่าที่กำหนดภายใน 15 นาที และคงที่ที่อุณหภูมิดังกล่าวตลอด วัฏจักรดังแสดงในรูปที่ 4.14 ก่อนเริ่มทำการทดลองผู้วิจัยได้ปรับค่าความคลาดเคลื่อนของ เทอร์โมมิเตอร์ที่บรรจุอยู่ภายในถังควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ โดยปรับให้ตรงกับค่าที่อ่านได้จาก เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะซึ่งใช้วัดอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนั้นจึงสามารถอ่านอุณหภูมิ ของระบบจากหน้าจอแสดงผลของถังปฏิกรณ์ได้โดยตรง และในระหว่างการทดลองได้ตรวจสอบ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะวัดอุณหภูมิในถังเป็นระยะ ๆ พบว่าอ่านค่าได้ตรงกับหน้าจอ แผลงผลของถังปฏิกรณ์ ส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีฝาปิดโดยเจาะรูที่ฝาเพื่อใส่ท่อน้ำเข้าและแกนใบ พัดกวนเท่านั้นเป็นการรักษาอุณหภูมิภายในถังให้เท่ากับค่าที่ตั้งไว้ และเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ ทำความร้อนหรืออุปกรณ์ทำความเย็นทำงานบ่อยครั้งเกินไป ภายในถังปฏิกรณ์มีใบพัดกวนทำ หน้าที่กวนผสมน้ำในถังตลอดทั้งสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก อีกทั้งในสภาวะแอโรบิกมีหัว กระจายอากาศที่ต่อเข้ากับเครื่องเติมอากาศ ทำให้น้ำในถังปฏิกรณ์ผสมกันอย่างทั่วถึง ดังนั้น อุณหภูมิที่อ่านได้จึงถือได้ว่าเป็นอุณหภูมิของระบบอย่างแท้จริง

การวัดค่าอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นระบบทำที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิก อุณหภูมิ เฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 1-5 ที่สถานะคงตัว แสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวจึง ทำการวัดผลตามเวลา



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (^o ซ)	อุณหภูมิ (^o ซ.)		จำนวนข้อมูล
		แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	20.0	20.0	8
2	25	25.0	25.0	5
3	30	30.0	29.9	7
4	32.5	32.5	32.4	5
5	35	35.0	35.0	6

4.1.2 ออกซิเจนละลายน้ำ

ค่าออกซิเจนละลายน้ำสามารถบ่งชี้สภาวะของระบบได้ว่าอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิก หรือ แอโรบิก ในการทดลองนี้เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบในตอนเริ่มต้นวัฏจักรชุดเครื่องกวนจะ เริ่มทำงานโดยกวนผสมให้จุลชีพในถังปฏิกรณ์สัมผัสกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าไปอย่างทั่วถึง ค่าออกซิเจนละลายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าต่ำกว่า 0.2 มก./ล. ภายในเวลา 15 นาที ซึ่งถือว่าระบบเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิก (หมายเหตุ : ในเทรตตอนเริ่มต้นวัฏจักรมีค่าน้อยมากเนื่องจากผู้วิจัยได้ควบคุมปริมาณไนโตรเจนที่เติมให้เกินความต้องการของเซลล์เพียงเล็กน้อย เพื่อป้องกันมิให้ในเทรตรบกวนการทำงานของระบบ ดูหัวข้อในเทรตประกอบ) จากการทดลองพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกเมื่อระบบอยู่ในสถานะคงตัว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-0.19 มก./ล. (หมายเหตุ : สภาวะแอนแอโรบิกควรพิจารณาจากค่าไออาร์พี เนื่องจากความละเอียดของเครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้มีไม่พอในช่วงค่าต่ำเช่นนี้) ส่วนที่ปลายสภาวะแอโรบิกพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 4.9-6.4 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.7

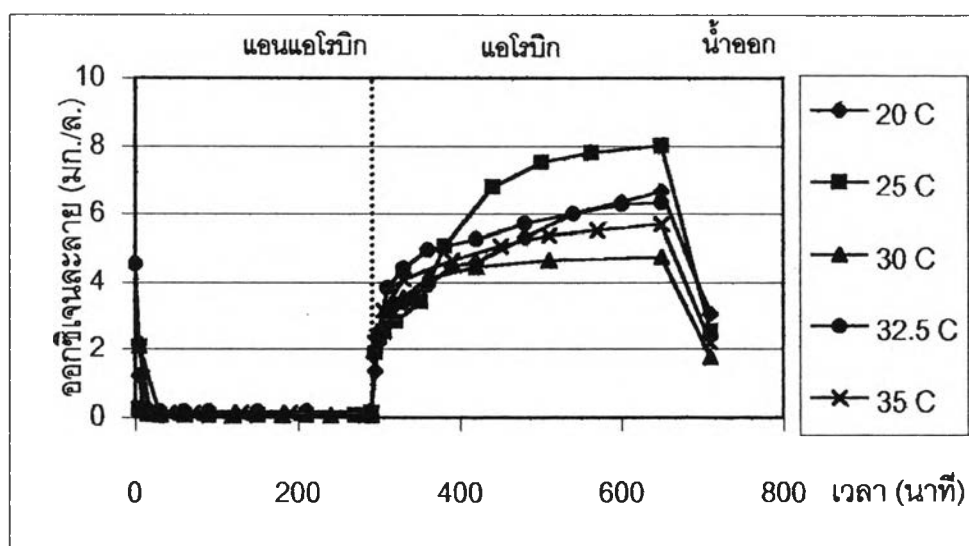
ตารางที่ 4.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (^o ซ)	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)		จำนวนข้อมูล
		แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	0.08	5.70	8
2	25	0.09	6.35	5
3	30	0.08	4.88	7
4	32.5	0.19	5.99	5
5	35	0.16	5.02	6

ในสภาวะแอโรบิกเมื่อเครื่องเติมอากาศเริ่มทำงานพบว่าในช่วงแรกค่าออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าสูงกว่า 2.0 มก./ล. ภายในเวลา 10 นาที เนื่องจากใช้เครื่องเติมอากาศ 2 ตัว จนกระทั่งผ่านไป 45 นาที เครื่องเติมอากาศจึงหยุดทำงาน 1 ตัว ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำตอนช่วงปลายสภาวะแอโรบิกมีค่าสูงเกินไป ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ปลายสภาวะแอโรบิกของชุดการทดลองที่ 2 (25°C.) มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นทั้งนี้อาจเนื่องจากการควบคุมปริมาณอากาศที่เติมในแต่ละชุดการทดลองไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำนัก จากผลการทดลองแม้ว่าที่ปลายสภาวะแอโรบิกค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าค่อนข้างสูง แต่ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิกของวัฏจักรต่อไปเท่าใดนัก เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำออกมีค่าอยู่ในช่วง 1.9-3.0 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมากนัก ค่าออกซิเจนละลายน้ำเทียบตามเวลาที่สถานะคงตัวของแต่ละชุดการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.15

4.1.3 โออาร์พี

ค่าโออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ประเมินสภาวะของระบบได้อย่างคร่าว ๆ ว่าระบบอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิกหรือแอโรบิก ตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิก โออาร์พีมีค่าอยู่ในช่วง -101 ถึง -266 มิลลิโวลท์ ซึ่งแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิกอย่างแท้จริง ส่วนที่ปลายสภาวะแอโรบิกค่าโออาร์พีที่วัดได้มีค่า 51 ถึง 121 มิลลิโวลท์

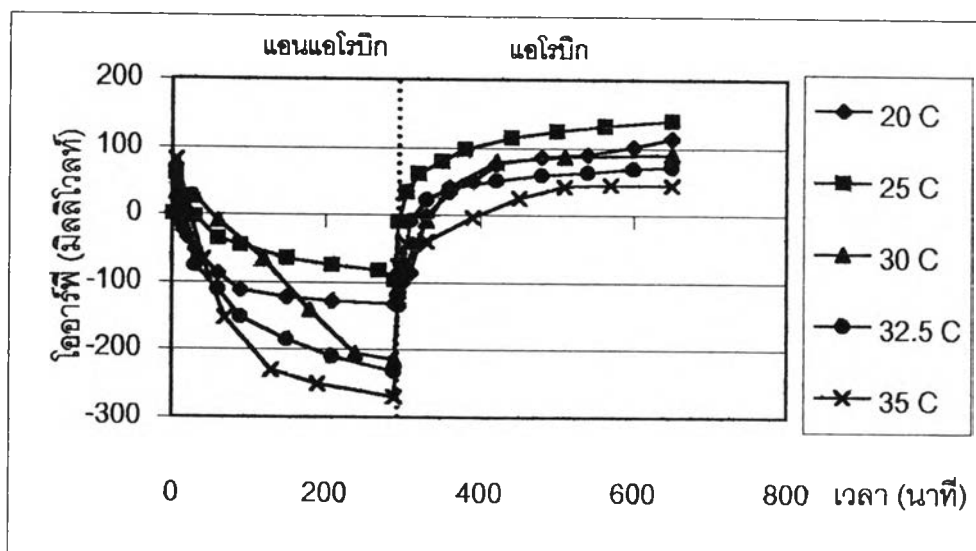


รูปที่ 4.15 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

เมื่อพิจารณาค่าไออาร์พีเทียบกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อเริ่มต้นวัฏจักรไออาร์พีมีค่าเป็นบวกเล็กน้อยเนื่องจากในระบบยังมีออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนอยู่ทั้งในรูปของออกซิเจนละลายน้ำและในเทรต จนเมื่อออกซิเจนหมดระบบจึงเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิกอย่างแท้จริง(เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ไม่สามารถอ่านค่าที่ 0 มก./ล.ได้) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะแอนโรบิกไออาร์พีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งนี้เนื่องจากการเติมอากาศอย่างเพียงพอ แต่เนื่องจากในแต่ละชุดการทดลองไม่สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่เติมได้อย่างแม่นยำ จึงทำให้ไออาร์พีของแต่ละชุดการทดลองเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน เมื่อเข้าสู่ช่วงปลายสภาวะแอนโรบิกค่าไออาร์พีของทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นช้ามากจนเกือบคงที่ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในช่วงนี้ช้ามาก

ตารางที่ 4.8 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม ($^{\circ}$ C)	ค่าไออาร์พี (มิลลิโวลต์)		จำนวนข้อมูล
		แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	-126	121	7
2	25	-101	148	5
3	30	-125	90	5
4	32.5	-220	83	5
5	35	-266	51	6



รูปที่ 4.16 ค่าไออาร์พีในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



4.1.4 พีเอช

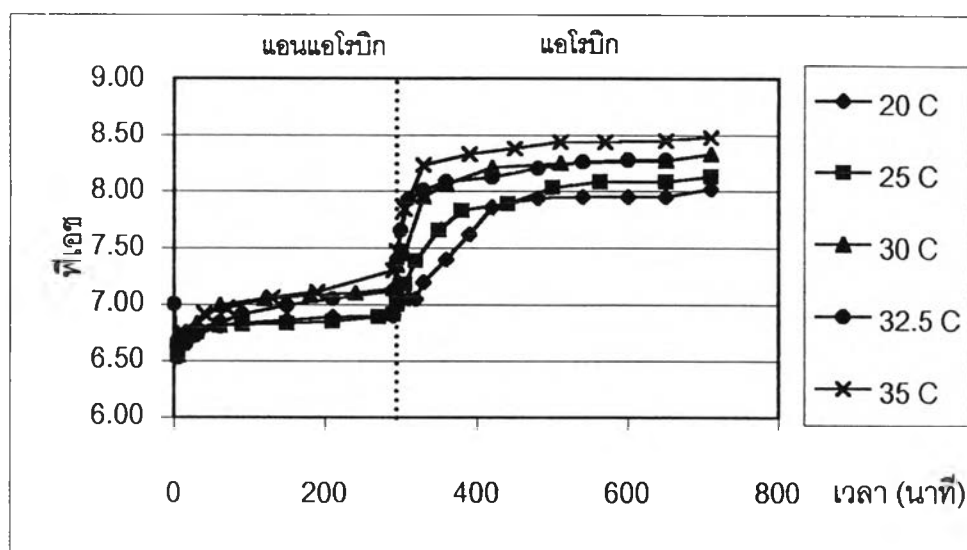
ในการทดลองนี้มีการเติมบัฟเฟอร์ให้กับระบบเพื่อรักษาค่าพีเอชของระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของพีเอไอ พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 6.3 – 6.4 ที่ปลายสถานะแอนไอออนิกวัดค่าพีเอชได้ 6.9 – 7.1 และที่ปลายสถานะแอนไอออนิกค่าพีเอชของระบบอยู่ในช่วง 8.0 – 8.3 ค่าพีเอชของแต่ละชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9 ผลการวัดค่าพีเอชตามเวลาของแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.17 กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นสถานะแอนไอออนิกพีเอชในระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกทั้งนี้เนื่องจากกรดอะซิติกถูกจับใช้เข้าสู่เซลล์ และอาจเนื่องจากน้ำค้างยังมีค่าพีเอชค่อนข้างสูง เมื่อเข้าสู่สถานะแอนไอออนิกอีกครั้งทำให้พีเอชของระบบสูงขึ้น สภาพต่างที่เพิ่มขึ้นในช่วงต้นสถานะแอนไอออนิกอาจส่งผลให้พีเอชเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเข้าสู่ช่วงต้นสถานะแอนไอออนิกพีเอชของระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับช่วงแอนไอออนิก และเมื่อผ่านสองชั่วโมงแรกของช่วงแอนไอออนิกค่าพีเอชเพิ่มขึ้นช้ามากจนเกือบคงที่

4.1.5 สภาพต่าง

ในระบบบำบัดน้ำเสียสภาพต่างทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของพีเอชเนื่องจากกรดหรือด่าง ในการผสมน้ำเสียสังเคราะห์ได้ใช้กรดอะซิติกและนิวเทรียนบรอดเป็นแหล่งคาร์บอน โดยมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบ ค่าสภาพต่างของน้ำเข้าของทั้ง 5 ชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 321-322 มก.หินปูน /ล. ทั้งนี้เพื่อให้ค่าพีเอชของระบบอยู่ในช่วงที่พีเอไอสามารถทำงานได้ดี ค่าสภาพต่างของระบบที่สถานะคงตัวแสดงในตารางที่ 4.10 เมื่อป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบค่าสภาพต่างของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกต่อจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปลายสถานะแอนไอออนิก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดอะซิติกถูกพีเอไอจับใช้เข้าสู่เซลล์ในช่วงต้นของสถานะแอนไอออนิก ปริมาณกรดที่สะท้อนกับสภาพต่างจึงลดลง นอกจากนี้อาจเนื่องจากน้ำค้างยังมีค่าสภาพต่างสูง เมื่อเริ่มต้นวัฏจักรใหม่ทำให้ค่าสภาพต่างโดยรวมของระบบสูงขึ้น ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของขั้นตอนแอนไอออนิก(น้ำค้างยังมีไนเตรตเหลืออยู่เล็กน้อย) ก็ส่งผลให้ระบบได้รับสภาพต่างเพิ่มขึ้น รูปที่ 4.18 แสดงค่าสภาพต่างของระบบเทียบกับเวลา ค่าสภาพต่างที่ปลายสถานะแอนไอออนิกของทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 367 –383 มก.หินปูน / ล. เมื่อระบบเข้าสู่สถานะแอนไอออนิกค่าสภาพต่างลดลงอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มเกือบคงที่เมื่อปลายสถานะแอนไอออนิก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 341 – 348 มก.หินปูน/ล.

ตารางที่ 4.9 ค่าพีเอชเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

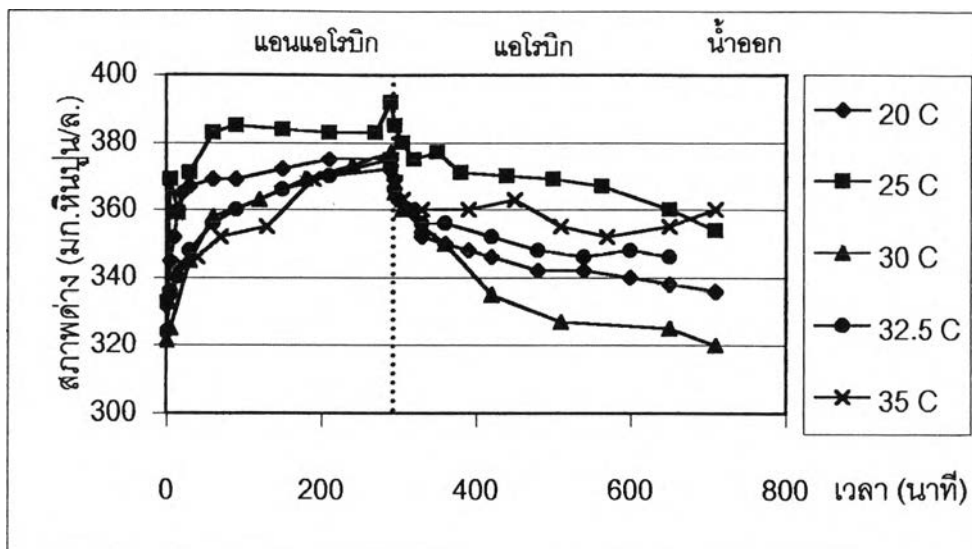
ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม ($^{\circ}$ ซ)	ค่าพีเอช				จำนวน ข้อมูล
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก	
1	20	6.43	6.93	7.99	8.10	6
2	25	6.44	7.06	8.02	8.09	5
3	30	6.44	7.07	8.12	8.16	7
4	32.5	6.43	7.03	8.13	8.15	5
5	35	6.33	7.07	8.26	8.28	6



รูปที่ 4.17 ค่าพีเอชในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ตารางที่ 4.10 ค่าสภาพต่างที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลอง ที่	อุณหภูมิที่ควบคุม ($^{\circ}$ ซ)	ค่าสภาพต่าง (มก./ล.)				จำนวน ข้อมูล
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก	
1	20	321	370	344	340	7
2	25	321	383	341	331	5
3	30	322	369	348	337	7
4	32.5	321	370	342	343	5
5	35	322	367	343	343	6



รูปที่ 4.18 ค่าสภาพต่างในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

4.1.6 เอ็มแอลเอสเอส(MLSS) และเอ็มแอลวีเอสเอส(MLVSS)

ลักษณะทางกายภาพของสลัดจ์มีความแตกต่างกันตามอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 20 °ซ. สลัดจ์ในถังปฏิกรณ์มีสีน้ำตาลอ่อนจนเกือบซีด ฟลอคมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นและมีเม็ดสีขาวหูนกระจายอยู่มาก ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นสีของสลัดจ์เข้มขึ้น ฟลอคมีขนาดใหญ่ขึ้นและเม็ดสีขาวหูนที่กระจายอยู่มีปริมาณลดลง ที่อุณหภูมิ 35 °ซ. พบว่าสลัดจ์ในถังมีสีน้ำตาลเข้มที่สุดโดยในสภาวะแอนแอโรบิกมีกลิ่นคาวด้วยซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ไม่พบในช่วงอุณหภูมิ ต่ำ

ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และสัดส่วนของเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส (f) ของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัวแสดงในตารางที่ 4.11 การทดลองชุดที่ 1-5 นี้ ผู้วิจัยได้พยายามควบคุมค่าอายุสลัดจ์ให้เท่ากันโดยคิดจากปริมาณจุลชีพที่อยู่ในระบบต่อปริมาณจุลชีพที่ออกจากระบบต่อวัน แต่เนื่องจากปริมาณจุลชีพที่ออกไปพร้อมกับขั้นตอนระบายน้ำใสออกมีปริมาณไม่คงที่(หมายเหตุ : ในขั้นตอนตกตะกอนมีสลัดจ์ค้างอยู่ตรงท่อทางน้ำออกในปริมาณที่ไม่เท่ากันในแต่ละวัฏจักร) ทำให้การควบคุมค่าอายุสลัดจ์ในแต่ละชุดการทดลองทำได้ยาก อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณค่าอายุสลัดจ์ของแต่ละชุดการทดลองที่สถานะคงตัวพบว่ามีความไม่แตกต่างกันมากนักโดยมีค่าอยู่ในช่วง 9.3 – 10.6 วัน(สรุปไว้ในตารางที่ 4.1-4.5) เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสที่อุณหภูมิต่ำมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิสูงดังแสดงในรูปที่ 4.19 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้

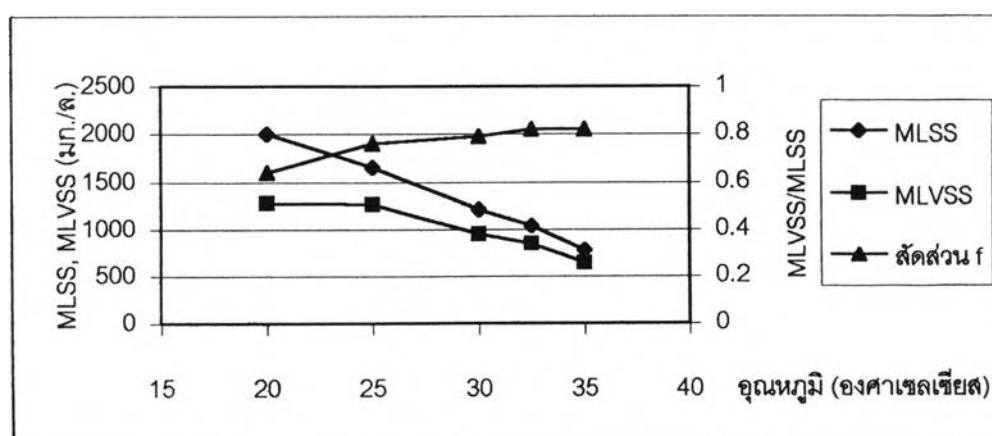
พลังงานของจุลชีพในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง จึงมีพลังงานเหลือสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ได้มากกว่า

4.1.7 ของแข็งแขวนลอย เอสวี30 และเอสวีไอ

โดยทั่วไปค่าของแข็งแขวนลอยเป็นพารามิเตอร์หนึ่งซึ่งสามารถบอกถึงสมบัติการตกตะกอนของสลัดจ์ได้ แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเพื่อระบุการตกตะกอนของสลัดจ์ได้ชัดเจนนักดังจะได้กล่าวถึงต่อไป นอกจากนี้ค่าของแข็งแขวนลอยยังเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ต้องใช้ร่วมคำนวณหาอายุสลัดจ์ของระบบ ผู้วิจัยจึงได้ปรับปริมาณของสลัดจ์ที่ต้องระบายออกในปลายขั้นตอนแอโรบิก เพื่อให้ค่าอายุสลัดจ์ของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.11 ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)	เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส (f)	จำนวนข้อมูล
1	20	2003	1281	0.64	9
2	25	1658	1266	0.76	5
3	30	1210	957	0.79	6
4	32.5	1040	853	0.82	5
5	35	783	640	0.82	6



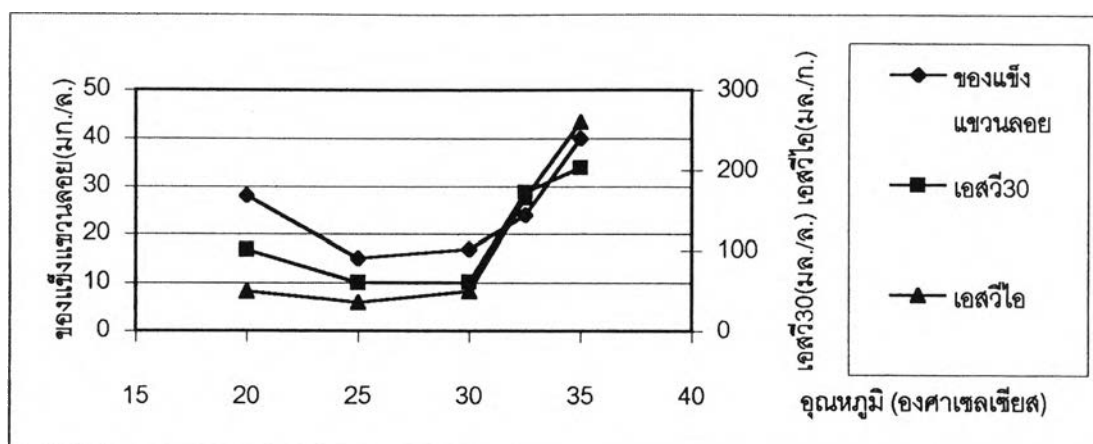
รูปที่ 4.19 ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ในช่วงเริ่มต้นระบบค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกของแต่ละชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากระบบเกิดการปรับตัวเพื่อให้มีปริมาณจุลชีพในระบบตามค่าอายุสลัดจ์ที่ได้กำหนด เมื่อเดินระบบไประยะหนึ่งค่าของแข็งแขวนลอยจึงลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วค่าของแข็งแขวนลอยของทุกชุดการทดลองก็ยังมีค่าไม่คงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 15 – 40 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยในแต่ละชุดการทดลองทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงตกตะกอนมีสลัดจ์บางส่วนค้างอยู่ในท่อทางน้ำออก แม้ในชุดการทดลองเดียวกันปริมาณสลัดจ์ที่ค้างอยู่ในท่อดังกล่าวก็ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยมีค่าค่อนข้างแปรผันค่อนข้างแต่ก็ยังมีค่าไม่สูงนัก

ในการทดลองนี้จึงใช้ค่าเอสวี30 ควบคู่กับค่าเอสวีไอในการบอกถึงลักษณะการตกตะกอนของสลัดจ์ จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.20 พบว่าที่อุณหภูมิ 20-30 °ซ. สลัดจ์สามารถตกตะกอนได้ดีโดยมีค่าเอสวีไอไม่เกิน 60 มล./กรัม ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นสลัดจ์เริ่มตกตะกอนได้ไม่ดีโดยที่อุณหภูมิ 32.5 และ 35 °ซ. ค่าเอสวีไอของสลัดจ์เท่ากับ 166 และ 260 มล./ก. ตามลำดับ ค่าเอสวี30 ของทั้งสองชุดการทดลองก็พบว่ามีค่าสูงแม้จะมีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสในระบบน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำก็ตาม เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพพบว่าที่อุณหภูมิสูงฟล็อกมีขนาดใหญ่กว่าที่อุณหภูมิต่ำและจับตัวกันอย่างหลวม ๆ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 35 °ซ. ลักษณะของฟล็อกค่อนข้างฟูและจมตัวได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 20 และ 25 °ซ. ซึ่งฟล็อกจมตัวได้ดีมากและแยกชั้นกับน้ำใสอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.12 ค่าของแข็งแขวนลอย เอสวี30 และเอสวีไอที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (° ซ)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	เอสวี30 (มล./ล.)	เอสวีไอ (มล./ก.)	จำนวนข้อมูล
1	20	28	101	50	9
2	25	15	60	36	5
3	30	17	61	52	7
4	32.5	24	172	166	5
5	35	40	203	260	6



รูปที่ 4.20 ค่าของแข็งแชวนลอย เอสวี30 และเอสวีไอในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

4.1.8 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFA)

การทดลองนี้ใช้กรดอะซิติกและนิวเทรียนบรอกเป็นแหล่งอาหารของพีเอไอ โดยกรดอะซิติกเป็นวีเอพีที่มีคาร์บอนสองอะตอม ส่วนนิวเทรียนบรอกเมื่อเข้าสู่ระบบจะถูกย่อยให้เปลี่ยนรูปไปเป็นวีเอพีที่พีเอไอสามารถนำไปใช้ได้ การวัดค่าวีเอพีในช่วงเดินระบบจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวใช้การไทเทรตดังแสดงในตารางที่ 4.13 ส่วนการวิเคราะห์ผลตามเวลานั้น ชุดการทดลองที่ 1-3 สามารถวัดค่าวีเอพีโดยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) ได้ ควบคู่ไปกับการไทเทรตดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 ส่วนชุดการทดลองที่ 4 และ 5 วัดโดยวิธีไทเทรตเพียงอย่างเดียวเนื่องจากผลการวิเคราะห์โดย GC ไม่พบ peak ของวีเอพีโดยไม่ทราบสาเหตุ ทั้งในน้ำเสียสังเคราะห์และในน้ำตัวอย่างตอนเริ่มต้นโพรไฟล์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบมีค่าวีเอพีอยู่ในช่วง 184-211 มก.กรดอะซิติก / ล. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วย GC รูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มขั้นตอนแอนแอโรบิกวีเอพีลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะพีเอไอ(และ/หรือจีเอไอ[ถ้ามี])จับใช้เข้าไปอยู่ในเซลล์ในขณะเดียวกันก็มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา (กรณีที่เป็นจีเอไอจะไม่มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) ที่อุณหภูมิ 20 °ซ. วีเอพีในระบบลดลงเร็วที่สุดจนหมดภายใน 30 นาที ส่วนที่อุณหภูมิ 25 °ซ. ค่าวีเอพีเริ่มแนวโน้มลดลงได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 30 °ซ. ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสละลาย (ดูหัวข้อฟอสฟอรัสประกอบ)

ตารางที่ 4.13 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

วิธีวิเคราะห์	ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม(°ซ)	กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)				จำนวนข้อมูล
			น้ำเข้า	ที่ t=0	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
ไทเทรต	1	20	184	130	52	22	6
	2	25	195	138	58	25	5
	3	30	205	145	36	24	7
	4	32.5	211	150	56	27	5
	5	35	189	134	90	25	6
GC	1	20	216	144	0	0	1(94%*)
	2	25	210	140	0	0	1(99%*)
	3	30	206	137	0	0	1(96%*)

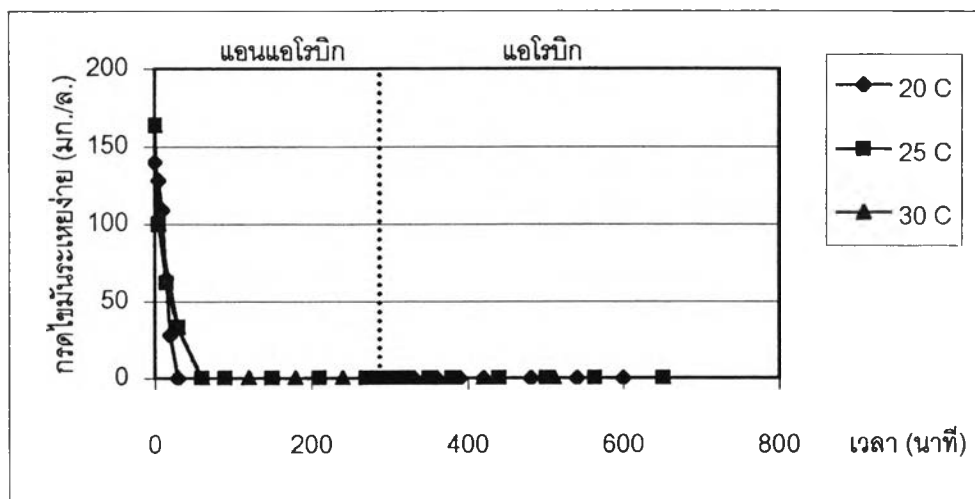
หมายเหตุ * % recovery

จุลชีพอีกกลุ่มที่ควรกล่าวถึงคือจีเอโอ (Glycogen Accumulating Organisms, GAOs) เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าจีเอโอสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบที่มีสถานะแอนแอโรบิก สลับกับสถานะแอโรบิก แต่มีความแตกต่างจากฟิเอโอกล่าวคือ ฟิเอโอสะสมคาร์บอนได้ในเซลล์โดยเก็บในรูปของฟิเอซและปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา แหล่งพลังงานในขั้นตอนนี้คือเอทีพี ส่วนจีเอโอจับใช้คาร์บอนเช่นกัน แต่มีการสะสมฟิเอซโดยใช้พลังงานจากกลัยโคเจน ดังนั้นจึงไม่มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ผลการวิเคราะห์ด้วย GC ของทั้งสามชุดการทดลองชี้ให้เห็นว่าวีเอฟเอของระบบถูกจุลชีพจับใช้จนหมดภายในช่วงต้นของสถานะแอนแอโรบิก จุลชีพที่มีบทบาทในขั้นตอนนี้อาจจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ฟิเอโอ จีเอโอ และดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียซึ่งใช้วีเอฟเอในการกำจัดไนเตรตที่เคลื่อนมาจากน้ำค้ำถัง

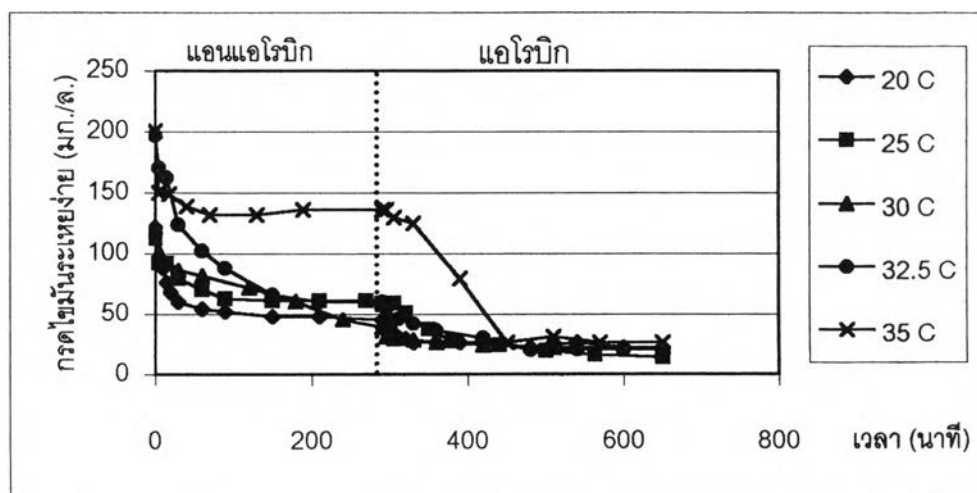
ผลการวิเคราะห์โดยการไทเทรต (รูปที่ 4.22) พบว่าแนวโน้มการลดลงของวีเอฟเอในสถานะแอนแอโรบิกเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วย GC (รูปที่ 4.21) แล้วมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือที่อุณหภูมิ 20 °ซ. วีเอฟเอลดลงเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า แต่เมื่อสิ้นสุดสถานะแอนแอโรบิกก็ยังมีวีเอฟเอเหลืออยู่ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์ด้วย GC ทั้งนี้อาจเนื่องจากในวิธีไทเทรตนั้นก่อนการไทเทรตตัวอย่างน้ำต้องมีการต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์ออก ในขั้นตอนนี้อาจมีคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนเหลืออยู่ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาค่าวีเอฟเอที่ปลายสถานะ

แอโรบิกแล้วพบว่าทุกชุดการทดลองยังมีวีเอฟเอเหลืออยู่ประมาณ 22 – 27 มก. กรดอะซิติก/ล. ซึ่งในความเป็นจริงวีเอฟเอเป็นแหล่งคาร์บอนที่จุลชีพสามารถนำไปใช้ได้ง่ายที่สุด อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โดยการไทเทรตก็สามารถบอกถึงแนวโน้มของระบบ และสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละอุณหภูมิได้แม้จะได้ค่าที่ไม่แม่นยำนักก็ตาม

ที่อุณหภูมิ 32.5 และ 35 °ซ. พบว่ายังคงมีวีเอฟเอที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกเหลืออยู่สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องฟอสฟอรัสซึ่งพบว่าการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิดังกล่าวมีค่าน้อยมาก แต่เมื่อเข้าสู่สภาวะแอโรบิกวีเอฟเอในระบบลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิต่ำ จุลชีพที่มีบทบาทในขั้นตอนนี้ได้แก่อิเอสไอนั่นเอง



รูปที่ 4.21 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบที่สถานะคงตัว ของชุดการทดลองที่ 1-5 (วัดค่าโดยวิธี GC)



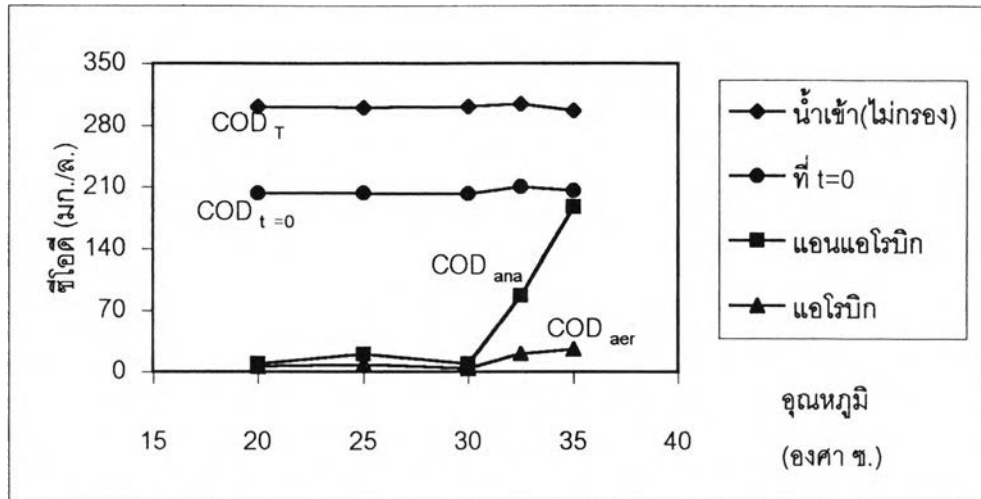
รูปที่ 4.22 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบที่สถานะคงตัว ของชุดการทดลองที่ 1-5 (วัดค่าโดยวิธีไทเทรต)

4.1.9 ซีไอดี

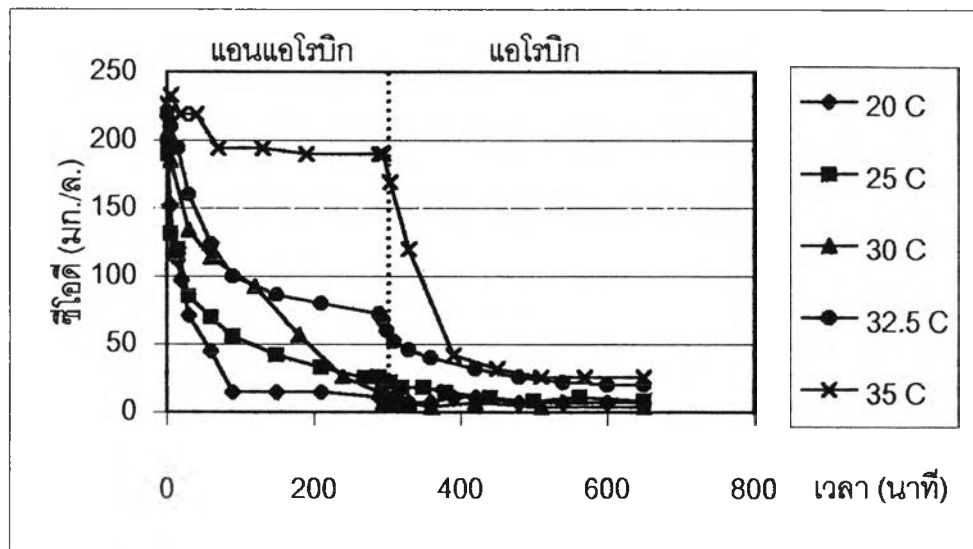
น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้มีค่าซีไอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 297 – 304 มก./ล. โดยเติมในรูปของกรดอะซิติกและนิวเทรียนบรอน ที่ปลายสภาวะแอโรบิกของทุกชุดการทดลองมีค่าซีไอดีกรองเหลืออยู่น้อยซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวระบบสามารถกำจัดซีไอดีกรองได้ดี ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการทดลองที่ 20, 25, 30, 32.5 และ 35 °ซ. ไม่ต่างกันนัก คือเท่ากับร้อยละ 98, 97, 99, 93 และ 91 ตามลำดับ ค่าซีไอดีกรองที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิกของชุดการทดลองทั้ง 5 แสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.23 อย่างไรก็ตามแม้ระบบจะสามารถกำจัดซีไอดีได้ในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง แต่กลุ่มจุลชีพหลักที่ทำหน้าที่ดังกล่าวมีความแตกต่างกันที่อุณหภูมิ 20 - 30 °ซ. ซีไอดีกรองส่วนใหญ่ถูกกำจัดภายในสภาวะแอนแอโรบิก โดยจุลชีพที่ทำหน้าที่ดังกล่าวเป็นได้ทั้งพีเอโอและจีเอโอ ที่อุณหภูมิ 32.5 °ซ. เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนแอนแอโรบิกพบว่ายังมีซีไอดีกรองบางส่วนเหลืออยู่ (87 มก./ล.) และถูกกำจัดอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของสภาวะแอโรบิก จึงอาจกล่าวได้ว่าที่อุณหภูมินี้จุลชีพที่ทำหน้าที่กำจัดซีไอดีรวมกันได้แก่พีเอโอ จีเอโอ และ โอเอชโอ ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °ซ. ชี้ให้เห็นว่าพีเอโอและ/หรือจีเอโอแทบไม่มีบทบาทในการกำจัดซีไอดีกรองของระบบเลยทั้งนี้เนื่องจากซีไอดีกรองเกือบทั้งหมดถูกกำจัดในช่วงแอโรบิกโดยจุลชีพกลุ่มโอเอชโอ โดยค่าซีไอดีกรองที่ปลายสภาวะแอโรบิกมีค่าเท่ากับ 187 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบกับที่เวลา $t=0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 207 มก./ล. แล้วพบว่าค่าซีไอดีกรองในสภาวะแอนแอโรบิกของชุดการทดลองนี้ลดลงน้อยมาก ค่าซีไอดีกรองของระบบเทียบกับเวลาของทุกชุดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.14 ค่าซีไอดีเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม(°ซ)	ซีไอดี (มก./ล.)				จำนวนข้อมูล
		น้ำเข้า	ที่ $t=0$	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	301	203	9	6	10
2	25	300	203	20	8	5
3	30	301	202	9	4	7
4	32.5	304	210	87	21	5
5	35	297	207	187	26	6



รูปที่ 4.23 ค่าซีโอดีเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



รูปที่ 4.24 ค่าซีโอดีในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

4.1.10 ทีเคเอ็น

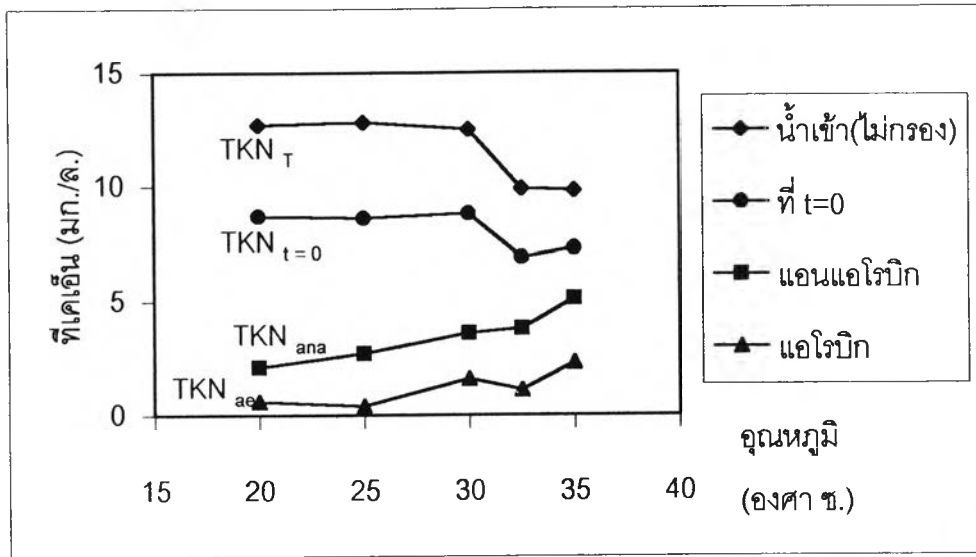
งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาการกำจัดไนโตรเจน ดึงน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองจึงมีไนโตรเจนเกินกว่าความต้องการของเซลล์จุลชีพเพียงเล็กน้อย โดยได้คำนวณปริมาณไนโตรเจนที่ต้องเติมจากปริมาณไนโตรเจนที่ออกไปจากระบบพร้อมเซลล์จุลชีพ (ดูภาคผนวก ฉ.)

ค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิกแสดงในตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบสำหรับชุดการทดลองที่ 1-5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 95, 97, 87, 89 และ 76 ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 35 °ซ. มีประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวปริมาณไนโตรเจนที่เติมเมื่อเทียบกับความต้องการของเซลล์แล้วมีค่าสูงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 20 – 32.5 °ซ. ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป อนึ่ง น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการทดลองที่ 32.5 และ 35 °ซ. ไม่มีการเติมยูเรียเพิ่ม โดยไนโตรเจนทั้งหมดได้มาจากนิวเทรียนบรอนซ์เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์(เพื่อป้องกันคาร์บอนเข้าสู่ระบบ)ในปริมาณที่เท่ากันทุกชุดการทดลอง ทำให้ค่าไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ของชุดการทดลองที่ 5 มีค่าเกินความต้องการของเซลล์ประมาณ 4 มก./ล. ในขณะที่ชุดการทดลอง1-4 ไนโตรเจนที่เติมมีค่าเกินความต้องการของเซลล์ประมาณ 2-3 มก./ล.ซึ่งก็ไม่แตกต่างกันมากนัก แม้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดที่เคเอ็นที่อุณหภูมิ 35°ซ.มีค่าต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาการกำจัดที่เคเอ็นเฉพาะในสภาวะแอโรบิกกลับมีค่าสูงสุด จากตารางที่ 4.15 พบว่าการกำจัดที่เคเอ็นในสภาวะแอโรบิกมีค่าเท่ากับ 1.5, 2.3, 2.0, 2.7 และ 2.8 มก./ล.สำหรับชุดการทดลองที่ 1-5 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

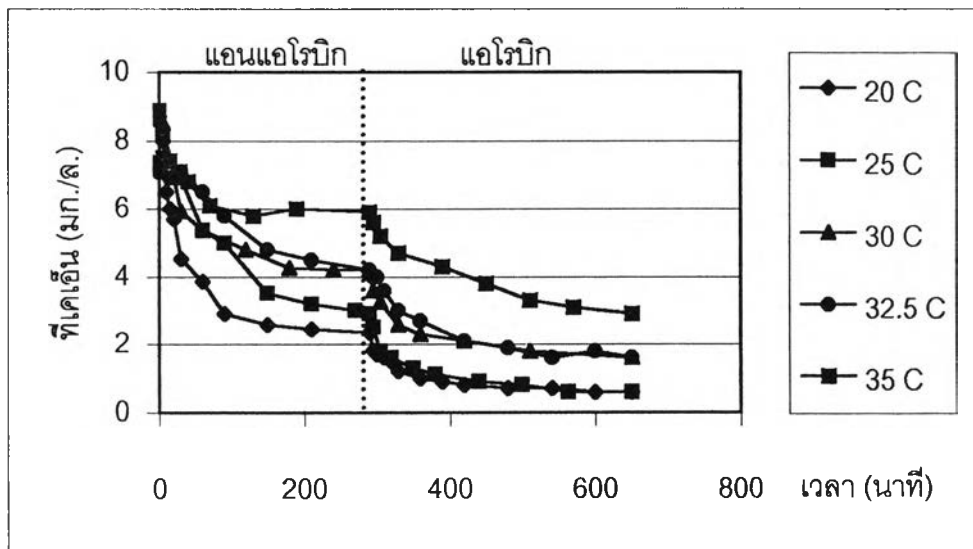
รูปที่ 4.25 แสดงค่าที่เคเอ็นเทียบกับเวลาของทั้ง 5 ชุดการทดลอง ระบบสามารถกำจัดที่เคเอ็นได้ทั้งในสภาวะแอนแอโรบิกและสภาวะแอโรบิก ที่สภาวะแอนแอโรบิกค่าที่เคเอ็นของทุกชุดการทดลองลดลง ส่วนหนึ่งอาจเนื่องจากจุลชีพมีการจับใช้ในโตรเจนไปไว้ในเซลล์ (ผู้วิจัยได้หาค่าสัดส่วนของไนโตรเจนในเซลล์จุลชีพเปรียบเทียบกันระหว่างสภาวะแอนแอโรบิกและสภาวะแอโรบิกเพื่อตรวจสอบสมมุติฐาน พบว่าสัดส่วนไนโตรเจนในเซลล์จุลชีพที่สภาวะแอนแอโรบิกสูงกว่าที่สภาวะแอโรบิก) ส่วนที่สภาวะแอโรบิกค่าที่เคเอ็นลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ตารางที่ 4.15 ค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (°ซ)	ที่เคเอ็น (มก./ล.)			จำนวนข้อมูล
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	12.7	2.1	0.6	7
2	25	12.8	2.7	0.4	5
3	30	12.5	3.6	1.6	7
4	32.5	9.9	3.8	1.1	5
5	35	9.8	5.1	2.3	6



รูปที่ 4.25 ค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



รูปที่ 4.26 ค่าที่เคเอ็นในระบบที่สถานะคงตัว ของชุดการทดลองที่ 1-5

4.1.11 ไนเตรตและไนไตรต์

ผลการทดลองทั้ง 5 ชุดพบว่า มีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นแม้จะควบคุมปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ก็ตาม ค่าไนเตรตและไนไตรต์ของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.16 และ

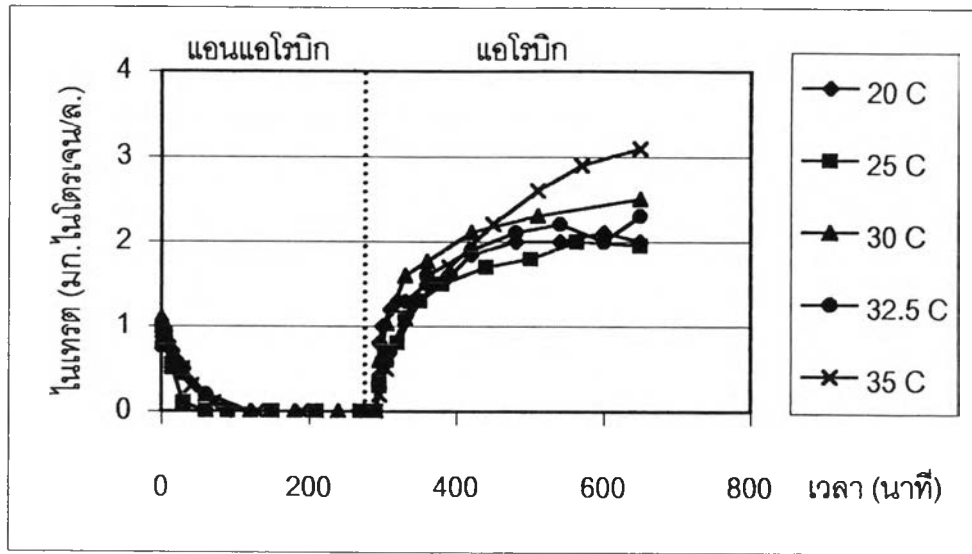
4.17 ตามลำดับ ที่ปลายสภาวะแอโรบิกพบว่ามีไนเตรตเกิดขึ้นค่อนข้างมากโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.6 – 2.5 มก.ไนโตรเจน/ล. ส่วนไนไตรต์ที่พบมีน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากไนไตรต์เป็นสารอินเทอร์มีเดียตของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ไม่คงรูปอยู่นานเนื่องจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตโดยไนโตรแบคทีเรียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ไนเตรตที่พบในช่วงปลายสภาวะแอโรบิกทำให้เกิดสภาวะแอน็อกซิกในช่วงแรกของขั้นตอนแอนแอโรบิก อย่างไรก็ตามไนเตรตที่เหลือค้างถึงนี้ได้ถูกเจือจางเมื่อเริ่มต้นวัฏจักรใหม่จึงไม่ส่งผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ และถูกกำจัดหมดในช่วงต้นของขั้นตอนแอนแอโรบิกทุกชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.27 การเติมอากาศอย่างเพียงพอในทุกชุดการทดลองทำให้ไนเตรตเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นสภาวะแอโรบิก ชุดการทดลองที่ 5 มีไนเตรตเกิดขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่เติมในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเกินความต้องการของเซลล์จุลินทรีย์ประมาณ 4 มก./ล. ซึ่งสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่เคเอ็น ส่วนค่าไนไตรต์เทียบกับเวลาที่สถานะคงตัวมีค่าน้อยมากดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.28 และไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.16 ค่าไนเตรตเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

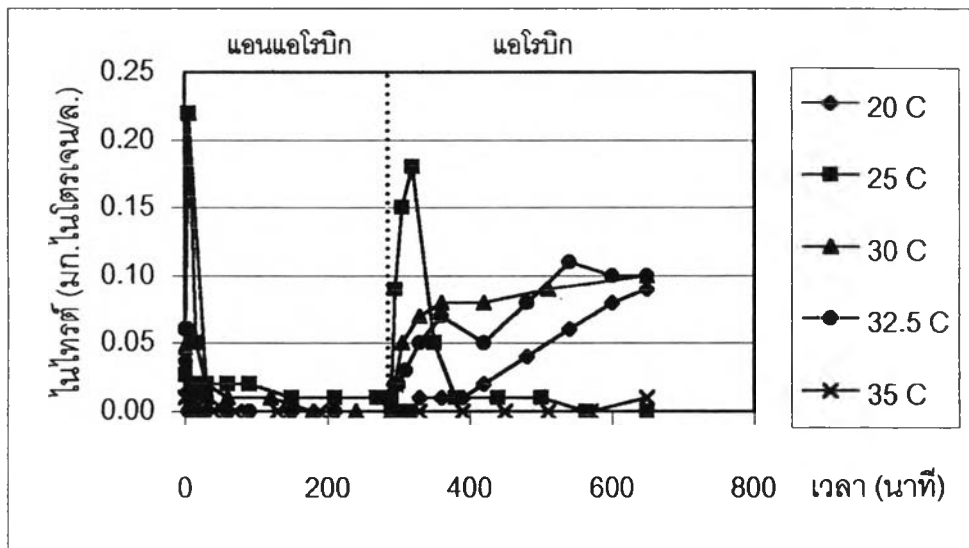
ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (° ซ)	ไนเตรต (มก.ไนโตรเจน/ล.)			จำนวนข้อมูล
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	0.3	0	1.6	10
2	25	0.3	0	1.9	5
3	30	0.4	0	2.4	7
4	32.5	0.3	0	2.0	5
5	35	0.4	0	2.5	6

ตารางที่ 4.17 ค่าไนไตรต์เฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (° ซ)	ไนไตรต์ (มก.ไนโตรเจน/ล.)			จำนวนข้อมูล
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	
1	20	0.01	0	0	8
2	25	0.01	0	0.01	5
3	30	0.02	0	0	7
4	32.5	0.04	0	0.14	5
5	35	0.02	0	0.09	6



รูปที่ 4.27 ค่าไนเตรตในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5



รูปที่ 4.28 ค่าไนไตรต์ในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

4.1.12 ฟอสฟอรัส

การกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการทางชีวภาพนั้น ในสภาวะแอนแอโรบิกพีเอไอจับใช้ วิเอเฟเอเข้าสู่เซลล์และเก็บสะสมไว้ในรูปของพีเอชเอโดยมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา เมื่อ เข้าสู่สภาวะแอโรบิกคาร์บอนที่สะสมไว้ได้ผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมและมีพลังงานเกิดขึ้น ใน

การเก็บรักษาพลังงานไว้ในเซลล์พีเอโอได้จับใช้ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปสร้างฟอสเฟตบอนด์ซึ่งเป็นพันธะที่มีพลังงานสูง โดยฟอสฟอรัสที่ถูกจับใช้นี้จะมีปริมาณมากกว่าที่ถูกปลดปล่อยออกมาในตอนแรก

ผลการวัดค่าฟอสฟอรัสในน้ำเข้า ที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิก และปลายสภาวะแอโรบิก แสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.29 ค่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 14.8 – 15.2 มก./ล. ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอโรบิกที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 32.5 และ 35 °ซ. มีค่าเท่ากับ 0.4, 6.4, 9.1, 10.6 และ 12.0 มก./ล. โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเท่ากับร้อยละ 97, 58, 40, 28 และ 20 ตามลำดับ จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยไม่สามารถหาปริมาณพีเอโอในระบบได้โดยตรง แต่เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าในขั้นตอนแอโรบิกพีเอโอจะสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ได้ดีกว่าจุลชีพกลุ่มอื่น ดังนั้นสามารถอนุมานปริมาณพีเอโอได้จากค่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในเซลล์ โดยคิดเป็นร้อยละของฟอสฟอรัสที่อยู่ในเซลล์ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง (หมายเหตุ : ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสไม่สามารถบอกถึงปริมาณพีเอโอได้อย่างชัดเจน เช่น ที่อุณหภูมิต่างกันอาจมีปริมาณพีเอโอเท่ากันโดยที่ความสามารถในการเก็บสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์อาจไม่เท่ากันก็ได้) จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 20 °ซ. สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในเซลล์มีค่าสูงสุดถึงร้อยละ 14.8 ส่วนชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 25, 30, 32.5 และ 35 °ซ. มีค่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในเซลล์น้อยลงตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.4, 8.2, 6.2 และ 3.4 ดังแสดงในรูปที่ 4.30 ผลการทดลองส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 20 °ซ. มีปริมาณพีเอโอมากที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าพีเอโอสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ระบบจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุด ประการที่สองที่อุณหภูมิต่ำระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีและมีสัดส่วนของฟอสฟอรัสในเซลล์สูง จึงอาจกล่าวได้ว่าพีเอโอสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ โดยสามารถปลดปล่อยและเก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ได้มากกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ตารางที่ 4.19 สามารถบอกผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของพีเอโอได้อย่างชัดเจน ที่อุณหภูมิ 20 °ซ. การปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะมีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 49.3 และ 56.9 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอสตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิสูงค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าต่ำสุด

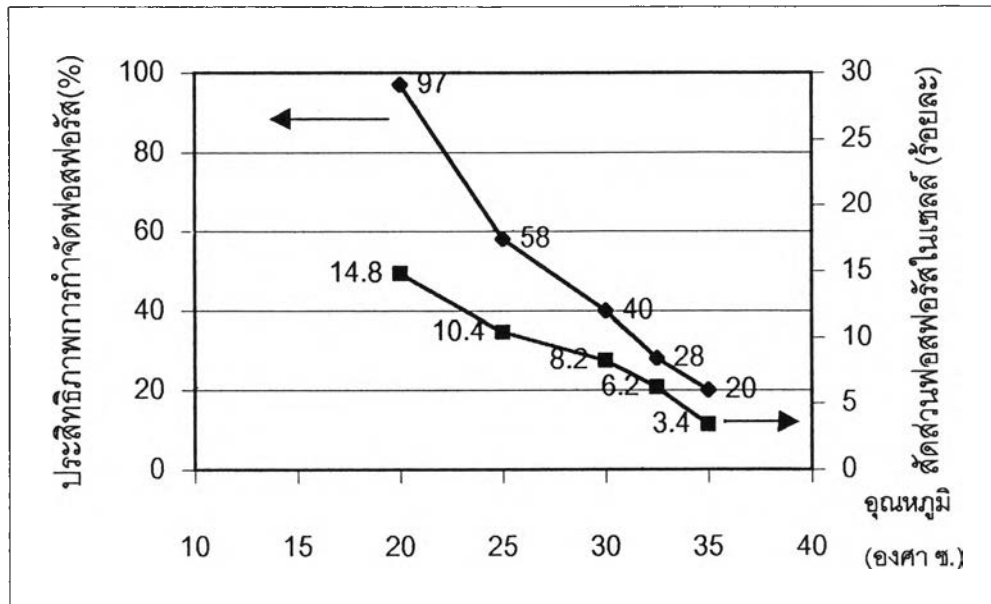
ตารางที่ 4.18 ค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (° ซ)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์	จำนวนข้อมูล
		น้ำเข้า(TP)	ที่ t=0	แอนแอโรบิก	แอโรบิก		
1	20	15.1	10.2	73.3	0.4	14.8	10
2	25	15.2	12.2	55.8	6.4	10.4	5
3	30	15.2	13.2	44.2	9.1	8.2	7
4	32.5	14.8	13.4	22.3	10.6	6.2	5
5	35	15.1	14.1	15.9	12.0	3.4	6

รูปที่ 4.29 ค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ตารางที่ 4.19 ค่าการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะที่สถานะคงตัวของชุดที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ควบคุม (° ซ)	เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส(มก/ล.)		ฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส)	
			ปลดปล่อย	จับใช้	ปลดปล่อย	จับใช้
1	20	1281	63.1	72.9	49.3	56.9
2	25	1266	43.6	49.4	34.4	39.0
3	30	957	31.0	35.1	32.4	36.7
4	32.5	853	8.9	11.7	10.4	13.4
5	35	640	1.8	3.9	3.0	6.1



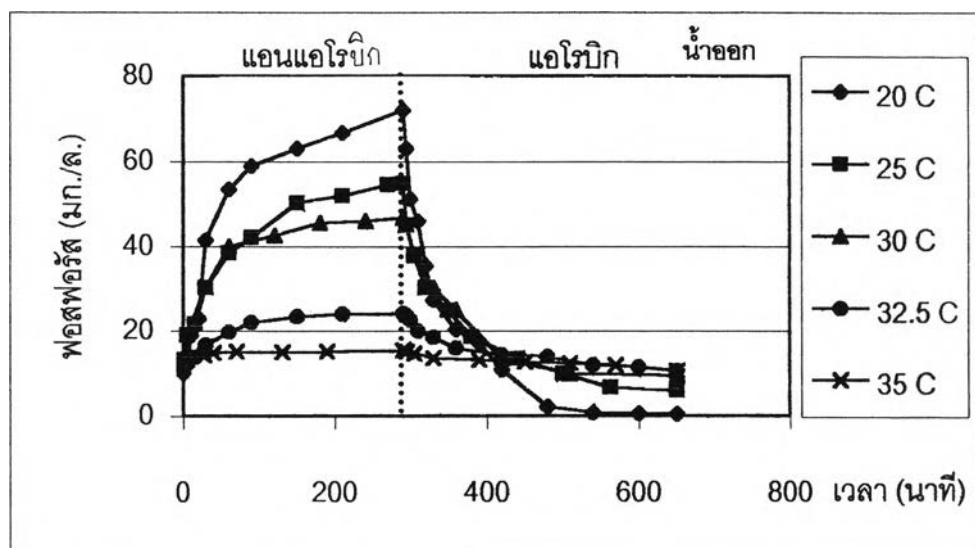
รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสและสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ที่อุณหภูมิสูงระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้น้อย สาเหตุหนึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของพีเอโอ อีกเหตุผลหนึ่งอาจเนื่องมาจากมีปริมาณจุลชีพในระบบน้อยและสัดส่วนพีเอโอ (คิดจากค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์)ก็น้อยด้วยเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นในประเทศเขตร้อนที่อุณหภูมิของระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าค่อนข้างสูงก็มีแนวโน้มที่จะกำจัดฟอสฟอรัสได้ไม่มากนัก แนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในประเทศเขตร้อนได้ก็คือการเดินระบบด้วยค่าอายุสลัดจ์ที่สูงกว่าการทดลองนี้ซึ่งจะทำให้ปริมาณจุลชีพในระบบมีค่ามากขึ้น การกำจัดฟอสฟอรัสออกจากระบบก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์มีความสัมพันธ์กับค่าสัดส่วนของเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส (f) ที่อุณหภูมิต่ำมีการสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์มาก (วัดในรูปร้อยละของน้ำหนักเซลล์แห้ง) ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของเซลล์ในรูปที่ไม่ใช่วีเอสเอส สัดส่วน f จึงมีค่าต่ำ สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ของชุดการทดลองที่ 5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.4 ของน้ำหนักเซลล์แห้งซึ่งใกล้เคียงกับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 1.5-2 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง (WEF and ASCE, 1992) การที่ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ของชุดการทดลองที่ 5 สูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปทั้งที่ระบบกำจัดฟอสฟอรัสได้น้อยมากเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 1-4 ทั้งนี้อาจ

เนื่องจากสภาวะแอนแอโรบิก/แอโรบิกที่ใช้นี้เอื้อต่อการคัดพันธุ์จุลินทรีย์ที่สะสมฟอสฟอรัสไว้ได้มากกว่าปกติประการหนึ่ง อีกประการหนึ่งอาจเนื่องจากค่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้มีค่าสูงเมื่อเทียบกับน้ำเสียทั่วไป ส่งผลให้ค่าฟอสฟอรัสในเซลล์มีค่าสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป และอาจเป็นไปได้ว่าระบบที่อุณหภูมินี้มีปริมาณพีเอไออยู่น้อยมากโดยฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์

ค่าฟอสฟอรัสละลายเทียบกับเวลาที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.31 สามารถบอกการทำงานของพีเอไอในระบบได้อย่างชัดเจน เมื่อเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนแอนแอโรบิก พีเอไอปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ ในขณะที่เดียวกันก็จับใช้วีเอฟเอเข้าสู่เซลล์โดยสะสมไว้ในรูปของพีเอชเอ ทำให้ที่ปลายขั้นตอนแอนแอโรบิกค่าฟอสฟอรัสละลายในระบบมีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 73.3, 55.8, 44.2, 22.3 และ 15.9 มก./ล. สำหรับชุดการทดลองที่ 20, 25, 30, 32.5 และ 35 °ซ. ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 20 °ซ. พีเอไอปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้เร็วและมากที่สุด สอดคล้องกับการจับใช้วีเอฟเอ(รูปที่ 4.21 และ 4.22) หรือซีไอดี(รูปที่ 4.24) ซึ่งพบว่าซีไอดีที่อุณหภูมินี้ลดลงเร็วที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิ 35 °ซ. พีเอไอแทบไม่มีปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์เลย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีไอดี(รูปที่ 4.24) พบว่าค่าซีไอดีลดลงน้อยเช่นกัน นั่นคือที่อุณหภูมินี้มีพีเอไออยู่ในระบบน้อยมากประการหนึ่ง หรือพีเอไอสะสมพีเอชเอไว้ได้น้อยมาก พลังงานที่ต้องเก็บสะสมไว้จึงมีน้อย ส่งผลให้การจับใช้ฟอสฟอรัสเพื่อไปเก็บรักษาพลังงานที่สร้างขึ้นจึงน้อยตามไปด้วย อีกประการหนึ่ง



รูปที่ 4.31 ค่าฟอสฟอรัสในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่ 1-5 นี้ เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวผู้วิจัยได้ทำการดูปริมาณฟอสฟอรัสในระบบ โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าระบบและออกจากระบบต้องมีค่าเท่ากัน ซึ่งเป็นการตรวจสอบสถานะคงตัวของระบบได้ทางหนึ่ง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบได้แก่ฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ ส่วนฟอสฟอรัสที่ออกจากระบบประกอบด้วยฟอสฟอรัสที่อยู่ในเซลล์จุลชีพซึ่งออกไปจากระบบในขั้นตอนระบายสลัดจ์ส่วนเกินและในของแข็งแขวนลอย อีกส่วนหนึ่งได้แก่ฟอสฟอรัสละลายที่ออกไปกับน้ำทิ้งในช่วงท้ายของวัฏจักร ผลการดูปริมาณฟอสฟอรัสนี้แสดงไว้ในตารางที่ 4.20 ซึ่งพบว่าที่สถานะคงตัวค่าฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบมีใกล้เคียงกัน โดยมีผลการดูมวลเท่ากับ 89-99 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดการคำนวณในส่วนนี้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.

4.1.13 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ

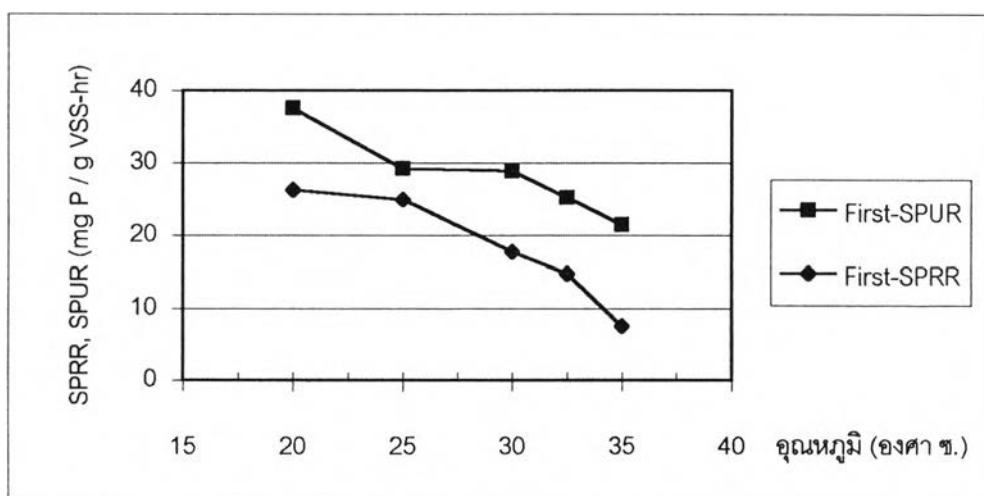
ชุดการทดลองที่ 1-5 นี้ เมื่อทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานะคงตัวและเก็บผลตามเวลา (profile) แล้วจึงทำการหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (specific phosphorus release rate, SPRR) และอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (specific phosphorus uptake rate, SPUR) โดยทำการทดลองแบบแบตช์ สลัดจ์จากปลายขั้นตอนแอโรบิกถูกนำมาทดลองในสภาวะแอนแอโรบิกเพื่อหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ ในขณะที่สลัดจ์จากปลายขั้นตอนแอนแอโรบิกถูกนำมาทดลองในสภาวะแอโรบิกเพื่อหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ รายละเอียดของการทดลองแบบแบตช์นี้แสดงในภาคผนวก ค. ซึ่งพบว่าการทดลองแบบแบตช์ของชุดการทดลองที่ 1-4 นั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟอสฟอรัสละลายกับเวลาแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ในที่นี้จะขอเรียกว่า first rate และ secondary rate อัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะแสดงในตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.32

ตารางที่ 4.20 ผลการดูปริมาณฟอสฟอรัสในระบบที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1-5

พารามิเตอร์	อุณหภูมิที่ทำการทดลอง (°C)				
	20	25	30	32.5	35
ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบ (มก./วัน)	338	340	340	331	338
ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ออกจากระบบ (มก./วัน)	329	343	324	314	300
การดูมวล (%)	97	99	95	95	89

ตารางที่ 4.21 อัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1-5

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (° ซ.)	SPRR (mg P / g VSS-hr)		SPUR (mg P / g VSS-hr)	
		First rate	Secondary rate	First rate	Secondary rate
1	20	26.26	1.89	37.61	9.68
2	25	24.86	6.08	29.17	4.72
3	30	17.69	5.66	28.81	3.53
4	32.5	14.71	4.6	25.14	3.39
5	35	7.56	-	21.38	-



รูปที่ 4.32 อัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1-5

จากการทดลองพบว่าค่า first-SPRR และ first-SPUR แปรผันตามอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำมีปริมาณพีเอไออยู่มากกว่า (พิจารณาจากค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์) อีกทั้งพีเอไอสามารถทำงานได้ดีกว่าเมื่ออยู่ในระบบที่มีอุณหภูมิสูง

4.2 ผลการทดลองการเปลี่ยนอุณหภูมิและการวิเคราะห์ผล

การศึกษาผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิของระบบที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ ประกอบด้วย การทดลอง 4 ชุด โดยแต่ละชุดทำต่อเนื่องจากการทดลองที่สถานะคงตัว รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองเป็นดังนี้

ชุดการทดลองที่ 6 ได้แก่การศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 5 °ซ. ทำการทดลองตั้งแต่อุณหภูมิ 20-35 °ซ.

ชุดการทดลองที่ 7 ได้แก่การศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิของระบบวันละ 1 °ซ. ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25-35 °ซ.

ชุดการทดลองที่ 8 ได้แก่การศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน โดยทำการลดอุณหภูมิของระบบครั้งละ 5 °ซ. ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35-20 °ซ.

ชุดการทดลองที่ 9 ได้แก่การศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป โดยทำการลดอุณหภูมิของระบบวันละ 1 °ซ. ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30-20 °ซ.

ผลการศึกษากการเปลี่ยนอุณหภูมิของระบบทั้ง 4 ชุดการทดลองได้นำเสนอโดยละเอียดแยกตามชุดการทดลองดังต่อไปนี้

4.2.1 การเพิ่มอุณหภูมิของระบบแบบเฉียบพลัน

การทดลองชุดที่ 6 นี้ทำต่อเนื่องจากชุดการทดลองที่ 1 (20 °ซ.) โดยเมื่อสิ้นสุดการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถานะคงตัวแล้ว จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิของระบบเป็น 25, 30 และ 35 °ซ. ตามลำดับ แต่ครั้งที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิผู้วิจัยได้เดินระบบที่อุณหภูมินั้น ๆ เป็นเวลา 10 วัฏจักร และทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกและปลายสภาวะแอโรบิก ผลการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 4.22 ค่าอายุสลัดจ์เฉลี่ยเท่ากับ 8.8 วัน เมื่อเดินระบบที่อุณหภูมิ 35 °ซ. ได้ 3 วัฏจักรพบว่าเกิดการคายฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ ซึ่งแสดงว่าระบบไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อีกต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.33

ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง แต่ที่ปลายสภาวะแอโรบิกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง(วัฏจักรที่ 0,20°ซ.) ค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 7.0 มก./ล. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าเท่ากับ 5.7 มก./ล. โดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เหมือนกันตลอดการทดลองชุดนี้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (20-35 องศาเซลเซียส)

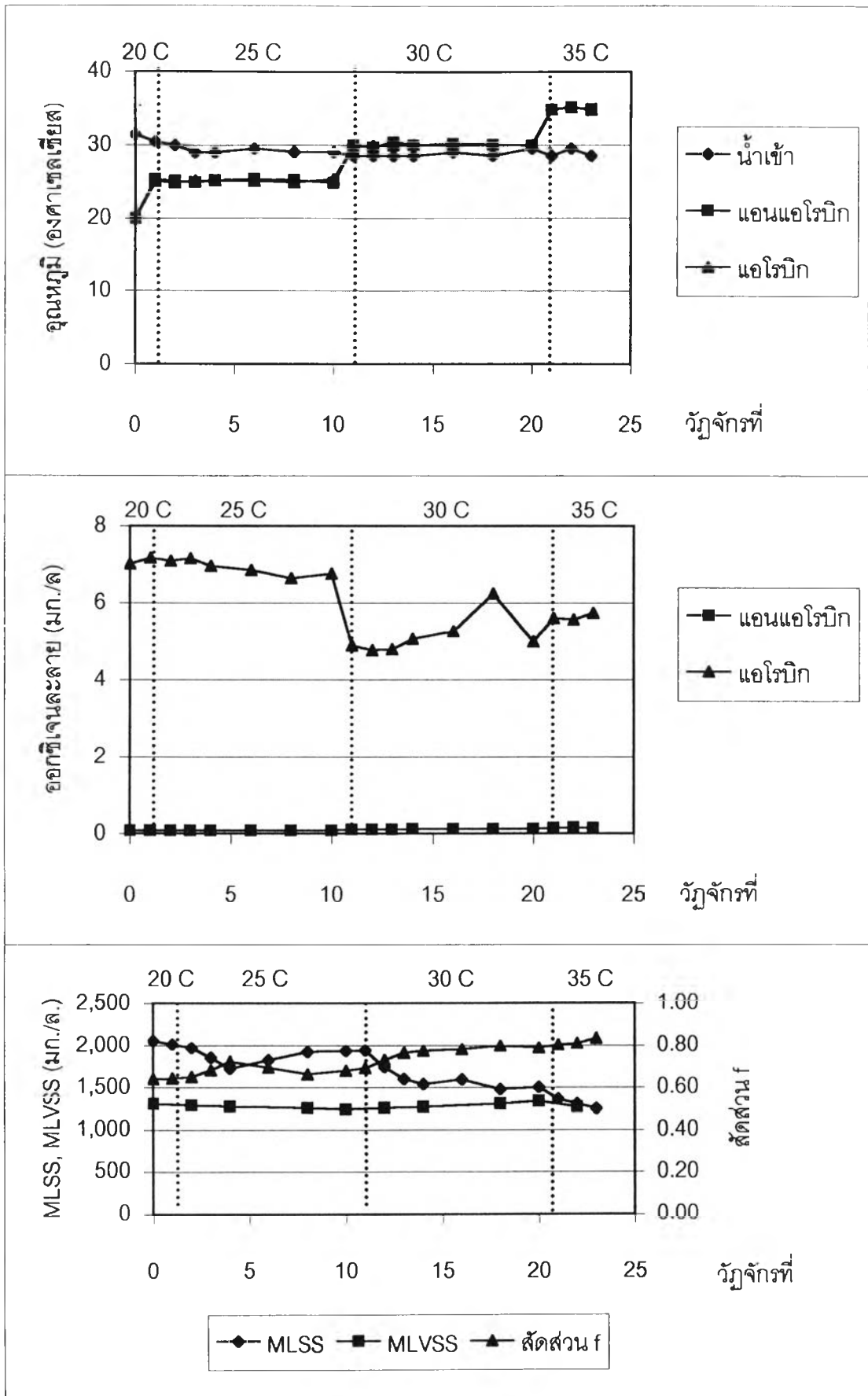
เทียบกับที่สถานะคงตัว

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	20 ° C		25 ° C		30 ° C		35 ° C	
		ana	aer	ana	aer	ana	aer	ana	aer
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	2050	-	1930	-	1500	-	1250
	-	-	(2003)	-	(1658)	-	(1210)	-	(1040)
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	-	-	1310	-	1310	-	1180	-	1040
	-	-	(1281)	-	(1266)	-	(957)	-	(853)
สัดส่วน f	-	-	0.64	-	0.68	-	0.79	-	0.83
	-	-	(0.64)	-	(0.76)	-	(.79)	-	(.82)
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	-	-	8	-	26	-	48	-	60
	-	-	(28)	-	(15)	-	(17)	-	(40)
เอสวี30 (มล./ล.)	-	-	120	-	180	-	220	-	280
	-	-	(101)	-	(60)	-	(61)	-	(203)
เอสวีไอ (มล./ก.)	-	-	59	-	94	-	147	-	224
	-	-	(50)	-	(36)	-	(50)	-	(260)
สภาพต่าง (มก.หินปูน/ล.)	305	371	339	355	333	360	320	336	322
		(370)	(344)	(383)	(341)	(369)	(348)	(367)	(343)
พีเอช	6.53	7.16	8.37	7.11	8.22	7.08	7.89	7.08	8.08
		(6.93)	(7.99)	(7.06)	(8.02)	(7.07)	(8.12)	(7.07)	(8.26)
วีเอฟเอ (มก.อะซิติก/ล.)	193	56	22	52	22	114	72	126	79
		(52)	(22)	(58)	(25)	(36)	(24)	(90)	(25)
ซีไอดี (มก./ล.)	299	19	19	11	11	113	54	201	149
		(9)	(6)	(20)	(8)	(9)	(4)	(187)	(26)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)		94		96		82		50	
		(98)		(97)		(99)		(91)	
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	15.4	71	0.9	77.2	6.8	48.5	28.7	33.3	36.1
		(73.3)	(0.4)	(55.8)	(6.4)	(44.2)	(9.1)	(15.9)	(12.0)
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)		94		56		ไม่กำจัด		ไม่กำจัด	
		(97)		(58)		(40)		(20)	
สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)			14.8		11.7		5.1		1.9
			(14.8)		(10.4)		(8.2)		(3.4)
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	12.2	2.9	0.9	2.9	0.9	9.1	4.3	10.6	8.2
		(2.1)	(0.6)	(2.7)	(0.4)	(3.6)	(1.6)	(5.1)	(2.3)

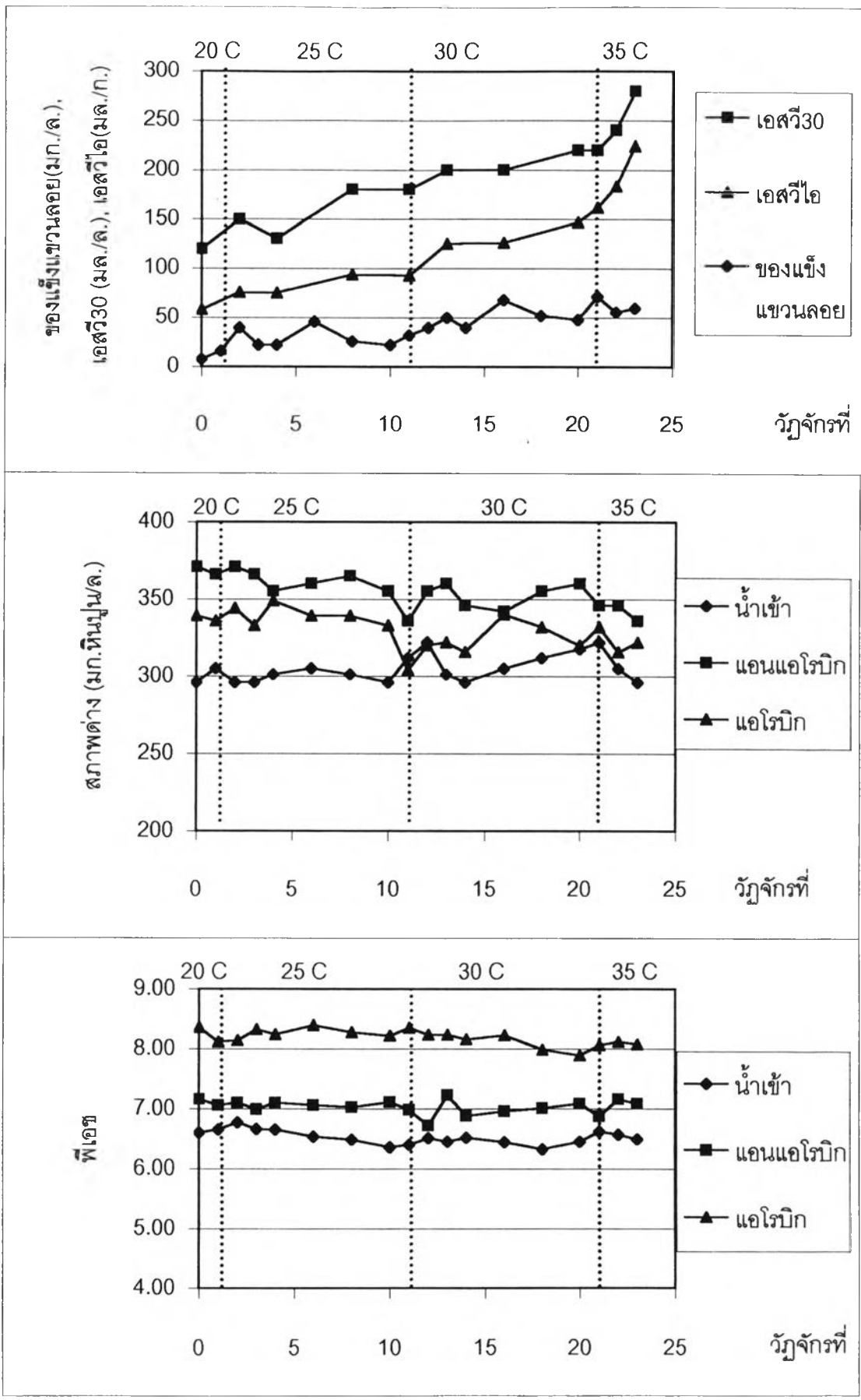
หมายเหตุ ana ได้แก่ปลายสภาวะแอนแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

aer ได้แก่ปลายสภาวะแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

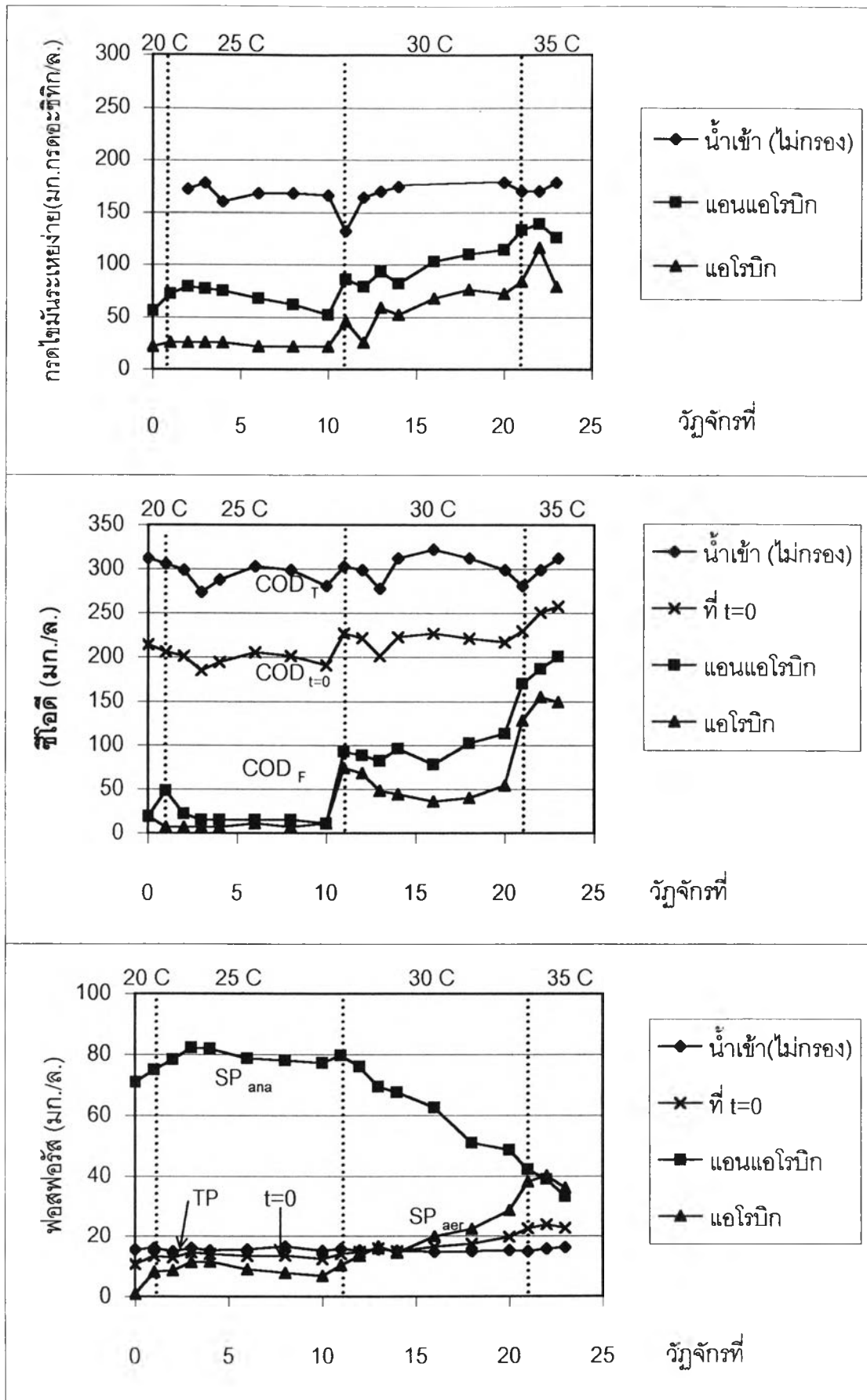
ตัวเลขในวงเล็บคือผลการทดลองที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ 5



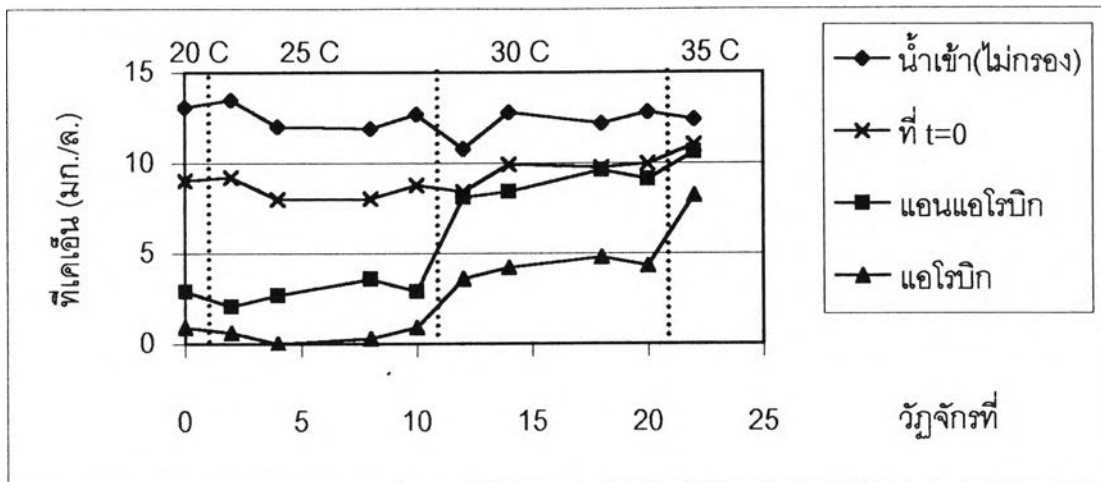
รูปที่ 4.33 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (20-35 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.33 (ต่อ) ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (20-35 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.33(ต่อ) ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (20-35 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.33(ต่อ) ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (20-35 องศาเซลเซียส)

ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าเริ่มต้นการทดลองที่ 2,050 มก./ล. และ 1,310 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบเป็น 25 °ซ. ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสลดลงไม่มากนัก แตกต่างจากช่วงเดินระบบที่ 30 °ซ. ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งสองลดลงค่อนข้างมาก เนื่องจากมีเซลล์จุลชีพออกจากระบบพร้อมกับน้ำใสมากขึ้นและการสร้างเซลล์จุลชีพลดลง การเพิ่มอุณหภูมิของระบบแบบเฉียบพลันมีผลต่อสมบัติการตกตะกอนของสลัดจ์อย่างชัดเจน กล่าวคือค่าเอสวี30และเอสวีไอมีค่าสูงขึ้นโดยเฉพาะเมื่อเดินระบบที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °ซ. สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนที่ 1 (ชุดการทดลองที่ 1-5) ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิสูงสลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดี ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งในช่วงอุณหภูมิ 30-35 °ซ. มีค่าสูงเมื่อเทียบกับการเดินระบบที่ 25 °ซ. ทั้งนี้เนื่องจากสลัดจ์ตกตะกอนไม่ดีและจุลชีพบางส่วนตายลงเนื่องจากถูกช็อคด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 35 °ซ. ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

อุณหภูมิ 25 °ซ. : เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบจาก 20 เป็น 25 °ซ. โดยทันที ในช่วงแรกพบว่าการจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ของจุลชีพลดลง เนื่องจากจุลชีพยังไม่คุ้นเคยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เมื่อเข้าสู่วัฏจักรที่ 3 พีเอโอปรับตัวโดยจับใช้คาร์บอนได้มากกว่าสองวัฏจักรแรกแต่อย่างไรก็ตามที่วัฏจักรที่ 10 ซึ่งเป็นวัฏจักรสุดท้ายของอุณหภูมิ 25 °ซ. การจับใช้คาร์บอนก็ยังมีย่อยกว่าเมื่อเทียบกับก่อนการเพิ่มอุณหภูมิของระบบ การที่อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้นอย่างเฉียบ

พลันทำให้พีเอไอต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการพยายามจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ให้ได้เช่นเดิม ฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกจึงมีค่าสูงขึ้น จากเดิมที่อุณหภูมิ 20 °ซ. มีค่า 71 มก./ล. เพิ่มเป็น 77 มก./ล. ในวัฏจักรที่ 10 ที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกค่าฟอสฟอรัสละลายมีค่าสูงขึ้น ตั้งแต่ในวัฏจักรแรกของการเพิ่มอุณหภูมิ จาก 0.9 มก./ล. ที่ 20 °ซ. เป็น 8.0 มก./ล. ที่ 25 °ซ. และมีค่าสูงสุดคือ 11.5 มก./ล. ในวัฏจักรที่ 3 เมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 10 ฟอสฟอรัสละลายในสภาวะ แอนแอโรบิกมีค่าเท่ากับ 6.8 มก./ล. ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองชุดที่ 2 (25 °ซ. ที่สถานะคงตัว) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.4 มก./ล. การจับใช้ฟอสฟอรัสของพีเอไอมีแนวโน้มลดลงด้วย โดยเฉพาะในสอง วัฏจักรแรกของการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งจะเห็นได้จากสัดส่วนของฟอสฟอรัสในเซลล์มีค่าลดลงจากร้อยละ 14.8 ที่ 20 °ซ. เป็นร้อยละ 11.7 เมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 10 ส่วนการจับใช้ในโตรเจนของพีเอไอไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยค่าที่เคเอ็นของระบบที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าอยู่ในช่วง 2.1-3.6 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบกับตอนเริ่มต้นชุดการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.9 มก./ล. ส่วนที่สภาวะ แอนแอโรบิกก็ยังคงมีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นโดยค่าที่เคเอ็นที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าใกล้เคียงกับก่อนเพิ่มอุณหภูมิซึ่งแสดงว่าไนตริฟายอิงแบคทีเรียสามารถปรับตัวได้

อุณหภูมิ 30 °ซ. : เมื่ออุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้นทันทีจาก 25 °ซ. เป็น 30 °ซ. พีเอไอยังคงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในสภาวะแอนแอโรบิกซึ่งแสดงให้เห็นว่าพีเอไอยังคงพยายามจับใช้อาร์บีโอติอยู่ อย่างไรก็ตามค่าซีโอติที่ถูกจับใช้ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวัฏจักรที่ 20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการถูกช็อคด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลันเป็นครั้งที่สอง ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าถึง 5 °ซ. ทำให้พีเอไอทำงานได้ไม่ดี เมื่อเทียบกับการเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน ครั้งแรก ค่าฟอสฟอรัสที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยในวัฏจักรที่ 13 มีค่าใกล้เคียงกับค่าฟอสฟอรัสละลายในน้ำเข้า การที่ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าสูงประการหนึ่งเนื่องจากการจับใช้อาร์บีโอติและการสะสมพีเอชเอในสภาวะแอนแอโรบิกลดลงทำให้การจับใช้ฟอสฟอรัสลดลงด้วย อีกประการหนึ่งอาจเนื่องจากพีเอไอบางส่วนตายลงเพราะไม่สามารถทำงานได้เลยเมื่อถูกช็อคด้วยอุณหภูมิ ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เก็บสะสมอยู่ในเซลล์ละลายออกมาอยู่ในระบบ สอดคล้องกับค่าเอ็มแอลวีเอสเอสของระบบซึ่งมีค่าลดลงที่อุณหภูมินี้(ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว) และเมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสในเซลล์พบว่ามีค่าลดลงอย่างมาก กล่าวคือเมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 20 ค่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสในเซลล์เท่ากับร้อยละ 5.1 ซึ่งน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3 (30 °ซ. ที่สถานะคงตัว)ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 8.2 ดังแสดงในตารางที่ 4.22 การกำจัดที่เคเอ็นในสภาวะแอนแอโรบิกมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ส่วนที่สภาวะแอนแอโรบิกพบว่ายังมีไนตริ

พีเคชันเกิดขึ้นโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิของระบบเพิ่มเป็น 30°C . ซึ่งเหมาะสมกับไนตริฟายอิงแบคทีเรียมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิ 35°C . : เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบทันทีอีก 5°C . เป็น 35°C . พีเอไอไม่สามารถทำงานได้ ค่าวีเอฟเอและซีไอดีที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าใกล้เคียงกับที่เวลา $t = 0$ นั่นคือแทบไม่มีการจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าลดลงตั้งแต่วัฏจักรแรกของการเพิ่มอุณหภูมิ ส่วนที่ปลายสภาวะแอโรบิกค่าฟอสฟอรัสละลายมีค่าสูงขึ้นจนเกือบเท่ากับในสภาวะแอนแอโรบิก แสดงให้เห็นว่าไม่มีการจับใช้ฟอสฟอรัสเกิดขึ้นเนื่องจากพีเอไอไม่สามารถทนการช็อคที่อุณหภูมินี้ได้ทำให้พีเอไอบางส่วนตายลงและฟอสฟอรัสในเซลล์ละลายออกมาอยู่ในระบบมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการคายฟอสฟอรัสออกจากเซลล์

ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบที่อุณหภูมิ 25°C . เท่ากับร้อยละ 96 ซึ่งใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 (25°C . ที่สถานะคงตัว) ส่วนที่อุณหภูมิ 30 และ 35°C . มีค่าเท่ากับร้อยละ 82 และ 50 ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 3 และ 5 (30 และ 35°C . ที่สถานะคงตัว) ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเท่ากับร้อยละ 99 และ 91 ตามลำดับ นั่นคือพีเอไอในระบบยังคงทำงานได้

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิ 25°C . มีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 (25°C . ที่สถานะคงตัว) ในขณะที่อุณหภูมิ 30 และ 35°C . ไม่มีการกำจัดฟอสฟอรัสเนื่องจากเกิดการคายฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ดังได้กล่าวแล้ว

4.2.2 การเพิ่มอุณหภูมิของระบบแบบค่อยเป็นค่อยไป

การทดลองชุดที่ 7 นี้ทำต่อเนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 (25°C .) โดยเพิ่มอุณหภูมิของระบบวันละ 1°C . และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิกจนกระทั่งอุณหภูมิของระบบเป็น 35°C . ผลการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สรุปไว้ในตารางที่ 4.23 ชุดการทดลองที่ 7 นี้มีระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง 10 วัน โดยมีค่าอายุสัต์จ์เฉลี่ยเท่ากับ 8.8 วัน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.34

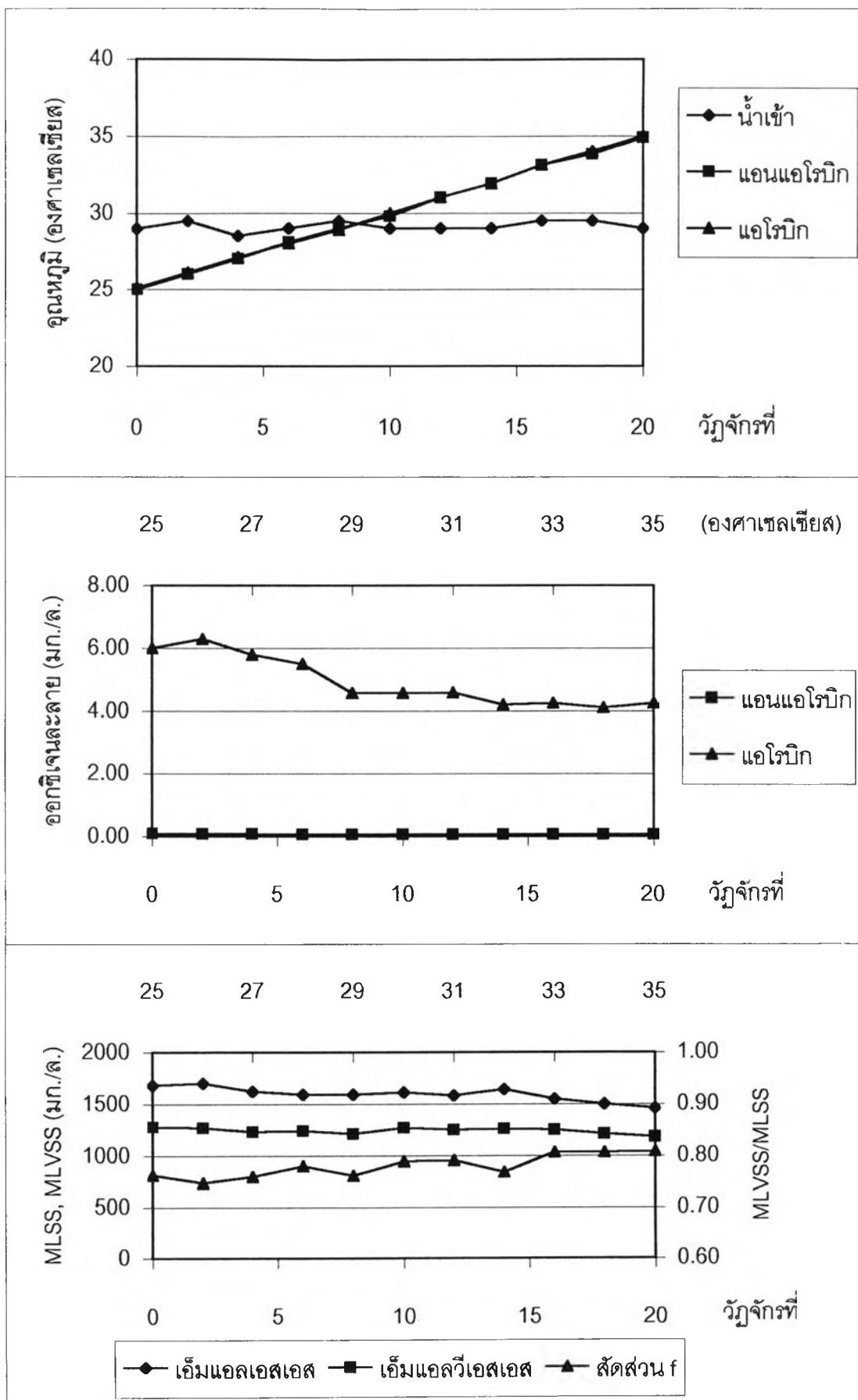
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป(25-35 องศาเซลเซียส)
เทียบกับที่สถานะคงตัว

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	25 ° C		30 ° C		35 ° C	
		ana	aer	ana	aer	ana	aer
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	1680	-	1610	-	1460
	-	-	(1658)	-	(1210)	-	(1040)
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	-	-	1280	-	1270	-	1180
	-	-	(1266)	-	(957)	-	(853)
สัดส่วน f	-	-	0.76	-	0.79	-	0.81
	-	-	(0.76)	-	(.79)	-	(.82)
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	-	-	24	-	26	-	86
	-	-	(15)	-	(17)	-	(40)
เอสวี30 (มล./ล.)	-	-	60	-	80	-	80
	-	-	(60)	-	(61)	-	(203)
เอสวีไอ (มล./ก.)	-	-	36	-	50	-	55
	-	-	(36)	-	(50)	-	(260)
สภาพต่าง (มก.หินปูน/ล.)	321	370	322	360	327	368	332
		(383)	(341)	(369)	(348)	(367)	(343)
พีเอช	6.47	6.95	8.01	7.15	7.94	7.05	7.95
		(7.06)	(8.02)	(7.07)	(8.12)	(7.07)	(8.26)
วีเอฟเอ (มก.อะซิติก/ล.)	187	52	22	55	17	71	26
		(58)	(25)	(36)	(24)	(90)	(25)
ซีไอดี (มก./ล.)	304	12	7	30	15	52	35
		(20)	(8)	(9)	(4)	(187)	(26)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)		98		95		88	
		(97)		(99)		(91)	
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	15.0	54.8	6	65.5	10.4	66.3	13.7
		(55.8)	(6.4)	(44.2)	(9.1)	(15.9)	(12.0)
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)		60		31		9	
		(58)		(40)		(20)	
สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)			10.2		8.7		6.1
			(10.4)		(8.2)		(3.4)
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	13.0	3	0.6	5.1	3.2	6.9	4.3
		(2.7)	(0.4)	(3.6)	(1.6)	(5.1)	(2.3)

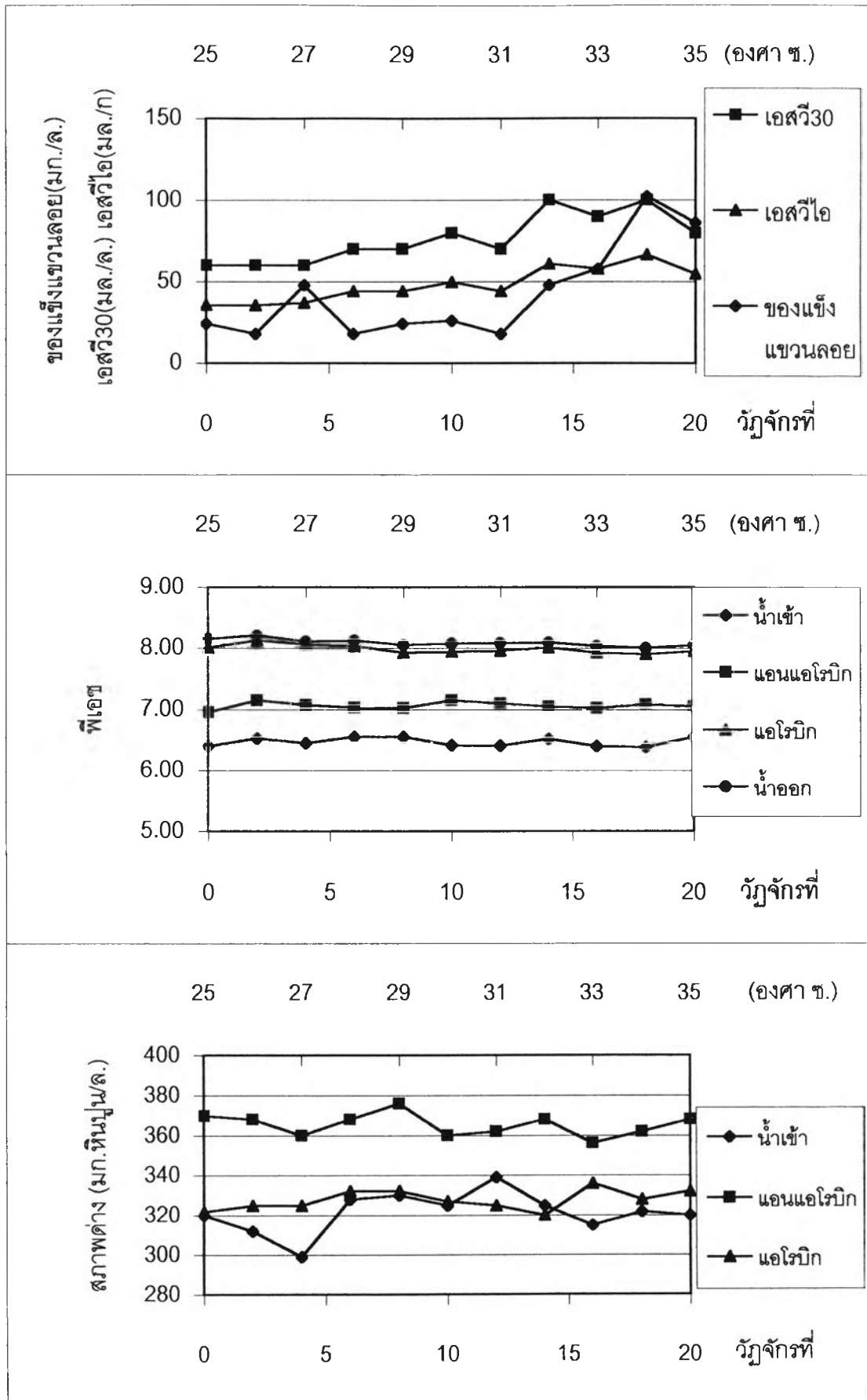
หมายเหตุ ana ได้แก่ปลายสภาวะแอนแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

aer ได้แก่ปลายสภาวะแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

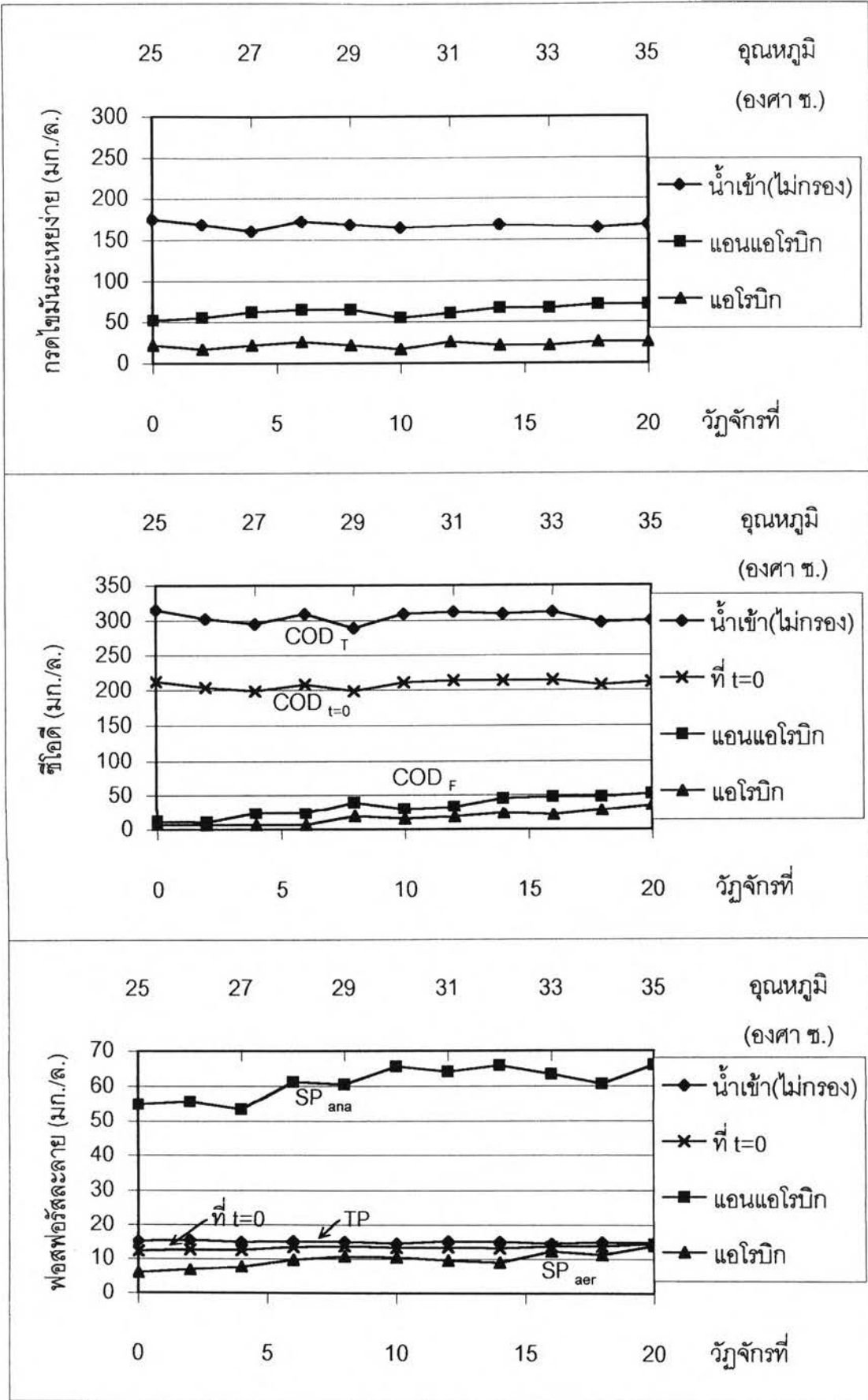
ตัวเลขในวงเล็บคือผลการทดลองที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 2,3 และ 5



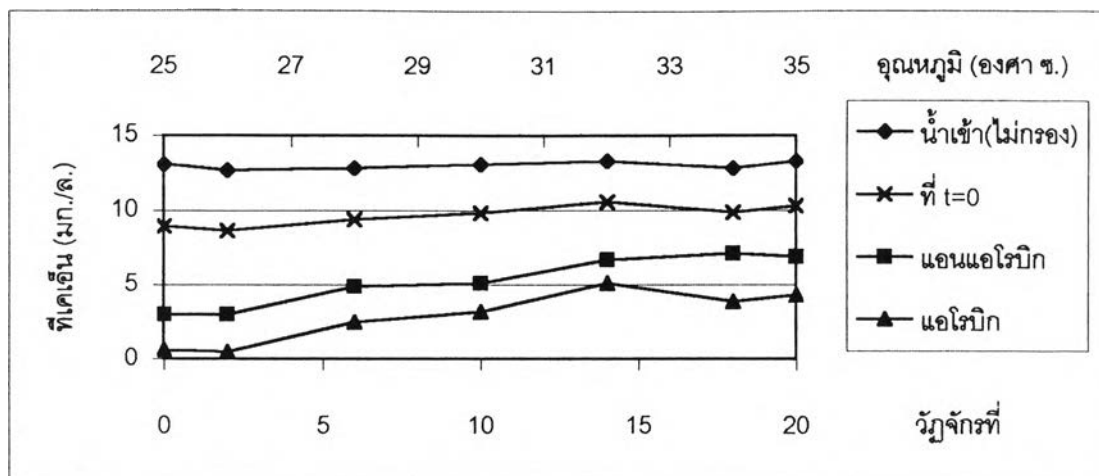
รูปที่ 4.34 ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (25 - 35 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.34(ต่อ) ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (25-35 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.34 (ต่อ) ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (25-35 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.34(ต่อ) ผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (25-35 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลองพบว่า ค่าออกซิเจนละลายที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ส่วนที่ปลายสภาวะแอโรบิกค่าออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงโดยเมื่อเริ่มต้นการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำที่อุณหภูมิ 25 °ซ. เท่ากับ 6.0 มก./ล. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 4.2 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.23 ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลงอีกทั้งการเกิดเมแทบอลิซึมเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสมีแนวโน้มลดลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับการเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าอยู่ที่ 1,680 มก./ล. และ 1,280 มก./ล. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 1,460 มก./ล. และ 1,180 มก./ล. ตามลำดับ สัดส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสมีแนวโน้มสูงขึ้นจากเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.76 และที่อุณหภูมิ 35 °ซ. ซึ่งเป็นอุณหภูมิสุดท้ายของชุดการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.81 สอดคล้องกับสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิสลัดจ์ตกตะกอนได้ดีมีการแยกชั้นสลัดจ์กับชั้นน้ำใสอย่างชัดเจน ที่อุณหภูมิ 26-30 °ซ. ค่าเอสวีไอมีค่าต่ำกว่า 50 มล./ก. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบจนถึงช่วงท้ายของการทดลองพบว่าสลัดจ์เริ่มตกตะกอนได้ไม่ดีนักและค่าเอสวีไอมีค่าสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 32-35 °ซ. พบว่าขนาดของฟล็อกใหญ่กว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองและมีลักษณะเป็นปุย ค่าของแข็งแขวนลอยที่อุณหภูมินี้มีค่าสูงขึ้นมาก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 34-35 °ซ. มีค่าเท่ากับ 86-102 มก./ล. ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนที่ 1

ค่าที่เคเอ็นที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้พีเอไอทำงานได้ไม่ดี การจับใช้ในโตรเจนในสภาวะแอนแอโรบิกจึงลดลง ส่วนที่ปลาย

สภาวะแอมโรบิกค่าที่เคเอ็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกันแม้ในไตรฟายอิงแบคทีเรียสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเริ่มต้นการทดลองจากระบบที่สถานะคงตัวที่ 25°C. ซึ่งมีปริมาณไนไตรฟายอิงแบคทีเรียอยู่ค่อนข้างน้อย (หมายเหตุ : พิจารณาจากการเติมไนโตรเจนเข้าระบบให้เกินพอดีเพียงเล็กน้อย และซีไอดีเมื่อเริ่มต้นสภาวะแอมโรบิกมีน้อยซึ่งเป็นไปได้ว่าสภาวะดังกล่าวอาจจำกัดระบบให้มีไนไตรฟายอิงแบคทีเรียอยู่ไม่มากนัก) ดังนั้นการกำจัดที่เคเอ็นในสภาวะแอมโรบิกจึงเพิ่มขึ้นได้ไม่มากนักแม้ว่าเริ่มต้นสภาวะแอมโรบิกจะมีปริมาณที่เคเอ็นสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็ตาม อีกประการหนึ่งคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าซีไอดีที่ปลายสภาวะแอมโรบิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั่นคือเมื่อเข้าสู่สภาวะแอมโรบิกยังคงมีคาร์บอนเหลืออยู่ ทำให้มีการแย่งจับใช้คาร์บอนระหว่างไนไตรฟายอิงแบคทีเรียและโอเอสไอ ส่งผลให้ไนไตรฟายอิงแบคทีเรียทำงานได้ไม่เต็มที่นักแม้จะเป็นสภาวะที่เอื้อต่อการทำงาน(อุณหภูมิสูง)ก็ตาม

ค่าซีไอดีทรงที่ปลายสภาวะแอมโรบิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 12 มก./ล.และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อุณหภูมิ 35°C. มีค่าเท่ากับ 52 มก./ล. นั่นคือตลอดการทดลองพีเอไอยังสามารถจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ได้ แตกต่างจากการทดลองชุดที่ 6 ที่อุณหภูมิ 35°C. ซึ่งการจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ในสภาวะแอมโรบิกมีน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าพีเอไอสามารถปรับตัวรับกับการเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 5 (35°C. ที่สถานะคงตัว) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่อุณหภูมิ 35°C. ของชุดการทดลองที่ 7 นี้มีค่าสูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทดลองเริ่มต้นจากระบบที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในสภาวะแอมโรบิกค่อนข้างสูงและจุลชีพในระบบสามารถปรับตัวได้ดี อย่างไรก็ตามจากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าซีไอดีในสภาวะแอมโรบิกชี้ให้เห็นว่าถ้าเดินระบบที่อุณหภูมิ 35°C. ต่อไป ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในสภาวะแอมโรบิกอาจมีแนวโน้มลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 5 (35°C. ที่สถานะคงตัว) ก็เป็นไปได้

การเพิ่มอุณหภูมิของระบบแบบค่อยเป็นค่อยไป ส่งผลให้ในสภาวะแอมโรบิกพีเอไอปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาจากเซลล์มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพีเอไอต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ ส่งผลให้ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอมโรบิกมีค่าสูงขึ้นโดยมีค่าเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 54.8 มก./ล. และ 66.3 มก./ล. ตามลำดับ การจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะแอมโรบิกเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย สอดคล้องกับค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ซึ่งเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าร้อยละ 10.2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.1

เมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไปที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °ซ. กับ ผลการทดลองชุดที่ 3 และ 5 (30 และ 35 °ซ. ที่สถานะคงตัว) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด ฟอสฟอรัสของระบบที่อุณหภูมิ 30 และ 35 °ซ. ของชุดการทดลองนี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 31 และ 9 ส่วนชุดการทดลองที่ 3 และ 5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 40 และ 20 ตามลำดับ นั่นคือประสิทธิภาพการ กำจัดฟอสฟอรัสของชุดการทดลองที่ 7 นี้มีค่าต่ำกว่า แต่เมื่อพิจารณาการจับใช้ฟอสฟอรัสใน สภาวะแอโรบิกที่อุณหภูมิเดียวกันแล้วพบว่ามีความสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3 และ 5 ซึ่งอาจเป็น เพราะระบบเริ่มต้นด้วยปริมาณพีเอไอที่มากกว่าหรือพีเอไอที่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่า (คิดจากสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์) และพีเอไอสามารถปรับตัวได้ดังกล่าวแล้ว อย่างไรก็ตามจาก แนวโน้มค่าฟอสฟอรัสละลายในสภาวะแอโรบิกที่เพิ่มขึ้นและการจับใช้ฟอสฟอรัสที่ลดลง ชี้ให้เห็น ว่าแม้ระบบมีการปรับตัวให้รับกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป แต่ถ้าเดินระบบต่อไปที่อุณหภูมิ 35 °ซ. **ฟอสฟอรัสในระบบอาจถูกระบายออกจนมีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 5 (35 °ซ. ที่สถานะคง ตัว) ก็เป็นไปได้**

ผลการทดลองชุดที่ 7 นี้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 6 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของ ระบบทั้งสองแบบ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบลดลง แต่อย่างไรก็ตามพีเอไอ สามารถปรับตัวกับการเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไปวันละ 1 °ซ. ได้ดีกว่าแบบเฉียบพลันโดย พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อุณหภูมิ 35 °ซ. พีเอไอก็ยังสามารถปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัส ได้ซึ่งแตกต่างจากการเพิ่มอุณหภูมิแบบเฉียบพลันซึ่งพีเอไอถูกช็อคด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างทันที จนไม่สามารถทำงานได้อีกต่อไป การเพิ่มอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไปนี้หากทำในระยะเวลาที่ไม่ นานนักและมีการลดอุณหภูมิของระบบกลับลงมา อาจมีความเป็นไปได้ที่พีเอไอจะสามารถกลับ มาทำงานได้อีก เนื่องจากยังไม่สูญเสียความสามารถในการทำงานดังเช่นพีเอไอในชุดการ ทดลองที่ 6 ซึ่งถูกช็อคด้วยอุณหภูมิดังได้กล่าวแล้ว

4.2.3 การลดอุณหภูมิของระบบแบบเฉียบพลัน

การทดลองชุดที่ 8 นี้ทำต่อเนื่องจากชุดการทดลองที่ 5 (35 °ซ. ที่สถานะคงตัว) โดยทำ การลดอุณหภูมิของระบบเป็น 30, 25 และ 20 °ซ. ตามลำดับ แต่ครั้งที่ลดอุณหภูมิได้เดินระบบ ที่อุณหภูมินั้น ๆ เป็นเวลา 10 วันจักร รวมระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง 30 วันจักร โดยมีค่า อายุสลัดจ์เฉลี่ยเท่ากับ 13.8 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.35

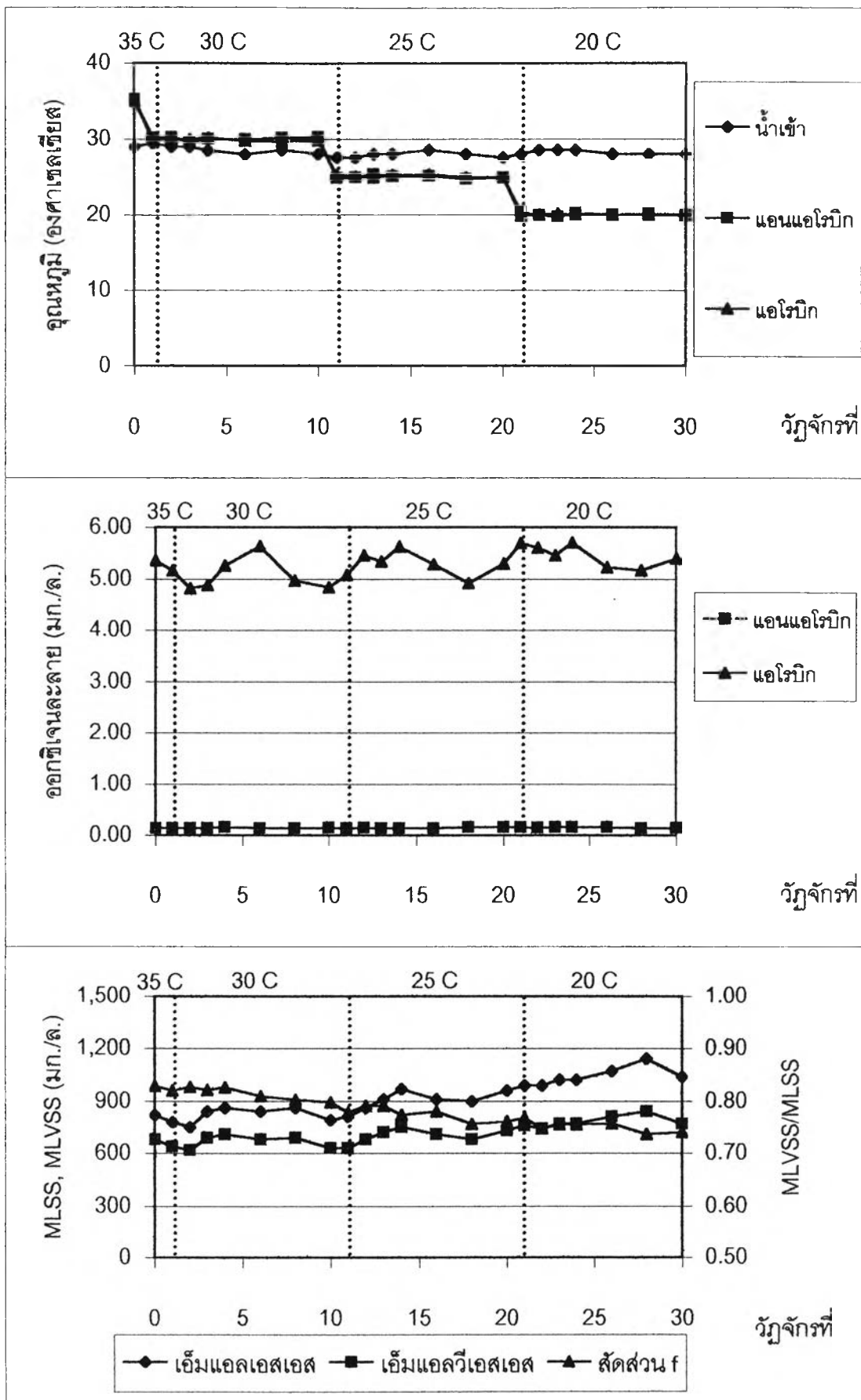
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (35-20 องศาเซลเซียส)
เทียบกับที่สถานะคงตัว

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	35 ° C		30 ° C		25 ° C		20 ° C	
		ana	aer	ana	aer	ana	aer	ana	aer
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-		820		800		960		1100
	-	-	(1040)	-	(1210)	-	(1658)	-	(2003)
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	-	-	680	-	630	-	730	-	770
	-	-	(853)	-	(957)	-	(1266)	-	(1281)
สัดส่วน f	-	-	0.83	-	0.79	-	0.76	-	0.7
	-	-	(.82)	-	(.79)	-	(0.76)	-	(0.64)
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	-	-	28	-	28	-	8	-	16
	-	-	(40)	-	(17)	-	(15)	-	(28)
เอสวี30 (มล./ล.)	-	-	200	-	200	-	160	-	150
	-	-	(203)	-	(61)	-	(60)	-	(101)
เอสวีไอ (มล./ก.)	-	-	244	-	233	-	167	-	132
	-	-	(260)	-	(50)	-	(36)	-	(50)
สภาพต่าง (มก.หินปูน/ล.)	314	369	343	371	340	371	338	365	338
		(367)	(343)	(369)	(348)	(383)	(341)	(370)	(344)
พีเอช	6.46	7.09	8.1	6.96	8.01	7.02	8.14	7.05	8.26
		(7.07)	(8.26)	(7.07)	(8.12)	(7.06)	(8.02)	(6.93)	(7.99)
วีเอฟเอ (มก.อะซิติก/ล.)	201	87	26	76	31	79	31	59	28
		(90)	(25)	(36)	(24)	(58)	(25)	(52)	(22)
ซีไอดี (มก./ล.)	304	178	22	169	26	153	44	64	16
		(187)	(26)	(9)	(4)	(20)	(8)	(9)	(6)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)		93		91		92		95	
		(91)		(99)		(97)		(98)	
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	15.3	16.6	12.4	18.9	9.3	18.9	6.5	34	5.6
		(15.9)	(12.0)	(44.2)	(9.1)	(55.8)	(6.4)	(73.3)	(0.4)
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)		19		39		58		63	
		(20)		(40)		(58)		(97)	
สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)			3.0		5.6		8.2		9.8
			(3.4)		(8.2)		(10.4)		(14.8)
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	9.7	4.3	2.6	5.6	2	4.8	1.4	3.2	2.3
		(5.1)	(2.3)	(3.6)	(1.6)	(2.7)	(0.4)	(2.1)	(0.6)

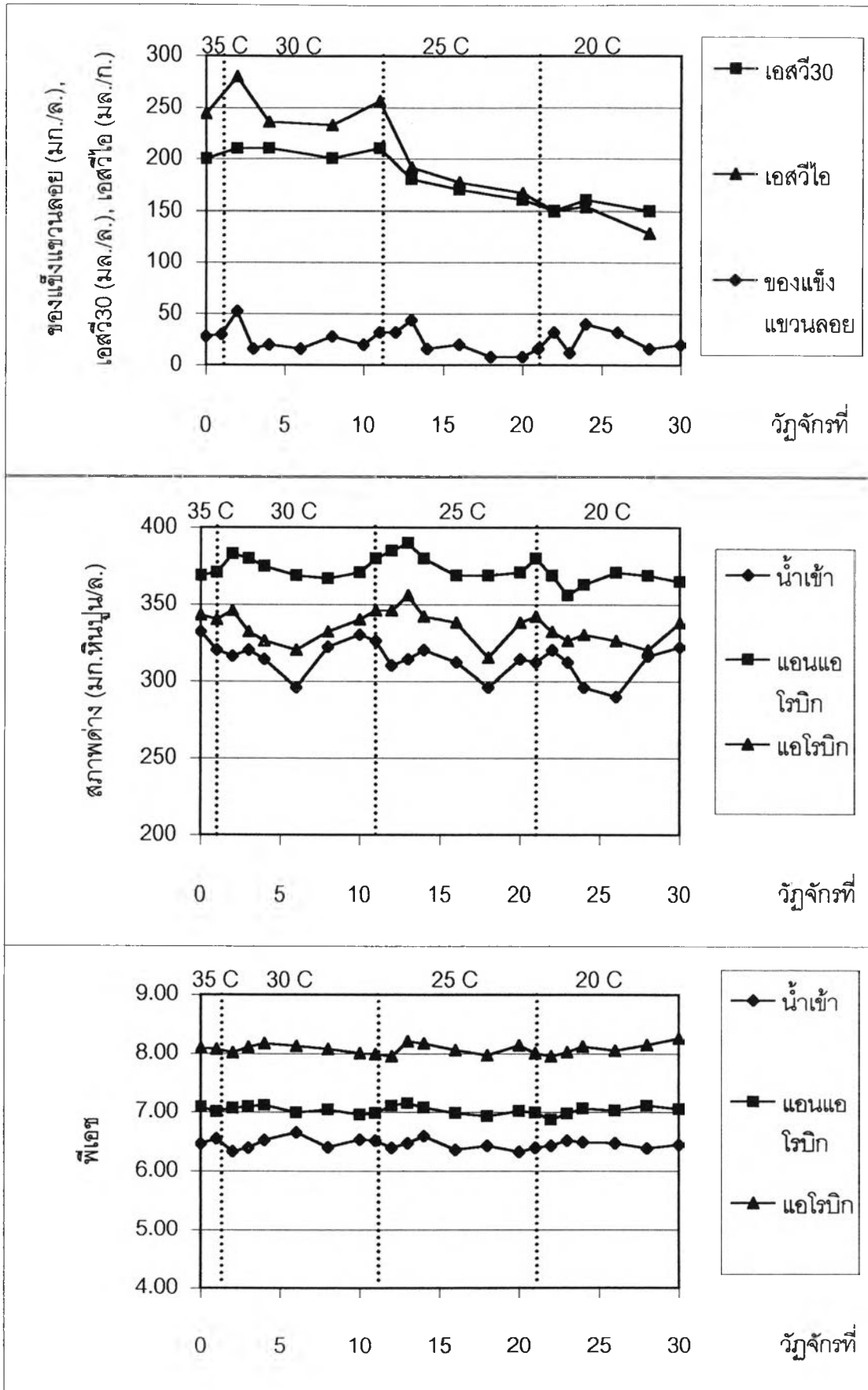
หมายเหตุ ana ได้แก่ปลายสภาวะแอนแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

aer ได้แก่ปลายสภาวะแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

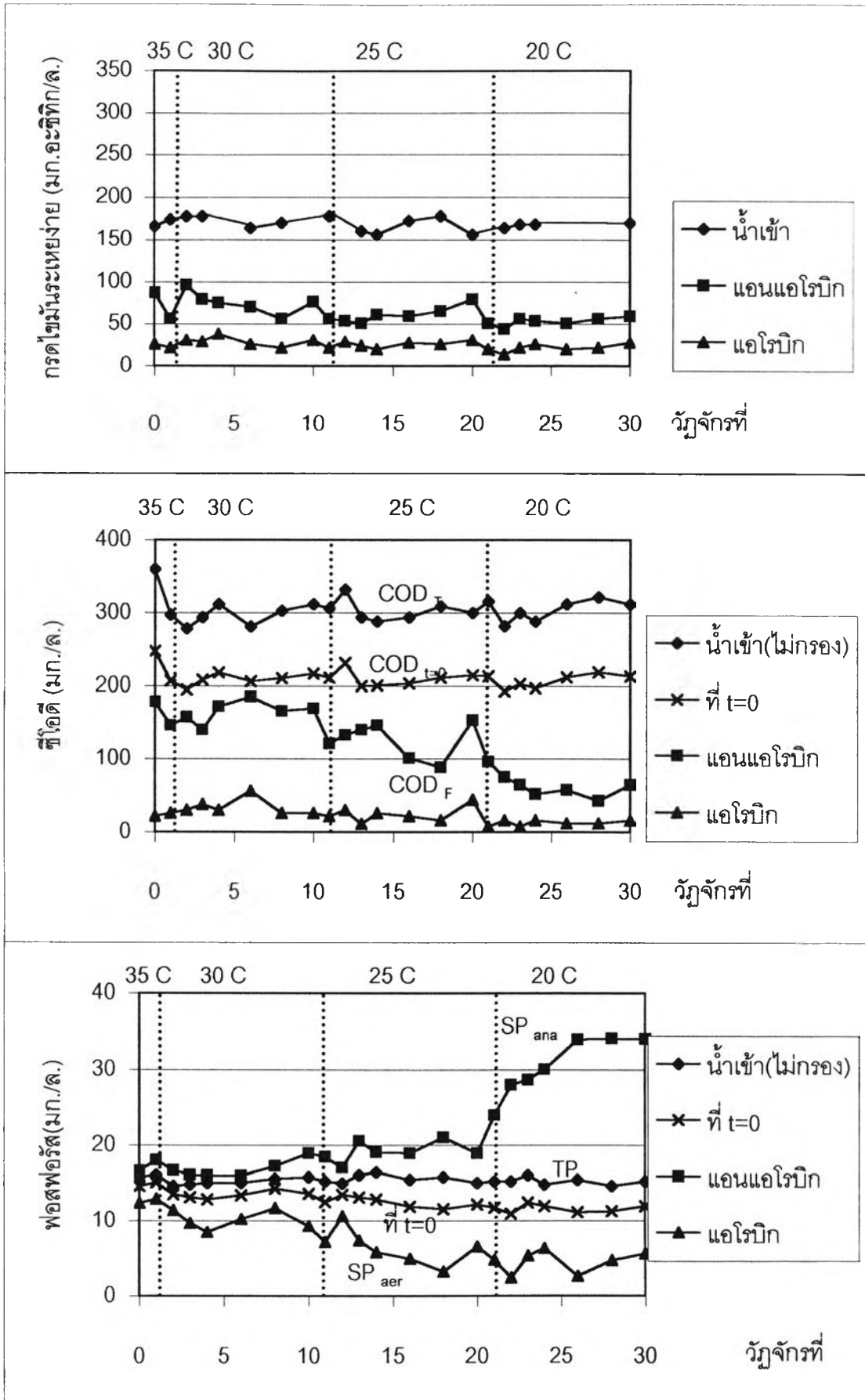
ตัวเลขในวงเล็บคือผลการทดลองที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1,2,3 และ 5



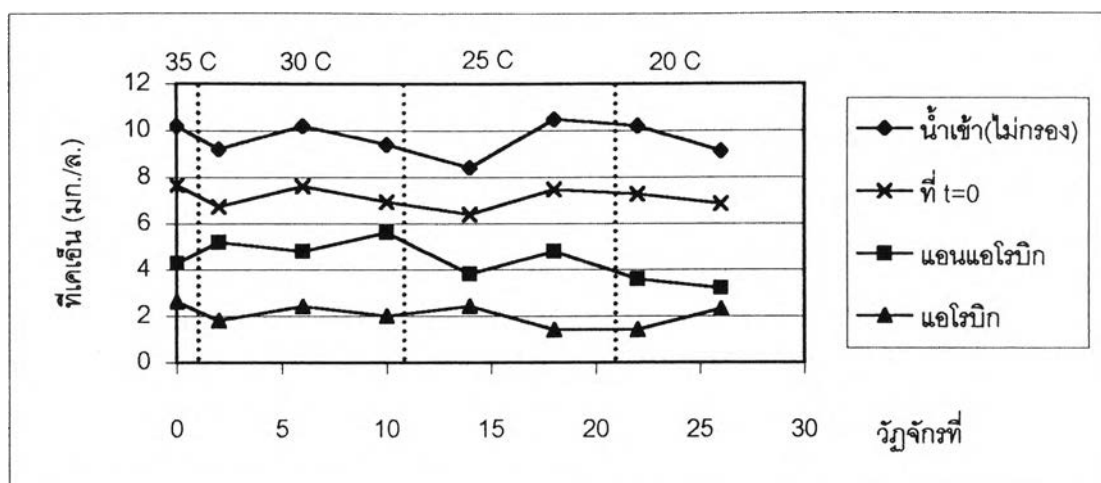
รูปที่ 4.35 ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (35-20 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.35 (ต่อ) ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน(35-20 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.35(ต่อ) ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (35-20 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.35 (ต่อ) ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลัน (35-20 องศาเซลเซียส)

อุณหภูมิ 30 °ซ. : เมื่อทำการลดอุณหภูมิของระบบโดยทันทีจาก 35 เป็น 30 °ซ. พบว่าในช่วงแรก (วัฏจักรที่ 1-4) การจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ยังไม่แตกต่างจากก่อนเริ่มต้นการทดลองเท่าใดนัก ค่าฟอสฟอรัสละลายทั้งในสภาวะแอนไอโรบิกและไอโรบิกมีแนวโน้มลดลงโดยในสภาวะไอโรบิกจะลดลงมากกว่า นั่นคือจุลชีพในระบบสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะไอโรบิกได้มากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องจากการดำรงชีพในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำใช้พลังงานน้อยกว่า อุณหภูมิสูงจึงมีพลังงานเหลือจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์มากขึ้น พีเอไอจึงจับใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเพื่อไปเก็บพลังงานในรูปของฟอสเฟตบอนด์ อีหนึ่ง น้ำค้างยังมีค่าฟอสฟอรัสละลายลดลงในขณะที่ค่าฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าคงที่ เมื่อเข้าสู่วัฏจักรใหม่ทำให้ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนไอโรบิกมีแนวโน้มลดลง ในช่วงปลายของการเดินระบบที่อุณหภูมิ 30 °ซ. พีเอไอสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้มากขึ้นและมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์มากขึ้นทำให้ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนไอโรบิกมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันที่สภาวะไอโรบิกก็มีการจับใช้ฟอสฟอรัสมากขึ้นด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้พลังงานในการดำรงชีพลดลงดังที่ได้กล่าวแล้ว และอาจเนื่องจากการสะสมพีเอชเอในเซลล์สูงขึ้น กระบวนการเมแทบอลิซึมในสภาวะไอโรบิกจึงมีพลังงานมากขึ้น พีเอไอจึงต้องจับใช้ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์มากขึ้นนั่นเอง เมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 10 พบว่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.6 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนเริ่มการทดลอง ในขณะที่ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงว่าพีเอไอจับใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมไว้ในเซลล์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 39 ซึ่งใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 3 (30°ซ. ที่สถานะคงตัว)

อุณหภูมิ 25 °ซ. : เมื่อลดอุณหภูมิของระบบอย่างเฉียบพลันจาก 30 เป็น 25 °ซ. และเดินระบบที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 วันจักร พบว่าค่าซีโอดีที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีแนวโน้มลดลง นั่นคือพีเอไอสามารถจับใช้คาร์บอนเข้าสู่เซลล์ได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าฟอสฟอรัสที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและที่ปลายสภาวะแอโรบิกซึ่งมีแนวโน้มลดลง นั่นคือพีเอไอสามารถปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสได้มากขึ้น ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์วัดในวันจักรที่ 20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.2 และค่าเอ็มแอลวีเอสเอสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 20 ปริมาณมวลจุลชีพในระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และพีเอไอสามารถปรับตัวได้ โดยมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเข้าไปสะสมไว้ในเซลล์ได้มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 20 เท่ากับร้อยละ 58 ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 (25°ซ. ที่สถานะคงตัว)

อุณหภูมิ 20 °ซ. : ในวัฏจักรที่ 21 – 30 เดินระบบที่อุณหภูมิ 20 °ซ. พบว่าการจับใช้คาร์บอนในสภาวะแอนแอโรบิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกว่าที่อุณหภูมิ 25 °ซ. ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีแนวโน้มสูงขึ้นมากและที่ปลายสภาวะแอโรบิกมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์เมื่อสิ้นสุดวัฏจักรที่ 30 มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.8 นั่นคือพีเอไอสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากพลังงานที่ได้จากเมแทบอลิซึมในสภาวะแอโรบิกมีมากขึ้นดังได้กล่าวแล้ว แม้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่อุณหภูมินี้มีค่าสูงขึ้นคือเท่ากับร้อยละ 63 แต่ก็ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 1(20°ซ. ที่สถานะคงตัว) ซึ่งเท่ากับร้อยละ 97 นั่นคือพีเอไออาจต้องใช้เวลาปรับตัวนานกว่านี้ให้สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากขึ้น ดังนั้นหากมีการเดินระบบที่อุณหภูมิ 20 °ซ. นี้ต่อไป ก็มีความเป็นไปได้ที่ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบจะมีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 1

จากการทดลองมีข้อสังเกตประการหนึ่งคือเมื่อลดอุณหภูมิของระบบลงอย่างเฉียบพลันพบว่าพีเอไอมีการสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์เพิ่มขึ้น และการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นมากโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิของระบบลดลงจาก 25°ซ.เป็น 20°ซ.ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พีเอไอสามารถทำงานได้ดี การลดอุณหภูมิลงแบบเฉียบพลันจึงเสมือนเป็นการกระตุ้นให้พีเอไอสามารถทำงานได้ดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันจุลชีพกลุ่มอื่นในระบบเช่นจีเอไอและโอเอชไออาจถูกจำกัดการทำงานด้วยอุณหภูมิลดลงแบบนี้โดยเฉพาะจีเอไอที่แย่งจับใช้คาร์บอนในสภาวะแอนแอโรบิกอาจปรับตัวได้ไม่ดีเท่าพีเอไอ คาร์บอนส่วนใหญ่ที่ถูกจับใช้ในสภาวะแอนแอโรบิกจึงน่าจะเป็นผลมาจากพีเอไอ ซึ่งสอดคล้องกับการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

4.2.4 การลดอุณหภูมิของระบบแบบค่อยเป็นค่อยไป

การทดลองชุดที่ 9 นี้ทำการทดลองต่อจากชุดการทดลองที่ 3 (30 °ซ. ที่สถานะคงตัว) ผู้วิจัยได้ลดอุณหภูมิของระบบวันละ 1 °ซ. จนกระทั่งอุณหภูมิของระบบเป็น 20 °ซ. จึงสิ้นสุดการทดลอง ค่าอายุสัจเจ็ลล์เท่ากับ 9.8 วัน ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก แสดงในตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.36

ค่าออกซิเจนละลายน้ำทั้งในสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิกตลอดการทดลองมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยในสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 5.0 - 5.9 มก./ล. ส่วนที่ปลายสภาวะแอโรบิกมีค่าอยู่ในช่วง 0.12 - 0.14 มก./ล. ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสมีค่าคงที่ตลอดการทดลองเช่นกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 930 - 1,000 มก./ล. ส่วนค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1,180 - 1,330 มก./ล. เมื่อสิ้นสุดการทดลองสัดส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสมีแนวโน้มลดลงจาก 0.79 เป็น 0.76 สัจเจ็ลล์ที่ปลายสภาวะแอโรบิกสามารถตกตะกอนได้ดีตลอดการทดลอง โดยมีค่าเอสวีไออยู่ในช่วง 39-51 มล./ก. และของแข็งแขวนลอยในน้ำใสที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 8-24 มก./ล. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิ 20 - 30 °ซ. การลดอุณหภูมิของระบบแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่ส่งผลต่อการตกตะกอนของสัจเจ็ลล์เท่าใดนัก เนื่องจากสัจเจ็ลล์ของชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งใช้เริ่มต้นการทดลองชุดนี้มีการตกตะกอนดีอยู่แล้ว

ในช่วงแรกของการลดอุณหภูมิ ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ปลายสภาวะแอนแอโรบิกมีค่าไม่แตกต่างกันนักและเริ่มมีค่าสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่วัฏจักรที่ 10 จนเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีความเท่ากับ 59.7 มก./ล. สูงกว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองซึ่งมีความเท่ากับ 46.5 มก./ล. ในสภาวะแอโรบิกค่าฟอสฟอรัสละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีค่า 8.9 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 30 °ซ. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความเท่ากับ 5.2 มก./ล. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อลดอุณหภูมิของระบบแบบค่อยเป็นค่อยไปพีเอไอสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้มากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนที่ 1 ซึ่งพบว่าพีเอไอทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ หนึ่งพีเอไอที่สะสมอยู่ในเซลล์เมื่อผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมในสภาวะแอโรบิกแล้วได้ผลลัพท์ส่วนหนึ่งเป็นพลังงานเก็บสำรองไว้ในเซลล์ เนื่องจากการดำรงชีพในสภาวะอุณหภูมิต่ำใช้พลังงานน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของระบบลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปพลังงานสำรองที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์จึงมีมากขึ้น เป็นเหตุให้พีเอไอต้องจับใช้ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์มากขึ้นเพื่อไปเก็บพลังงานส่วนนี้ไว้ ส่ง

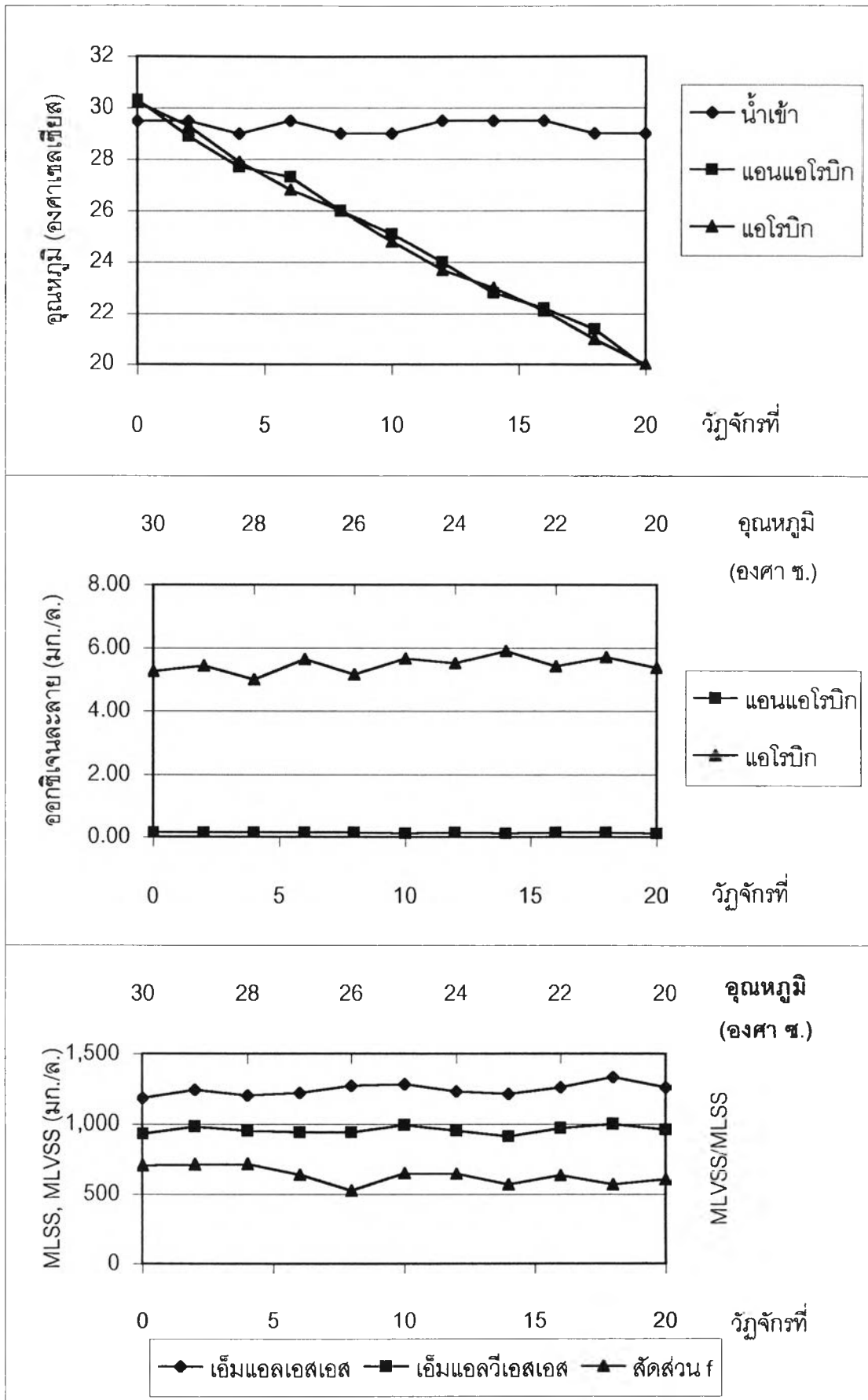
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป(30-20 องศาเซลเซียส)
เทียบกับที่สถานะคงตัว

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	30 ° C		25 ° C		20 ° C	
		ana	aer	ana	aer	ana	aer
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-		1180		1280		1260
	-	-	(1210)	-	(1658)	-	(2003)
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	-	-	930	-	990	-	960
	-	-	(957)	-	(1266)	-	(1281)
สัดส่วน f	-	-	0.79	-	0.77	-	0.76
	-	-	(.79)	-	(0.76)	-	(0.64)
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	-	-	20	-	16	-	20
	-	-	(17)	-	(15)	-	(28)
เอสวี30 (มล./ล.)	-	-	60	-	60	-	60
	-	-	(61)	-	(60)	-	(101)
เอสวีไอ (มล./ก.)	-	-	51	-	47	-	48
	-	-	(50)	-	(36)	-	(50)
สภาพต่าง (มก.หินปูน/ล.)	318	363	339	366	332	363	320
		(369)	(348)	(383)	(341)	(370)	(344)
พีเอส	6.45	7.09	8.1	7.12	8.08	7.09	8.16
		(7.07)	(8.12)	(7.06)	(8.02)	(6.93)	(7.99)
วีเอฟเอ (มก.อะซิติก/ล.)	200	40	22	44	20	40	22
		(36)	(24)	(58)	(25)	(52)	(22)
ซีไอดี (มก./ล.)	292	12	8	12	4	8	4
		(9)	(4)	(20)	(8)	(9)	(6)
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (%)			97		99		99
			(99)		(97)		(98)
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	15.3	46.5	8.9	52.3	7.6	59.7	5.2
		(44.2)	(9.1)	(55.8)	(6.4)	(73.3)	(0.4)
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)			42		50		66
			(40)		(58)		(97)
สัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)			8.4		8.8		10.7
			(8.2)		(10.4)		(14.8)
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	12.6	3.2	1.4	2.7	1.0	2.9	1.0
		(3.6)	(1.6)	(2.7)	(0.4)	(2.1)	(0.6)

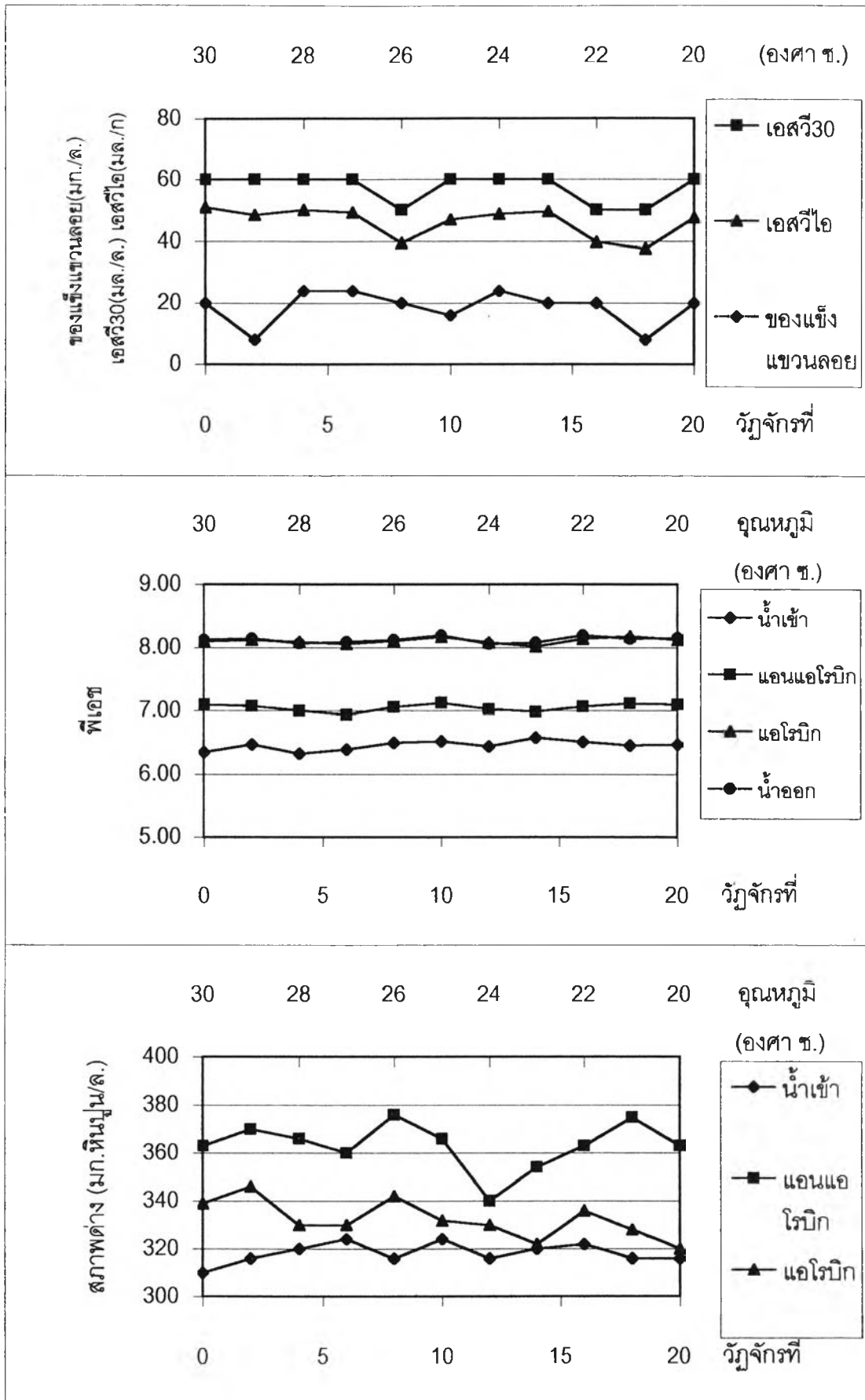
หมายเหตุ ana ได้แก่ปลายสภาวะแอนแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

aer ได้แก่ปลายสภาวะแอโรบิก (ก่อนเพิ่มอุณหภูมิค่าต่อไป)

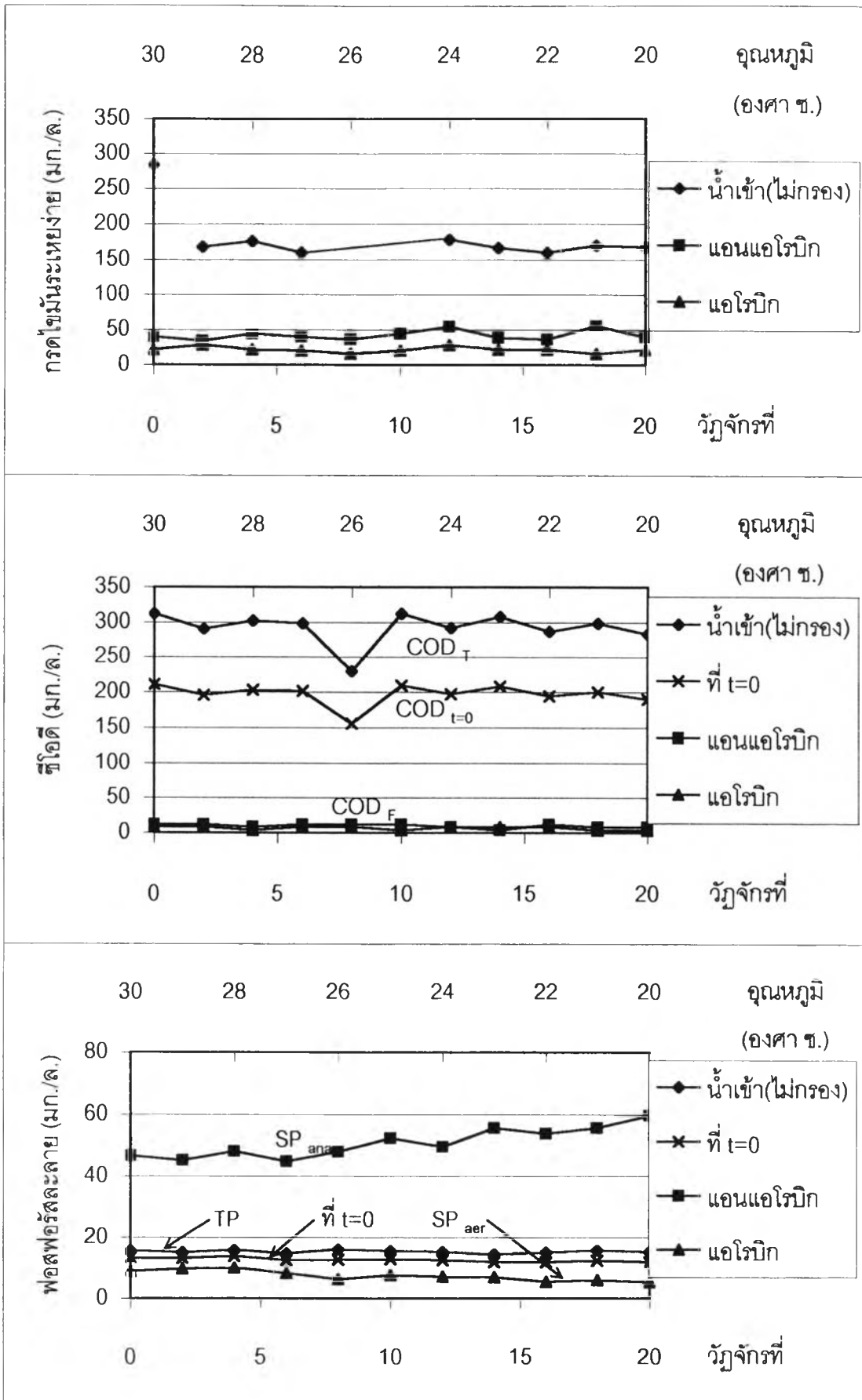
ตัวเลขในวงเล็บคือผลการทดลองที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองที่ 1,2 และ 3



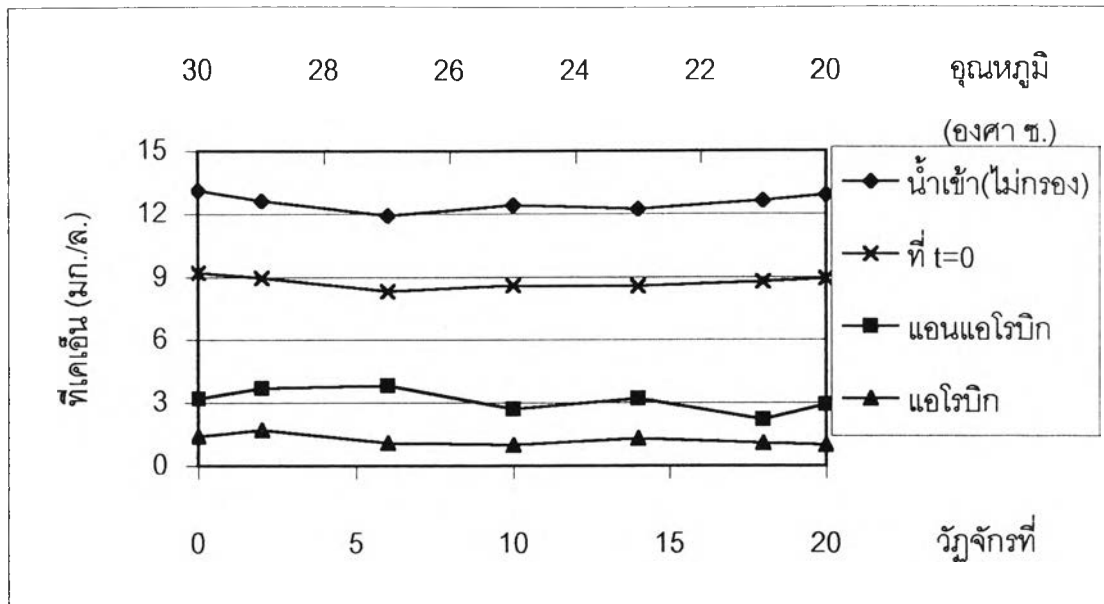
รูปที่ 4.36 ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (30-20 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.36(ต่อ) ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (30-20 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.36 (ต่อ) ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (30-20 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.36 (ต่อ) ผลการทดลองลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไป (30-20 องศาเซลเซียส)

ผลให้ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 8.4 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.7 และสอดคล้องกับสัดส่วนเอฟซึ่งมีแนวโน้มลดลง

แนวโน้มของค่าฟอสฟอรัสละลายในช่วงปลายสภาวะแอนแอโรบิกที่สูงขึ้นและปลายสภาวะแอโรบิกที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าฟิโอะทำงานได้ดีขึ้นแต่อาจต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสสะสมไว้ในเซลล์มากขึ้น และเมื่อระยะเวลาที่ใช้เวลานานพอก็อาจมีค่าใกล้เคียงกับการทำงานที่สถานะคงตัว ณ อุณหภูมินั้น ๆ ได้

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่อุณหภูมิ 25 และ 20°C. มีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 และ 1 (25 และ 20°C. ที่สถานะคงตัว) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิแบบค่อยเป็นค่อยไปในช่วงอุณหภูมิ 30-20°C. ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่อุณหภูมิ 25 และ 20°C. ของชุดการทดลองที่ 9 นี้เท่ากับร้อยละ 50 และ 66 ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 1(25 และ 20°C. ที่สถานะคงตัว) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 58 และ 97 ตามลำดับ