

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาแยกเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยแปรค่าอุณหภูมิในแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสสำหรับชุดการทดลองที่ 1, อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสสำหรับชุดการทดลองที่ 2, อุณหภูมิ 25, 35 และ 40 องศาเซลเซียสสำหรับชุดการทดลองที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยใช้เวลาดำเนินระบบเป็นเวลา 32, 42, 26, 42, และ 46 วัน ตามลำดับ ระบบจึงเข้าสู่สถานะคงตัว หลังจากนั้นได้จัดเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สถานะคงตัว แล้วทำการทดลองหาอัตราการผลิตปัสต้าและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะด้วยชุดการทดลองแบบเบสค์

จากนั้นสรุปผลการทดลองที่ได้และนำเสนอผลวิจัยพารามิเตอร์ต่างๆจากชุดการทดลองทั้ง 5 ชุดมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในหัวข้อต่อไป

4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองที่ได้ของทั้ง 5 ชุดการทดลองได้จำแนกผลออกเป็นแต่ละพารามิเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกัน โดยในแต่ละส่วนจะประกอบด้วยกราฟแสดงข้อมูลของพารามิเตอร์ในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัว ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัว และการเปรียบเทียบผลของทุกชุดการทดลอง โดยรายละเอียดผลการทดลองที่ได้แต่ละพารามิเตอร์เป็นดังนี้

4.1.1 อุณหภูมิ

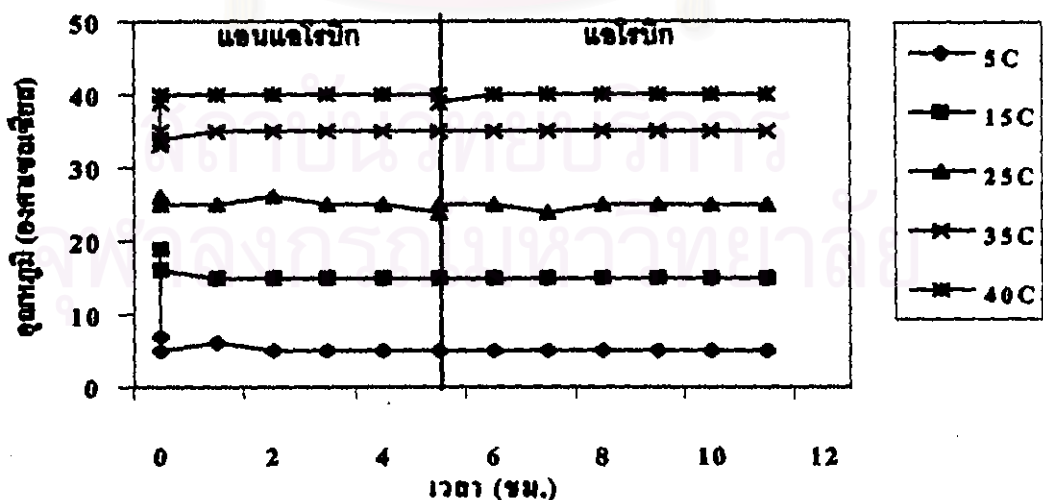
อุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่ถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง โดยการใช้ถึงปฏิกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิได้(ทำความเข้าใจให้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบในกรณีที่อุณหภูมิที่ต้องการมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ และทำความเข้าใจในกรณีที่อุณหภูมิที่ต้องการมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบ) โดยการวัดค่าอุณหภูมิในช่วงเดินระบบทำที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกและปลายช่วงแอโรบิก จนเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวจะทำการวัดผลตาม

เวลา(profile)ด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ถูกปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ ได้ภายใน 15 นาที และระบบสามารถรักษาอุณหภูมิให้ค่อนข้างคงที่ได้ตลอดการทดลอง(± 1 องศาเซลเซียสในทุกชุดการทดลอง) อีกทั้งภายในถังปฏิกรณ์ได้ติดตั้งมอเตอร์และใบกวน ซึ่งจะทำงานตลอดทั้งในช่วงเติมน้ำเข้า ช่วงแอนเอโรบิกและแอโรบิก รวมทั้งในช่วงแอโรบิกมีการเป่าอากาศด้วย จึงทำให้การกระจายของอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์เป็นไปอย่างทั่วถึง และไม่มีปัญหาในการใช้อุณหภูมิที่วัดได้เป็นตัวแทนของอุณหภูมิน้ำเสียในถังทั้งหมด

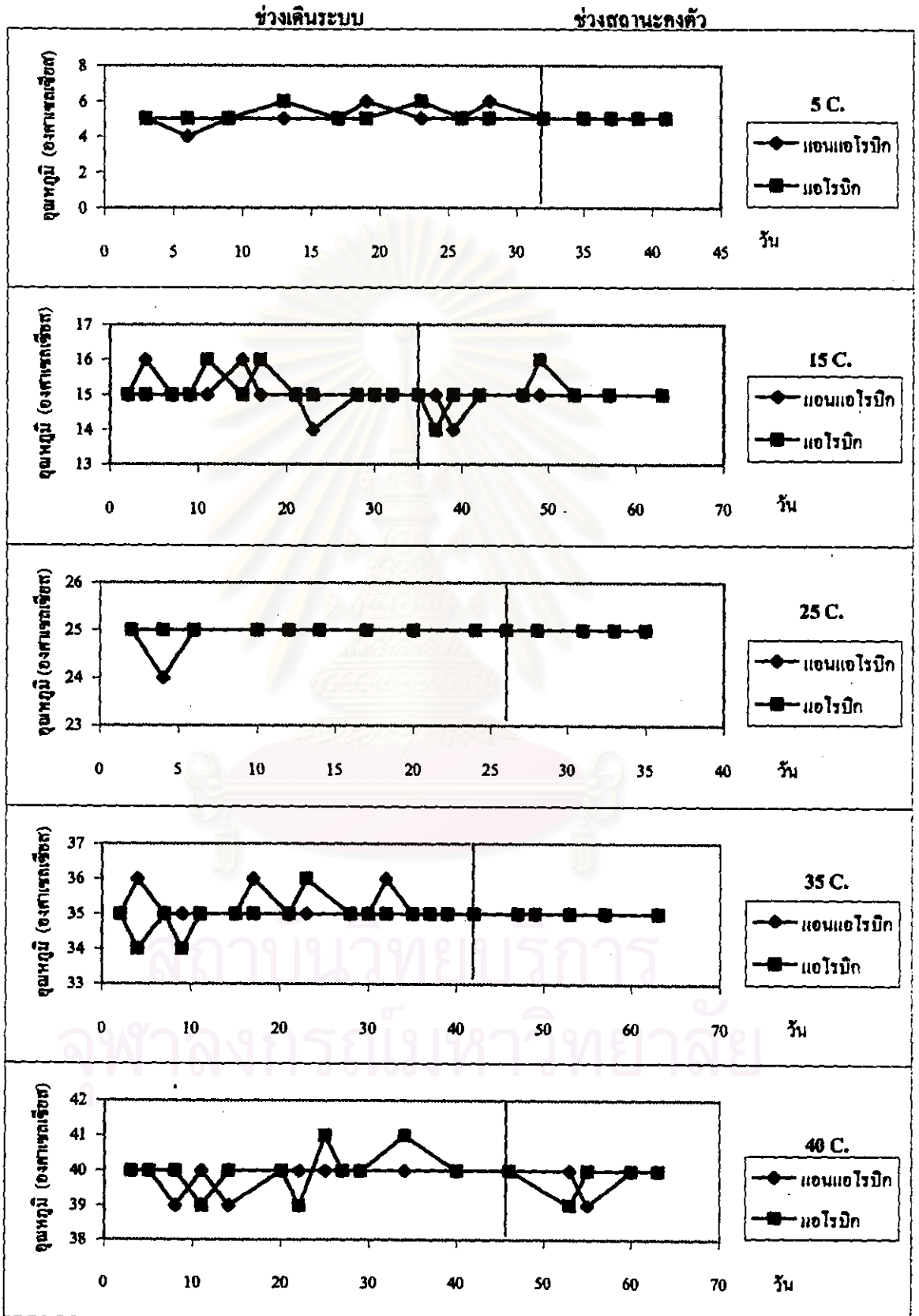
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิที่ต้องการ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	
		ช่วงแอนเอโรบิก	ช่วงแอโรบิก
1	5	5.0	5.0
2	15	15.0	15.2
3	25	25.0	25.0
4	35	35.0	35.0
5	40	39.8	39.8

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5
จำนวนข้อมูล(n) ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิในระบบของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว



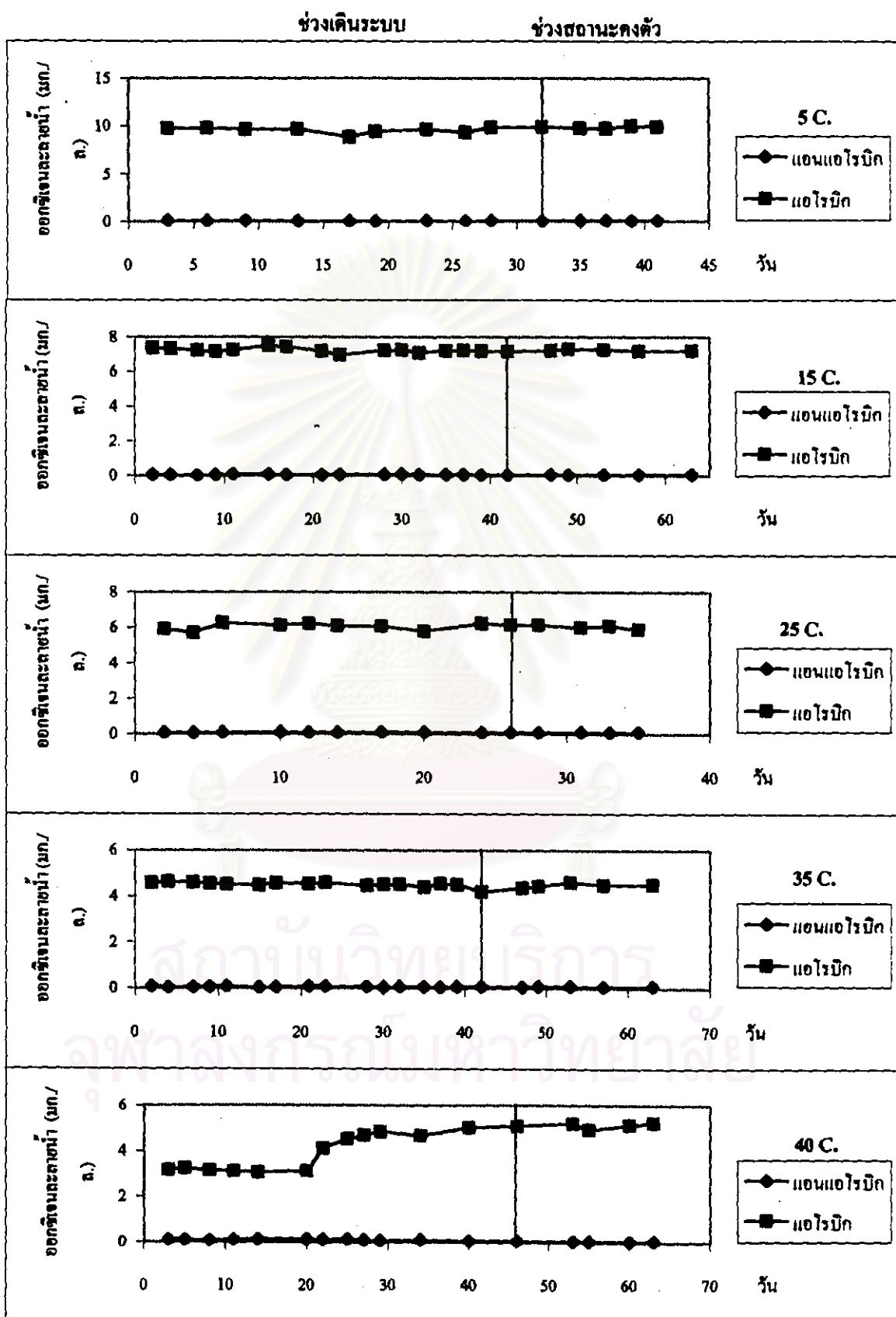
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิในช่วงเคี้ยวระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

4.1.2 ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สถานะของระบบว่าเป็นสภาวะแอนแอโรบิก แอน็อกซิก หรือแอโรบิก ในการทดลองพบว่าในช่วงแอนแอโรบิกมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.06 – 0.11 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถวัดได้โดยมาครดิโอปกติ ซึ่งค่าที่ได้นี้ยังจัดว่าเหมาะสมสำหรับช่วงแอนแอโรบิกซึ่งจะไม่มีออกซิเจนละลายเหลืออยู่เลย ส่วนในช่วงแอโรบิกพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงต้นแอโรบิกจะเพิ่มขึ้นเร็ว เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 2 เครื่อง เพราะในช่วงต้นแอโรบิกการเกิดไนคริฟิเคชัน รวมทั้งปฏิกิริยาต่างๆจะเกิดขึ้นเร็ว ในขณะที่การเพิ่มของออกซิเจนละลายน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำ ไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ออกซิเจนในขณะนั้น ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใช้เครื่องเติมอากาศเพิ่มขึ้นจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ จนเมื่อเวลาผ่านไป 45 นาที จะปิดเครื่องเติมอากาศเครื่องที่ 2 เหลือเครื่องเติมอากาศเครื่องเดียวจนจบช่วงแอโรบิก เพื่อเป็นการควบคุมไม่ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงเกินไป แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเป็นการยากที่จะควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบไม่ให้สูงเกิน 4 มก./ล. โดยจากการทดลองพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ปลายช่วงแอโรบิกของชุดการทดลองทั้งห้า (ที่ 5, 15, 25, 35 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เป็น 9.88, 7.23, 6.06, 4.45 และ 5.12 มก./ล. ตามลำดับ เห็นได้ว่าระบบเดียวกันที่อุณหภูมิค่าจะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งค่าดังกล่าวยังเหมาะสมและไม่สูงเกินไปจนส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบโดยตามทฤษฎีกำหนดไว้ว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำควรควบคุมไม่ให้ต่ำกว่า 2 มก./ล. เพื่อไม่ให้มีผลต่อการทำงานของไนคริฟายเออร์ (Randall และคณะ, 1992) แต่สำหรับผลของออกซิเจนละลายน้ำปริมาณสูง Jones และ Sabra (1980) รายงานว่าปฏิกิริยาจะเริ่มถูกยับยั้งที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 20 – 25 มก./ล.

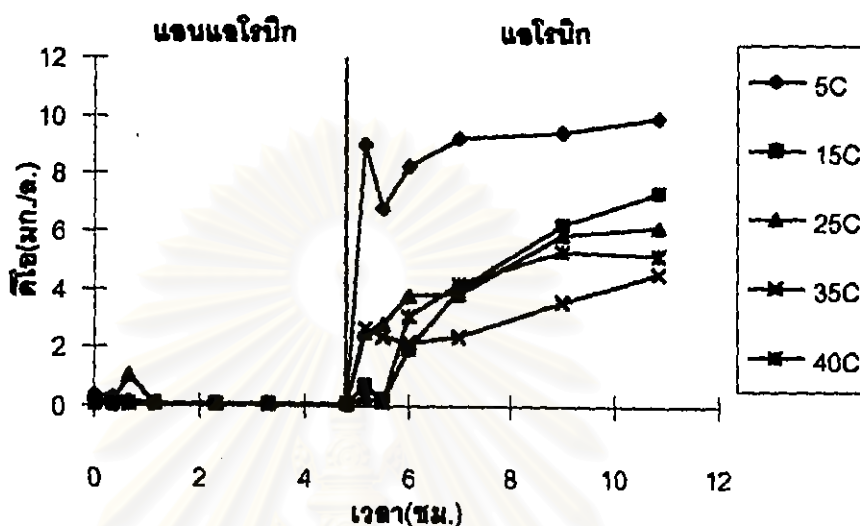
ตารางที่ 4.2 ออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	
		ปลายช่วงแอนแอโรบิก	ปลายช่วงแอโรบิก
1	5	0.08	9.88
2	15	0.07	7.23
3	25	0.11	6.06
4	35	0.09	4.45
5	40	0.06	5.12



รูปที่ 4.3 ออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5
จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.4 ออกซิเจนละลายน้ำในระบบของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว

4.1.3 ไออาร์พี (oxidation-reduction potential, ORP)

ค่าไออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้สถานะของระบบ เมื่อค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบมีค่าต่ำมาก การใช้ค่าไออาร์พีจะทำให้ประเมินได้คร่าวๆว่าระบบอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิก แอน็อกซิก หรือ แอโรบิก จากการทดลองพบว่าค่าไออาร์พีที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง -179 ถึง -315 มิลลิโวลต์ ซึ่งสามารถบ่งได้ว่าระบบเป็นแอนแอโรบิกจริง อย่างไรก็ตามในช่วงต้นแอนแอโรบิกแท้จริงแล้วจะเกิดสภาพแอน็อกซิกก่อนโดยธรรมชาติ เนื่องจากมีไนเตรดคงเหลือมาจากน้ำค้างถึง โดยไนเตรดถูกกำจัดได้หมดภายในชั่วโมงแรกของช่วงแอนแอโรบิก(ดูหัวข้อที่ 4.1.12)

ค่าไออาร์พีในช่วงแอนแอโรบิกของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยไออาร์พีของชุดการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียสลดลงได้ช้ากว่าชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องมาจากการเกิดดีไนตริฟิเคชันที่ 5 องศาเซลเซียสจะเกิดได้ไม่ดี ไนเตรดจึงถูกกำจัดได้ช้ากว่า นั่นคือระบบจะเป็นแอนแอโรบิกได้ช้ากว่าชุดการทดลองอื่น แต่พบว่าเรื่องดังกล่าวไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ(ซึ่งจะมีการกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.1.13) เพราะระบบยังสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างสมบูรณ์

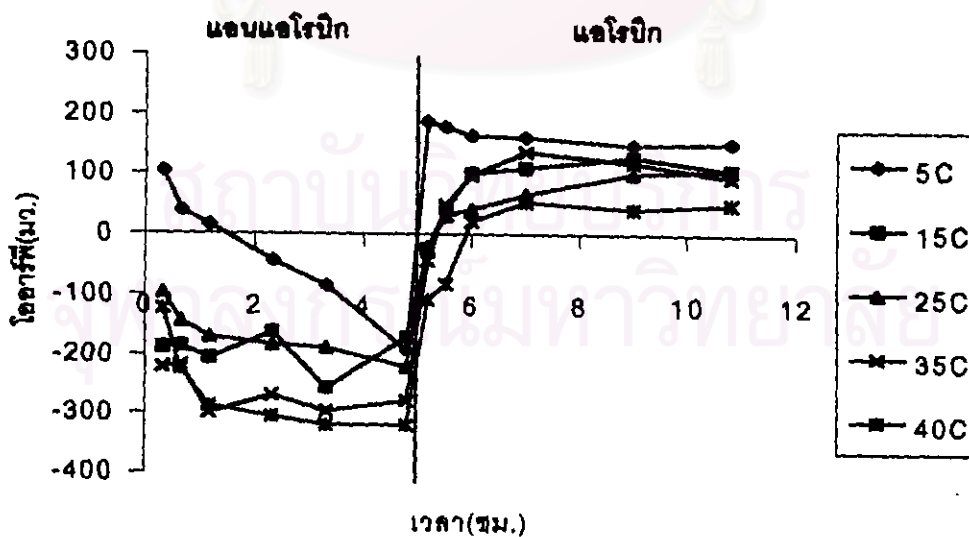
ส่วนโออาร์พีในช่วงแอนโรบิกมีค่าเพิ่มขึ้นมากในช่วงต้นแอนโรบิก เนื่องจากที่ต้นแอนโรบิกจะมีการเติมอากาศเกินพอเพื่อสร้างสภาวะแอนโรบิกให้เกิดอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่าโออาร์พีจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะการเติมอากาศที่น้อยลงและปฏิกิริยาต่างๆที่จะช้าลงด้วย

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของค่าโออาร์พียังอาจเกิดจากการเติมอากาศที่ไม่เท่ากันในแต่ละการทดลองด้วย เพราะเครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถควบคุมอัตราการเติมอากาศที่แม่นยำได้

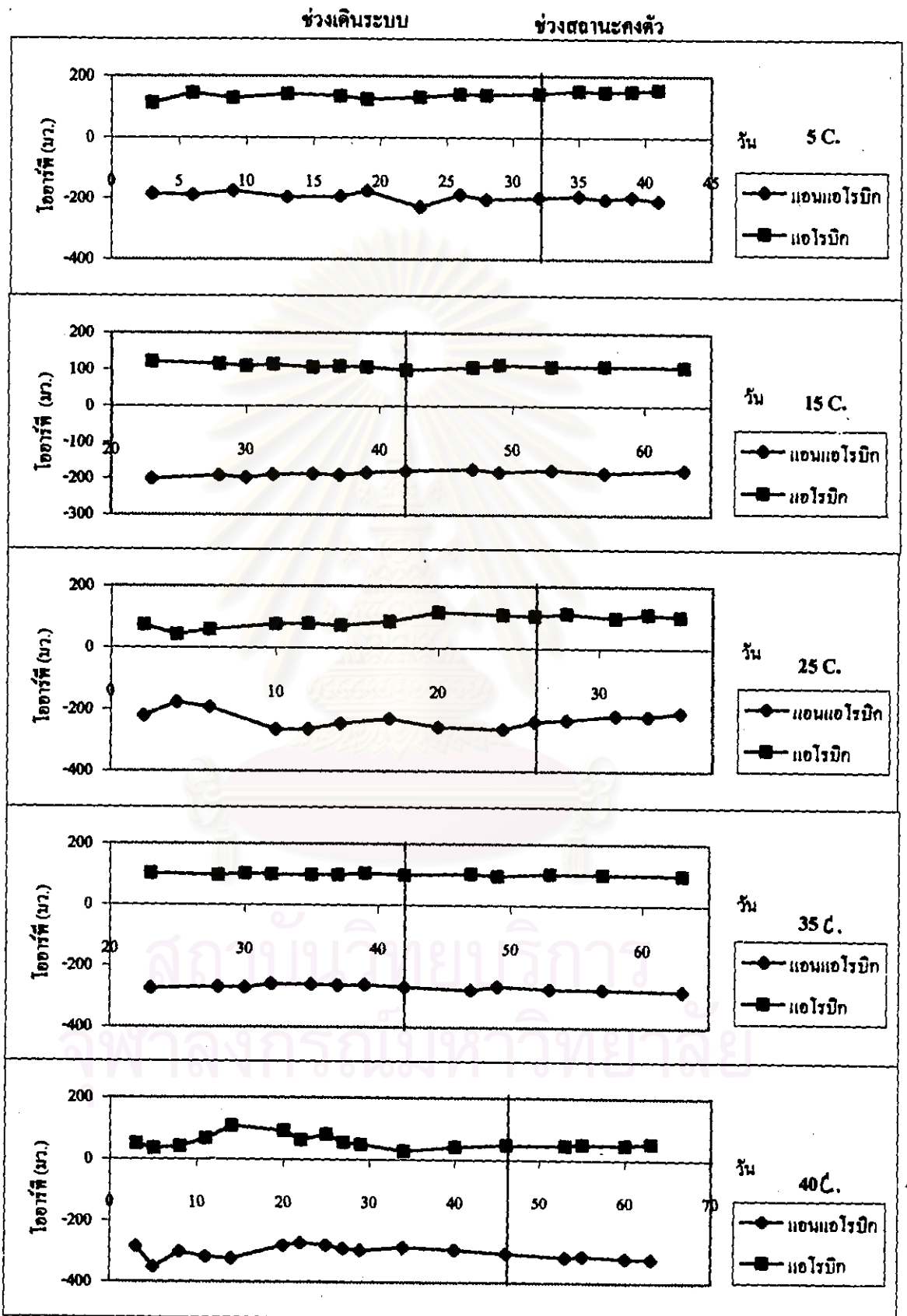
ตารางที่ 4.3 โออาร์พีเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	โออาร์พี (มิลลิโวลต์)	
		ช่วงแอนแอนโรบิก	ช่วงแอนโรบิก
1	5	-199	150
2	15	-179	108
3	25	-223	105
4	35	-273	100
5	40	-315	50

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(ก)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5
จำนวนข้อมูล(ก)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.5 โออาร์พีในระบบของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว



รูปที่ 4.6 ไออาร์พีในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

4.1.4 สภาพค่าง

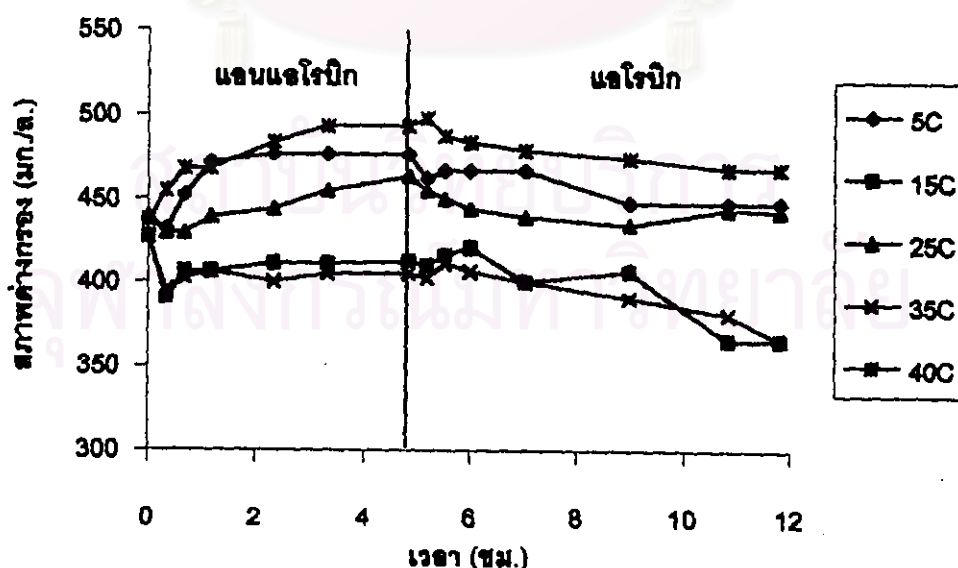
น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลองนี้ใช้นิวเทรียนท์บรอนและ โซเดียมอะซิเตดเป็นแหล่งคาร์บอน และมีการเติมสภาพค่างเข้าระบบในรูปโซเดียมโบคาร์บอเนตเพื่อช่วยปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียให้เหมาะต่อการทำงานของจุลินทรีย์ โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีสภาพค่างในช่วง 420 - 457 มก.หินปูน/ลิตร ส่วนสภาพค่างกรองของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สภาพค่างเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว

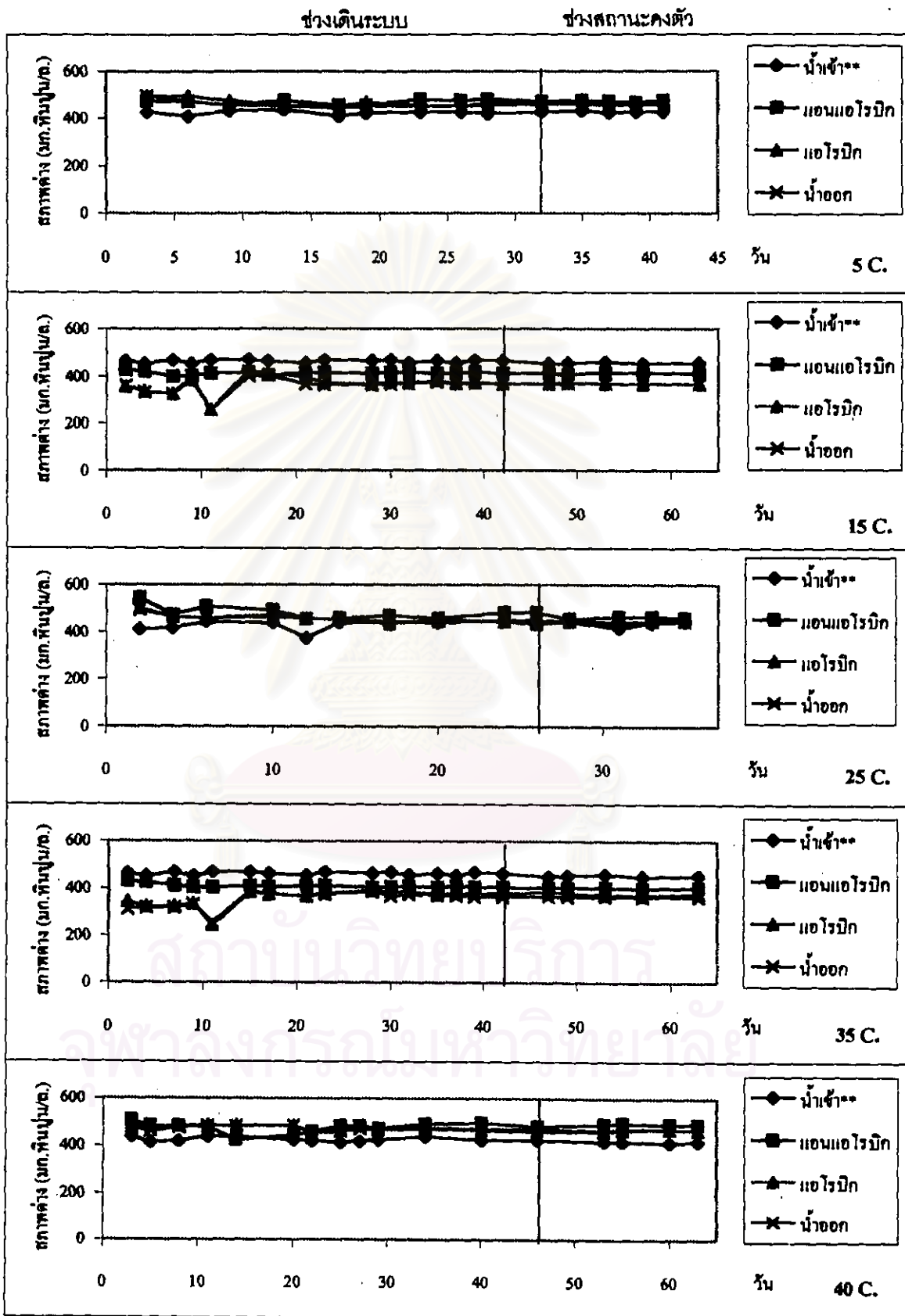
ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	สภาพค่างในน้ำเข้า (มก. หินปูน/ล.)	สภาพค่างกรอง (มก. หินปูน/ลิตร)		
			แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	428	472	460	459
2	15	457	411	368	367
3	25	438	464	444	442
4	35	457	405	379	367
5	40	420	491	471	467

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(ก)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

จำนวนข้อมูล(ข)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.7 สภาพค่างกรองที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.8 สภาพต่างในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในช่วงแอนแอโรบิกช่วงต้นจะเกิดสภาพแอน็อกซิกก่อนโดยธรรมชาติ เนื่องจากมีไนเตรดเหลือจากน้ำค้ำดัง จนกระทั่งไนเตรดถูกกำจัดหมด จึงเกิดเป็นสภาวะแอนแอโรบิกแท้จริง แล้วจึงเกิดสภาวะแอนแอโรบิกในภายหลัง โดยในช่วงต้นวัฏจักรที่เป็นสภาวะแอน็อกซิกจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน มีผลให้สภาพต่างเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าหลังจากเกิดการเจือจาง(dilution)ของน้ำเข้าแล้ว สภาพต่างกรองของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สภาพต่างกรองที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกเป็น 472 , 411 , 464 , 405 และ 491 มก. หินปูน/ลิตร ตามลำดับ

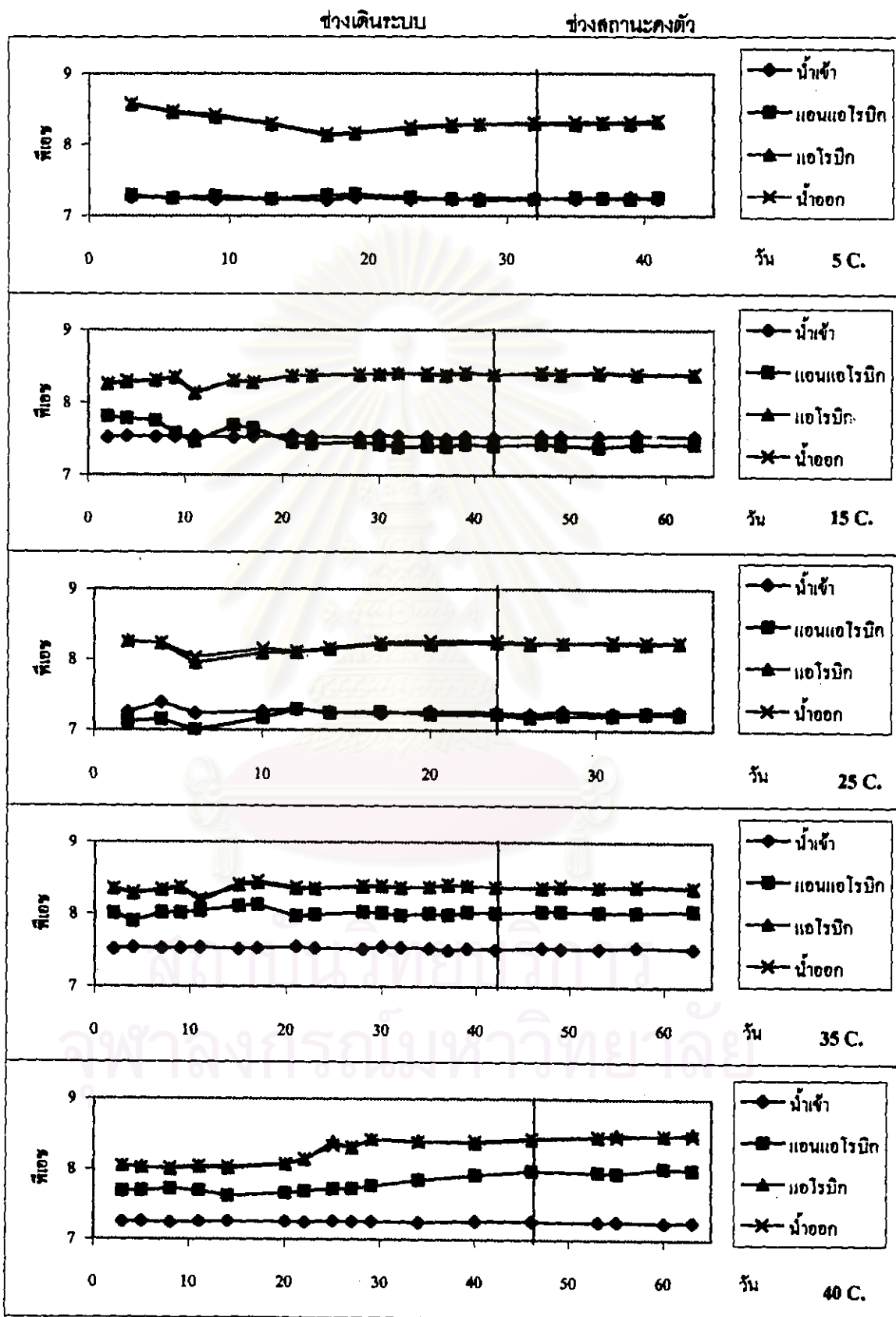
ส่วนช่วงแอโรบิกมีค่าสภาพต่างกรองเป็น 460 , 368 , 444 , 379 และ 471 มก. หินปูน/ลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่าระบบที่อุณหภูมิต่ำ 5 และ 40 องศาเซลเซียสมีสภาพต่างสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกว่ามีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชัน ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 15 , 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าสภาพต่างต่ำกว่า เนื่องจากระบบเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ดี สภาพต่างจึงถูกใช้ไปส่วนหนึ่ง

ผลของระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพต่อสภาพต่างได้กล่าวถึงไว้โดย Randall และคณะ, 1992 ว่าตามทฤษฎีแล้วระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจะไม่มีผลต่อสภาพต่าง แต่ในการทดลองจริงพบว่าจะมีผลให้สภาพต่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลถึงความจำเป็นที่ต้องปรับค่าพีเอชในการออกแบบระบบดังกล่าว

4.1.5 พีเอช

สำหรับทุกชุดการทดลองในน้ำเสียดังเคราะห์ที่ใช้จะมีการเติมบัฟเฟอร์ส่วนหนึ่งเพื่อช่วยรักษาค่าพีเอชในระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยค่าพีเอชเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำเข้ามีพีเอช ประมาณ 7.25 - 7.50 และเมื่อน้ำเสียดังกล่าวเข้าสู่ระบบจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากในน้ำค้ำดังมีค่าพีเอชสูง โดยค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.25 - 8.47 โดยในช่วงแอนแอโรบิกจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำๆ (5 , 15 และ 25 องศาเซลเซียส) ระบบมีค่าพีเอชต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง (35 และ 40 องศาเซลเซียส) ซึ่งพบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชดังกล่าวมีความ



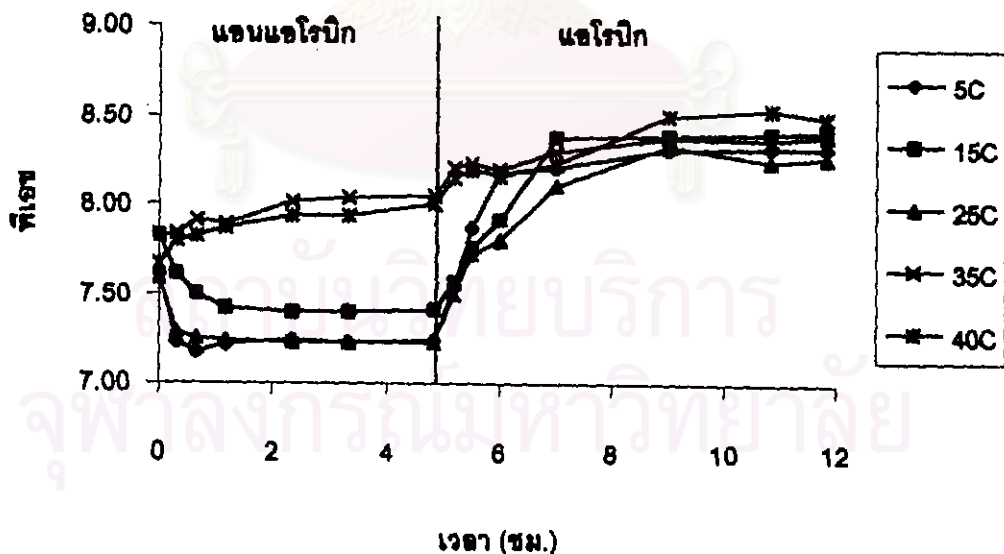
รูปที่ 4.9 พีเอชในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

สัมพันธ์กับปริมาณพีเอชเอ(polyhydroxy-alkanoate, PHA)และฟอสฟอรัสละลายในระบบด้วย โดยที่อุณหภูมิค่าซึ่งมีค่าพีเอชค่านี้นพบว่ามีปริมาณพีเอชเอที่ถูกสร้างขึ้นจากอะซิเตดในช่วงแอนแอโรบิกมีค่าสูง ซึ่งเป็นผลให้ระบบเกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้ดีและเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างสมบูรณ์ด้วย(ดูหัวข้อที่ 4.1.13)

ตารางที่ 4.5 พีเอชเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	พีเอช			
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	7.25	7.25	8.30	8.32
2	15	7.53	7.41	8.39	8.40
3	25	7.25	7.21	8.23	8.25
4	35	7.53	8.04	8.37	8.39
5	40	7.25	8.00	8.48	8.47

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5
จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.10 พีเอชที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ส่วนที่อุณหภูมิสูงพบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นในช่วงแอนแอโรบิก รวมทั้งการใช้อะซิเตดเกิดได้ไม่ดี ทำให้ปริมาณพีเอชเอถูกสร้างขึ้นน้อย การปลดปล่อยฟอสฟอรัสเกิดได้ไม่ดีและเป็นผลให้การกำจัดฟอสฟอรัสไม่สมบูรณ์ด้วย ซึ่งอธิบายได้ด้วยงานวิจัยโดย Wen-Tso Liu และคณะ, 1996 ที่กล่าวว่าค่าพีเอชที่เป็นค่าสูงจะมีผลยับยั้งการใช้อะซิเตดและส่งผลกระตุ้นให้การปลดปล่อยฟอสฟอรัสมีมากขึ้น โดยเขาสรุปว่าการตกลงของการสร้างพีเอชบี(เป็นส่วนหนึ่งของพีเอชเอ)จากอะซิเตดจะเป็นผลโดยตรงจากพีเอช แต่ไม่เกี่ยวข้องกับผลของการปลดปล่อยฟอสฟอรัสทางชีวภาพ แม้ว่าการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะมีความสัมพันธ์กับการใช้อะซิเตดก็ตาม และได้แนะนำค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการจับใช้ฟอสฟอรัสว่าอยู่ในช่วง 6.0 - 8.2 ซึ่งข้อความที่กล่าวว่าพีเอชสูงจะกระตุ้นการปลดปล่อยฟอสฟอรัสยังไม่ตรงกับผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Smolders และคณะ, 1994 พบว่าการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะขึ้นกับค่าพีเอช กล่าวคือค่าพีเอชในช่วง 5.5 - 8.2 มีผลต่อการจับใช้อะซิเตดในช่วงแอนแอโรบิก โดยเมื่อค่าพีเอชของระบบมีค่าต่ำกว่าการจับใช้อะซิเตดจะไร้พลังงานน้อยกว่าที่พีเอชสูง ทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้น้อยและการจับใช้ฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกเกิดได้ไม่ดี ส่วนที่พีเอชสูง(เป็นค่า)จะตรงข้ามกัน โดยการจับใช้อะซิเตดจะต้องการพลังงานมาก ทำให้ระบบต้องปลดปล่อยฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับ Wen-Tso Liu จะเห็นว่างานวิจัยของสองมีความเห็นแตกต่างกัน โดย Wen-Tso Liu เห็นว่าพีเอชมีผลโดยตรงต่อการใช้อะซิเตดเพื่อสร้างพีเอชบีโดยไม่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยฟอสฟอรัส แต่กรณีของ Smolders กลับเห็นว่าพีเอชจะส่งผลต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสโดยตรง

ผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ยังพบว่าการใช้อะซิเตดเพื่อสร้างพีเอชเอเกิดได้ไม่ดีที่อุณหภูมิสูง(ค่าพีเอชสูง) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลนี้กล่าวได้ว่าค่าพีเอชสูงเป็นผลมาจากระบบใช้อะซิเตดได้ไม่ดี เนื่องจากจะเกิดการยับยั้งการจับใช้อะซิเตดที่ค่าพีเอชสูง โดยพีเอชดังกล่าวไม่มีผลโดยตรงต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก โดยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่ลดลงเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณพีเอชเอที่ลดลง นอกจากนี้ Randall และคณะ (1992) พบว่าเมื่อค่าพีเอชในกระบวนการบิโอฟาร์เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้สภาพค่าสูงเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนในช่วงแอนแอโรบิกพบว่าค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง (ในช่วง 8.23 - 8.48) แม้ว่าจะมีการเติมบัฟเฟอร์ในระบบแล้วก็ตาม แต่พีเอชที่สูงก็ไม่ส่งผลยับยั้งการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแต่อย่างใด ซึ่งเป็นข้อยืนยันถึงการวิเคราะห์ของช่วงแอนแอโรบิกด้วย

4.1.6 เอ็มแอลเอสเอส(MLSS) และเอ็มแอลวีเอสเอส (MLVSS)

ในการวิจัยนี้เชื้อที่นำมาใช้เป็นเชื้อผสมที่มีจุลชีพกลุ่มพีโออีรวมอยู่และถูกทำให้คุ้นเคยกับอุณหภูมิต่ำที่ทำการทดลองก่อนการทดลองทุกครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าแบคทีเรียจะสามารถปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิต่ำได้ตามค่ารังสีและเค็มได้ ซึ่งจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของสลัดจ์ในแต่ละชุดทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันพอสมควร โดยเชื้อที่ถูกเลี้ยงที่อุณหภูมิต่ำ (5 และ 15 องศาเซลเซียส) ลักษณะสลัดจ์มีสีน้ำตาลอ่อน จับตัวกันเป็นเม็ดเล็กๆ/สีน้ำตาลอ่อนปนขาว/กระจายอยู่ทั่วเอ็มแอล(mixed liquor)/และไม่มีกลิ่น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ 25 องศาเซลเซียส สลัดจ์มีสีน้ำตาลเข้มกว่าที่อุณหภูมิต่ำ/เม็ดฟล็อกใหญ่กว่า/ไม่มีสีขาวปน/และไม่มีกลิ่น เมื่ออุณหภูมิต่ำสูงขึ้นเป็น 35 องศาเซลเซียส สลัดจ์มีสีน้ำตาลเข้มมาก/ปริมาณสลัดจ์มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด/ฟล็อกจับกันดี/และมีกลิ่นเล็กน้อย ส่วนชุดการทดลองที่ 40 องศาเซลเซียส สลัดจ์มีสีน้ำตาลดำปนดำ/สลัดจ์จับตัวน้อยลงกว่าที่ 35 องศาเซลเซียส แต่มีกลิ่นเหม็นคาว ซึ่งเป็นไปได้ว่าจุลชีพเหล่านี้จะเป็นกนดะชนิดกัน ซึ่งดูได้จากการประเมินจุลินทรีย์จากสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์ทั้ง 5 ชุดการทดลองอันประกอบด้วย

- การย้อมแกรม
- การย้อมโพสิฟอสเฟตแกรนูล
- การย้อมพีเอชบีแกรนูล (เฉพาะชุดการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ 5 และ 35 องศาเซลเซียส)
- การหาปริมาณ strictly anaerobic organisms (เฉพาะชุดการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ 5 และ 35 องศาเซลเซียส)
- การหาปริมาณ aerobic organisms (เฉพาะชุดการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ 5 และ 35 องศาเซลเซียส)

การย้อมแกรม

การย้อมแกรมทำเพื่อจำแนกชนิดจุลชีพในระบบอย่างคร่าวๆ โดยอาศัยลักษณะรูปร่างและการย้อมติดสีของจุลชีพ

ผลการย้อมแกรม แสดงในตารางที่ 4.6 โดยในชุดการทดลองที่ 5 และ 35 องศาเซลเซียสทำการทดลองทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกสลัดจ์ ส่วนในชุดการทดลองที่ 15 , 25 และ

40 องศาเซลเซียสทำการวิเคราะห์แอโรบิกสแต็คก์เท่านั้น รายละเอียดในวิธีการข้อมแกรมแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.6 ผลการข้อมแกรม

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	จุลินทรีย์ที่พบ	ปริมาณ	หมายเหตุ
5	rod, G-, ขนาดเล็ก	+5	แอนแอโรบิกสแต็คก์
	rod, G+, ขนาดใหญ่	+1	
	rod, G-, ขนาดเล็ก	+5	แอโรบิกสแต็คก์
	rod, G+, ขนาดใหญ่	+1	
15	rod, G-	+4	แอโรบิกสแต็คก์
	bacilli, G-	+2	
	filamentous	+1	
25	rod, G-	+1	แอโรบิกสแต็คก์
	cocci, G- เป็นคู่	+3	
	filamentous	Rare	
35	rod, G- ขนาดเล็ก	+3	แอนแอโรบิกสแต็คก์
	cocci, G- ขนาดเล็ก	+3	
	rod, G- ขนาดเล็ก	+3	แอโรบิกสแต็คก์
	cocci, G- ขนาดเล็ก	+3	
	filamentous	+3	
40	rod, G-	+2	แอโรบิกสแต็คก์
	cocci, G-	+1	
	filamentous	Rare	

หมายเหตุ การประเมินผลแสดงด้วยจำนวนบวก ซึ่งมีความหมายดังนี้

+5 หมายถึง ปริมาณมากที่สุด

+4 หมายถึง ปริมาณมาก

+3 หมายถึง ปริมาณปานกลาง

+2 หมายถึง ปริมาณน้อย

+1 หมายถึง ปริมาณน้อยมาก

0 หมายถึง ไม่พบเลย

จากการทดลองข้ออมแกรมพบจุดชีพ rod แกรมถบในทุกตัวอย่าง ซึ่งเป็นไปได้ที่จุดชีพกลุ่มดังกล่าวจะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพด้วย แต่การทดลองข้ออมแกรมยังบอกรายละเอียดได้ไม่มาก แสดงให้เห็นเพียงความแตกต่างของชนิดและปริมาณจุดชีพที่อุณหภูมิต่างๆเท่านั้น

การข้อมโพธิ์ฟอสเฟดแกรบูล

สำหรับการทดสอบโพธิ์ฟอสเฟดแกรบูลในเซลล์ทำเพื่อทราบปริมาณคร่าวๆของฟอสฟอรัสในเซลล์แบคทีเรีย การที่โพธิ์ฟอสเฟดแกรบูลถูกตรวจพบในเซลล์ได้ต่างกันเนื่องมาจากการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกนอกเซลล์ในช่วงแอนแอโรบิกและการสะสมฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ในช่วงแอโรบิก

ผลการข้อมโพธิ์ฟอสเฟดแกรบูล ผลการข้อมโพธิ์ฟอสเฟดแกรบูลแสดงในตารางที่ 4.7 โดยในชุดการทดลองที่ 5 และ 35 องศาเซลเซียสทำการทดลองทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกสตัคซ์ ส่วนในชุดการทดลองที่ 15 , 25 และ 40 องศาเซลเซียสทำการวิเคราะห์แอโรบิกสตัคซ์เท่านั้น รายละเอียดในวิธีการข้อมโพธิ์ฟอสเฟดแกรบูลแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.7 ผลการข้อมโพธิ์ฟอสเฟดแกรบูล

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ	หมายเหตุ
5	+5	แอนแอโรบิกสตัคซ์
	+1	แอโรบิกสตัคซ์
15	+4	แอโรบิกสตัคซ์
25	+4	แอโรบิกสตัคซ์
35	+2	แอนแอโรบิกสตัคซ์
	+2	แอโรบิกสตัคซ์
40	+2	แอโรบิกสตัคซ์

หมายเหตุ การประเมินผลแสดงด้วยจำนวนบวกซึ่งมีความหมายดังนี้

+5 หมายถึง ปริมาณมากที่สุด

+4 หมายถึง ปริมาณมาก

+3 หมายถึง ปริมาณปานกลาง

+2 หมายถึง ปริมาณน้อย

+1 หมายถึง ปริมาณน้อยมาก

0 หมายถึง ไม่พบเลย

จากการทดสอบย่อยโพธิ์ฟอสเฟตแกรนูลพบว่าปริมาณ โพธิ์ฟอสเฟตแกรนูลมากที่สุดที่ 5 องศาเซลเซียสในช่วงแอนแอโรบิกและมีน้อยลงในช่วงแอโรบิก ปริมาณโพธิ์ฟอสเฟตแกรนูลลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 15 และ 25 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 35 และ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณ โพธิ์ฟอสเฟตแกรนูลเท่ากันในสัปดาห์ทั้งจากช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิก ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีในชุดการทดลอง 5 และ 35 องศาเซลเซียสซึ่งควรมีโพธิ์ฟอสเฟตแกรนูลน้อยในแอนแอโรบิกสัปดาห์ และจะมากขึ้นในแอโรบิกสัปดาห์เนื่องจากการสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์ ซึ่งอาจเป็นเพราะความผิดพลาดในการการเก็บตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ เนื่องจากแต่ละตัวอย่างต้องใช้เวลานานในการนับจำนวนโพธิ์ฟอสเฟตแกรนูล ทำให้ตัวอย่างที่เก็บไว้วิเคราะห์ภายหลังมีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์จุลินทรีย์(ตัวอย่างถูกแช่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส)

การย่อยทีเอชบีแกรนูล

การทดสอบทีเอชบีแกรนูลในเซลล์แบคทีเรียทำเพื่อตรวจการทำงานของเซลล์ในการสร้างทีเอชบีจากอะซิเตตในช่วงแอนแอโรบิกและใช้ทีเอชบีเป็นแหล่งพลังงานในช่วงแอโรบิก

ผลการย่อยทีเอชบีแกรนูล การย่อยทีเอชบีแกรนูลทำการทดลองเฉพาะสัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส โดยผลแสดงในตารางที่ 4.8 รายละเอียดในวิธีการย่อยทีเอชบีแกรนูลแสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.8 ผลการย่อยทีเอชบีแกรนูล

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ	หมายเหตุ
5	+5	แอนแอโรบิกสัปดาห์
	+1	แอโรบิกสัปดาห์
35	+2	แอนแอโรบิกสัปดาห์
	+2	แอโรบิกสัปดาห์

หมายเหตุ การประเมินผลแสดงด้วยจำนวนบวก ซึ่งมีความหมายดังนี้

+5 หมายถึง ปริมาณมากที่สุด

+4 หมายถึง ปริมาณมาก

+3 หมายถึง ปริมาณปานกลาง

+2 หมายถึง ปริมาณน้อย

+1 หมายถึง ปริมาณน้อยมาก

0 หมายถึง ไม่พบเลย

จากการทดลองพบว่าจากชุดการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียส จุลชีพกลุ่มพีเอโอสามารถสร้างพีเอชบีในเซลล์ได้มาก(+5) และพีเอชบีถูกใช้ในช่วงแอโรบิกเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน เป็นผลให้ปริมาณพีเอชบีในเซลล์ลดลง(+1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการกำจัดฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิดังกล่าว ส่วนชุดการทดลองที่ 35 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณพีเอชบีน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียส อีกทั้งปริมาณพีเอชบีในช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิกพบว่ามีแตกต่างกัน(+2 และ +2) เป็นผลให้ที่ 35 องศาเซลเซียสเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้ไม่ดี

ปริมาณ strictly anaerobic organisms

การหาปริมาณจุลชีพกลุ่มแอนแอโรบิกทำเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณของจุลชีพกลุ่มดังกล่าว ซึ่งอาจมีผลต่อการทำงานของระบบด้วย

ผลการทดลองหาปริมาณ strictly anaerobic organisms โดยทำการทดลองเฉพาะสัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ผลแสดงในตารางที่ 4.9 รายละเอียดในวิธีการหาปริมาณ anaerobic organisms แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณ strictly anaerobic organisms

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ (CFU/ml)	หมายเหตุ
5	8.15×10^8	แอนแอโรบิกสตัคค์
	1.01×10^9	แอโรบิกสตัคค์
35	1.445×10^9	แอนแอโรบิกสตัคค์
	4.55×10^8	แอโรบิกสตัคค์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแอนแอโรบิกสตัคค์ของชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีปริมาณจุลชีพแอนแอโรบิกมากกว่าที่พบในชุดการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียสมาก เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวเหมาะสมต่อการเติบโตของจุลชีพมากกว่า ส่วนแอโรบิกสตัคค์พบว่าชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมีปริมาณจุลชีพแอนแอโรบิกมากกว่าชุดการทดลองที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเพราะระบบที่ 5 องศาเซลเซียสมีช่วงแอนแอโรบิกที่ยาวกว่า(เนื่องจากมีในเทรคที่ต้องกำจัดในช่วงคืนแอนแอโรบิกน้อยกว่า)นั่นเอง

ปริมาณ aerobic organisms

การหาปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มแอโรบิกทำเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว ซึ่งอาจมีผลต่อการทำหน้าที่ของระบบด้วย

ผลการทดลองหาปริมาณ aerobic organisms ทำการทดลองเฉพาะสัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 องศาเซลเซียส ผลแสดงในตารางที่ 4.10 รายละเอียดในวิธีการหาปริมาณ aerobic organisms แสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.10 ปริมาณ aerobic organisms

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ (CFU/ml)	หมายเหตุ
5	1.215×10^9	แอนแอโรบิกสตัคค์
	2.16×10^9	แอโรบิกสตัคค์
35	1.34×10^9	แอนแอโรบิกสตัคค์
	6.45×10^8	แอโรบิกสตัคค์

จากการทดสอบแอนแอโรบิกสตัคค์จากทั้งสองชุดการทดลองตรวจพบจุลินทรีย์แอโรบิก แสดงว่าจุลินทรีย์ในถังเป็นพวก facultative anaerobic bacteria อีกทั้งปริมาณจุลินทรีย์แอโรบิกในแอนแอโรบิกสตัคค์ของทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแอนแอโรบิกสตัคค์ของชุดการทดลองที่ 5 องศาเซลเซียสมีปริมาณจุลินทรีย์แอโรบิกมากกว่าชุดการทดลอง ที่ 35 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบเป็นแบบเฮสปีอาร์ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของระบบภายในถังปฏิบัติการไบโอเดียว ทำให้จุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงการทำงานและปรับตัวไปตามสภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก

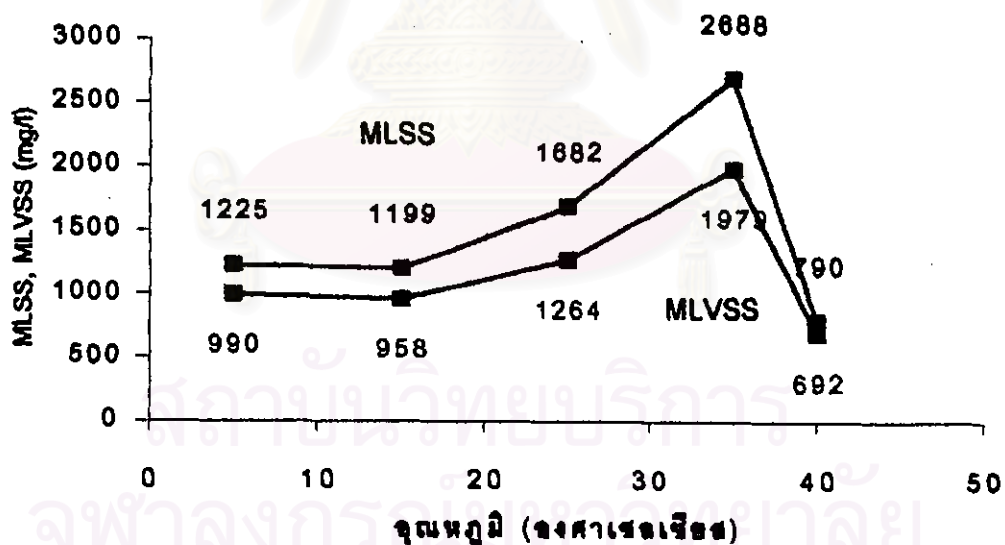
สำหรับมวตจุลินทรีย์ในระบบของทุกชุดการทดลองในรูปแบบเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอส แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสที่สถานะคงตัวในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)	เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)
1	5	1225	990
2	15	1199	958
3	25	1682	1264
4	35	2688	1979
5	40	790	692

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

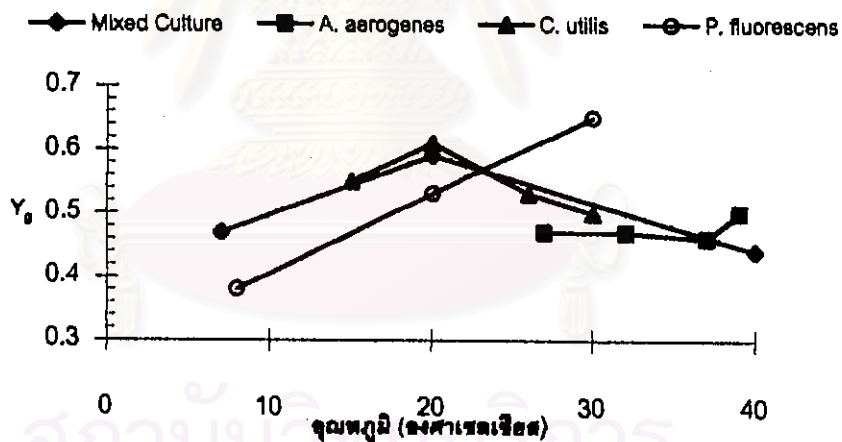


รูปที่ 4.11 ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสของระบบที่อุณหภูมิต่างๆ

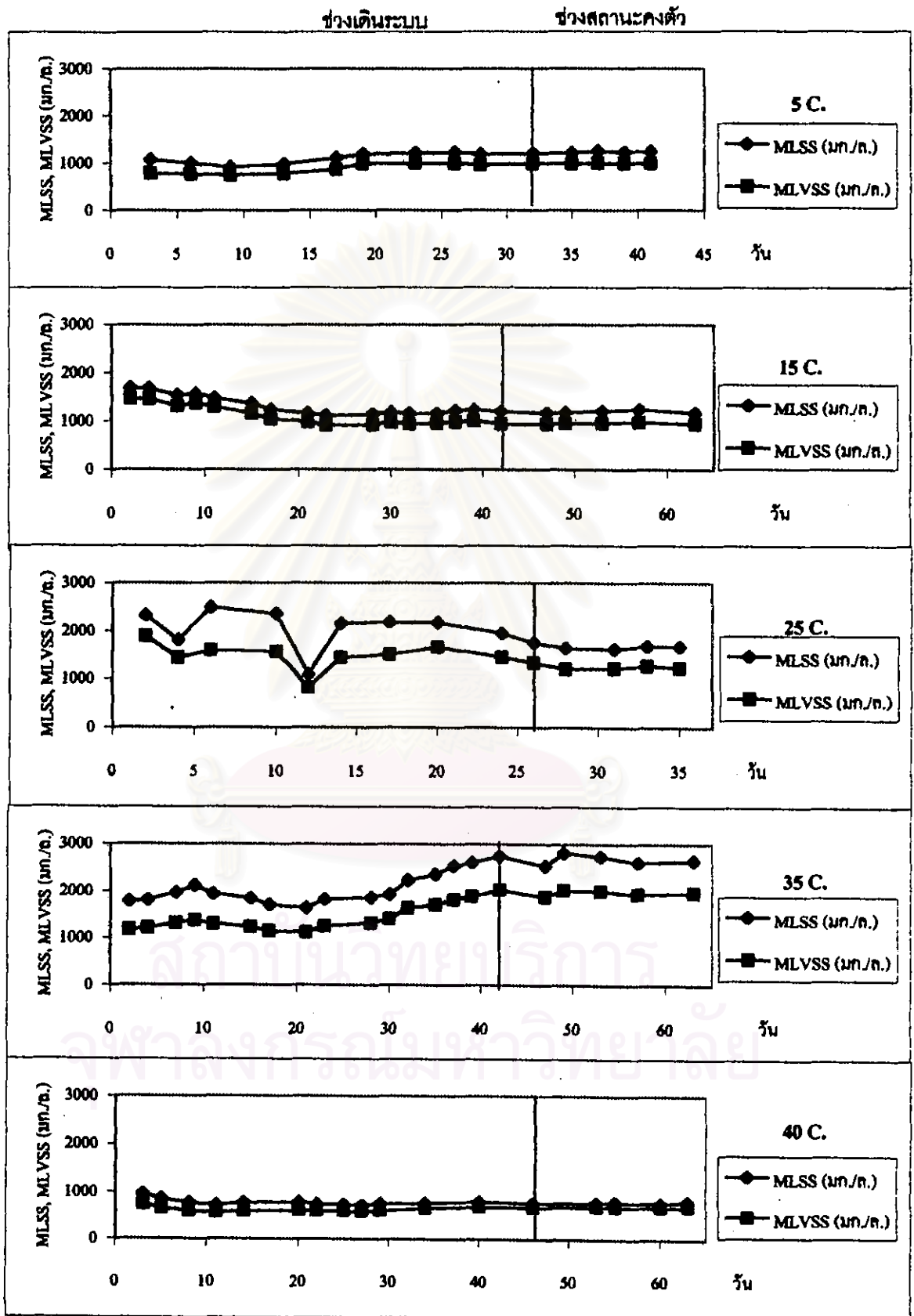
ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 5 – 35 องศาเซลเซียส เป็นผลให้การเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยปริมาณเอ็มแอลเอสเอสที่ 5 , 15 , 25 และ 35 องศาเซลเซียสเป็น 1225 , 1199 , 1682 และ 2688 มก./ล. ตามลำดับ และเอ็มแอลวีเอสเอสที่อุณหภูมิ

เดียวกันเป็น 990 , 958 , 1264 และ 1979 มก./ล. ตามลำดับ นั่นคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น(แต่ไม่มากเกินไป) มีผลให้จุลชีพในระบบเจริญได้ดีขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป(40 องศาเซลเซียส)จะเกิดผลเสียต่อจุลชีพได้ เห็นได้จากปริมาณแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมไนไตรต์ที่ลดลง(ปริมาณแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมไนไตรต์เป็น 790 และ 692 มก./ล. ตามลำดับ)

ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ R.E. Nuck และ C.P.L. Grady Jr., 1974 ซึ่งเขาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณจุลชีพ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณจุลชีพจะสูงขึ้นด้วย แต่ที่ 40 องศาเซลเซียสอันเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปปริมาณจุลชีพจึงลดลง โดยกรรมของ *Pseudomonas fluorescens* (เหมือนกับในงานวิจัยนี้) ซึ่งเขาได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 8 – 30 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณจุลชีพเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิดังที่พบในงานวิจัยนี้เช่นกันก็ได้ผลเช่นเดียวกันนี้



รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณจุลชีพ (รวบรวมจาก Brown, C.M. และ Rose, A.H., 1969 Palumbo และ Witter, L.D., 1969 Topiwala, H. และ Sinclair, C.G., 1971 Nuck และ Grady, Jr., 1974)



รูปที่ 4.13 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัว

4.1.7 ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าเอสวี 30 และค่าเอสวีไอ

การวัดค่าของแข็งแขวนลอยของการทดลองนี้ทำการวัดเฉพาะในน้ำออก โดยค่าของแข็งแขวนลอยของระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 5 - 26 มก./ก. ส่วนค่าเอสวี 30 (Sludge Volume 30, SV₃₀) และค่าเอสวีไอ (Sludge Volume Index, SVI) มีค่าอยู่ในช่วง 115 - 198 มก./ก. และ 43 - 251 มก./ก. ตามลำดับ โดยค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย ค่าเอสวี 30 เฉลี่ย และค่าเอสวีไอเฉลี่ยที่สถานีทดลองของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

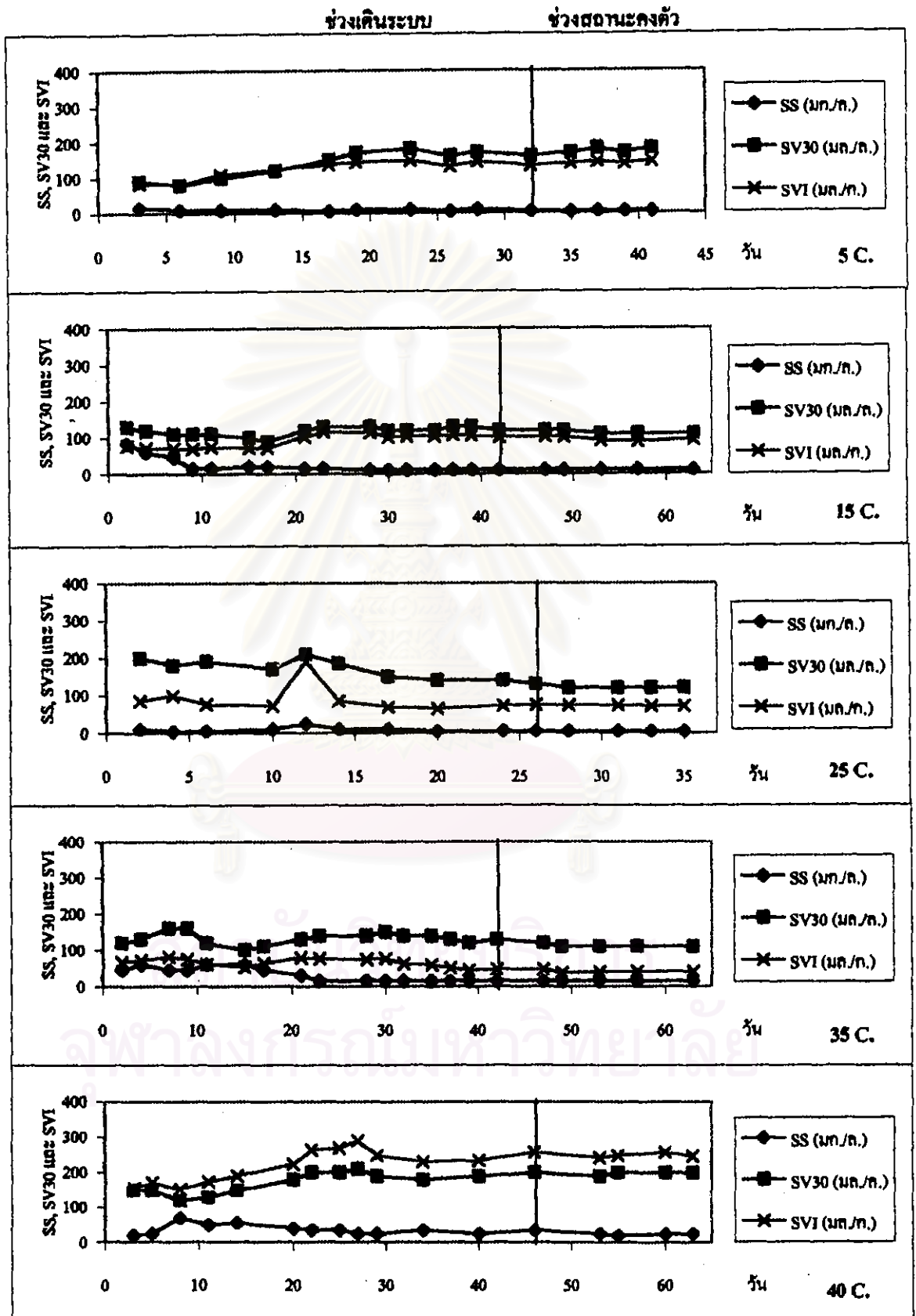
ตารางที่ 4.11 ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย ค่าเอสวี 30 เฉลี่ย และค่าเอสวีไอเฉลี่ยที่สถานีทดลองของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ก.)	เอสวี 30 (มก./ก.)	เอสวีไอ (มก./ก.)
1	5	5	172	140
2	15	10	115	96
3	25	5	122	73
4	35	15	115	43
5	40	26	198	251

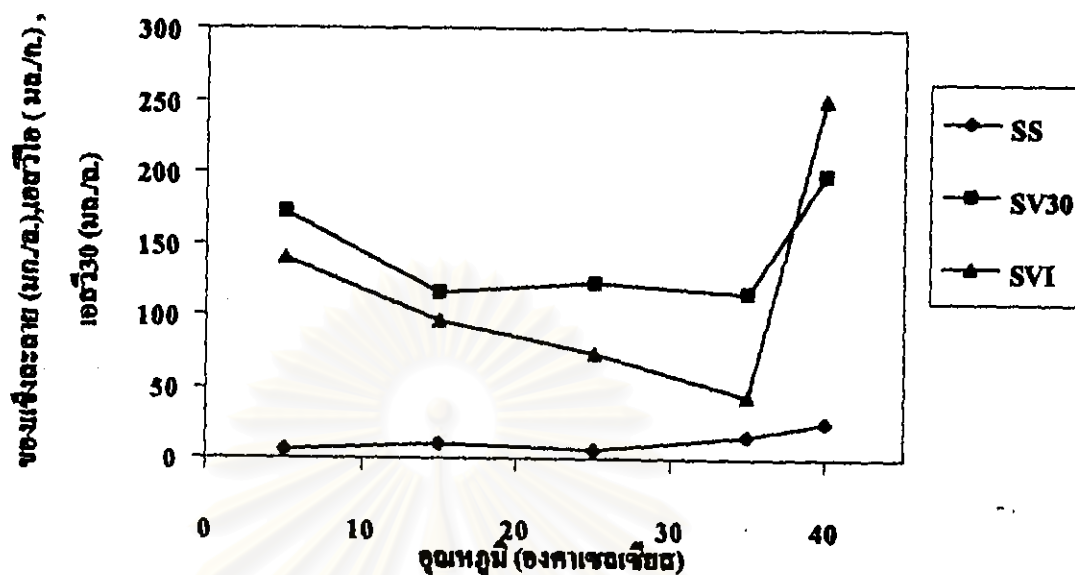
หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(ก)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

จำนวนข้อมูล(ก)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

จากผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5 - 35 องศาเซลเซียส ระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกน้อย เซลล์มีการจมตัวดี โดยค่าเอสวีไอต่ำกว่า 150 มก./ก. (Jenkins และคณะ, 1993) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป(ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส)พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกสูง(26 มก./ก.) เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์มีการจมตัวไม่ดีด้วย(ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอเป็น 198 มก./ก. และ 251 มก./ก. ตามลำดับ)



รูปที่ 4.14 ของแข็งแขวนลอย เอชวี30และเอชวีไอในช่วงคืนระบบและช่วงสถานะคงตัว



รูปที่ 4.15 ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย ค่าเอสวี30เฉลี่ย และค่าเอสวีไอเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

4.1.8 กรดระเหยง่าย

กรดระเหยง่ายหรือวีเอฟเอ (Volatile Fatty Acids, VFAs) เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กซึ่งมีจำนวนคาร์บอนน้อยๆ (Short Chained Volatile Fatty Acids, SCVFAs) เช่นกรดอะซิติก เป็นต้น กรดระเหยง่ายมีความสำคัญในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพมาก เนื่องจากกรดดังกล่าวจะเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มพีเอไอ เพื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์และใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้างพืเอทอซึ่งเป็นพลังงานสำรองของเซลล์ด้วย กลไกดังกล่าวจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมขึ้นโดยใช้นิวทรีชท์บรอรและโซเดียมอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งสารทั้งสองจะถูกย่อยเป็นกรดระเหยง่ายได้จุลินทรีย์ที่กำจัดบีโอดีทั่วไป และหลังจากนั้นกรดระเหยง่ายจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในช่วงแอนแอโรบิกเพื่อสร้างเป็นพืเอทอและใช้ในการเจริญของเซลล์จนมีค่าลดลง

ในการทดลองหาค่าการระเหยง่ายนี้ใช้ 2 วิธี คือ ในช่วงก่อนสถานะคงตัวจะใช้วิธีไทเทรตหาค่าการระเหยง่าย เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและใช้เวลาน้อย แต่ข้อมูลที่ได้อาจมีความผิดพลาดสูง เนื่องจากในการทดลองมีขั้นตอนการต้มให้ความร้อนเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากตัวอย่างน้ำ ทำให้การควบคุมการทดลองให้แต่ละตัวอย่างได้รับความร้อนเท่ากัน มีการระเหยของน้ำเท่ากันเป็นไปได้ยาก และพบว่าทุกตัวอย่างจะหาค่าการระเหยง่ายพบเสมอ ทั้งที่ในความเป็นจริงค่าการระเหยง่ายนั้นหมดไปแล้วก็ตาม ดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบผลการทดลองจึงใช้วิธีที่แม่นยำและถูกต้องกว่า คือ วัดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) สำหรับค่าการระเหยง่ายตามระยะเวลา(profile) โดยข้อมูลการระเหยง่ายวิธีไทเทรตแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.16 ส่วนข้อมูลการระเหยง่ายโดยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟีแสดงดังรูปที่ 4.17 และวิธีหาค่าการระเหยง่ายแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.12 การระเหยง่ายในช่วงก่อนสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

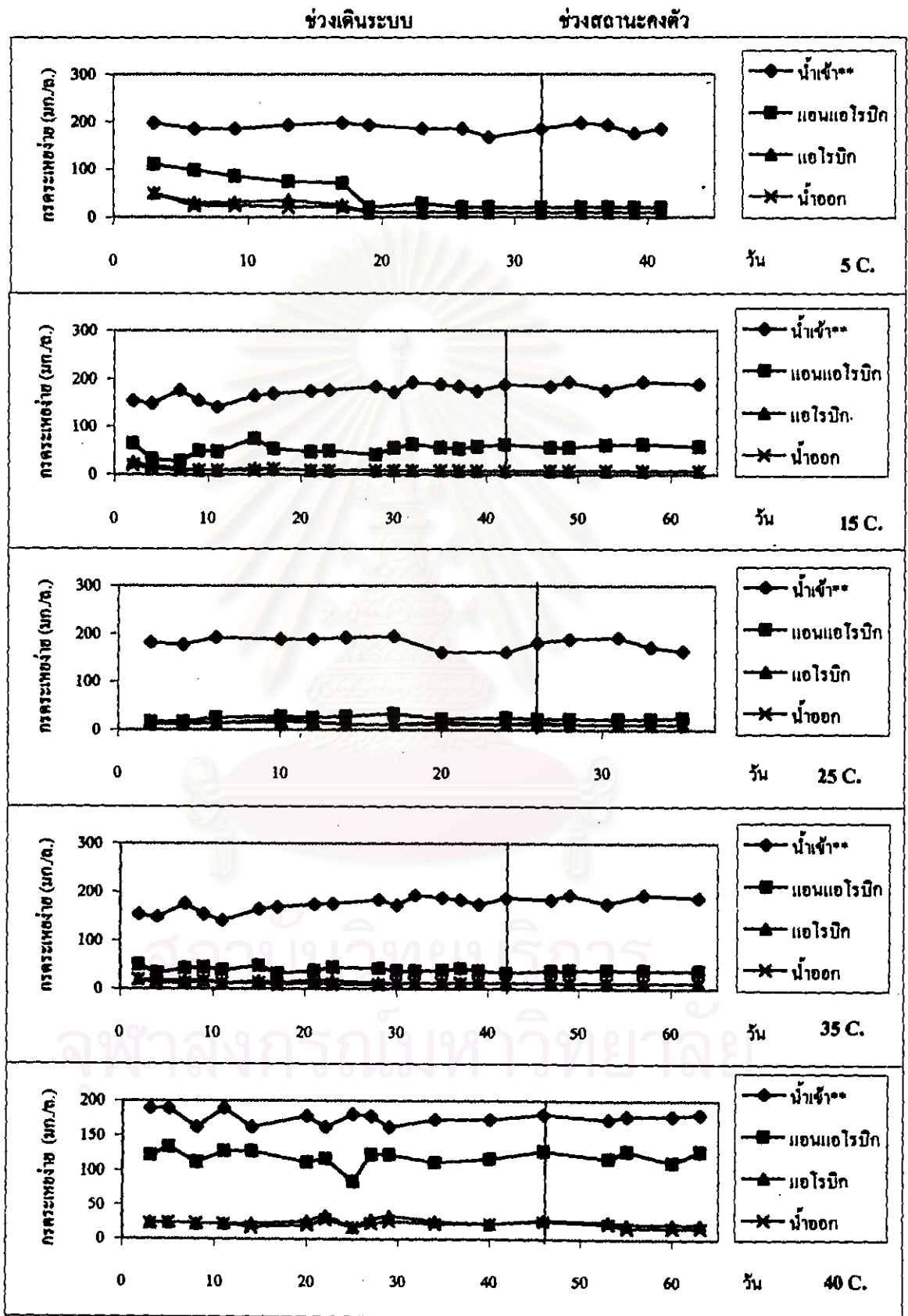
ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	การระเหยง่าย* (มก./ท.)			
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	187	20	10	10
2	15	187	60	8	8
3	25	180	23	12	11
4	35	187	38	12	12
5	40	178	123	24	19

หมายเหตุ *การวัดการระเหยง่ายด้วยวิธีการไทเทรต โดยตัวอย่างน้ำเข้าเป็นการหาค่าการระเหยง่ายทั้งหมด ส่วนตัวอย่างอื่นๆเป็นค่าการระเหยง่ายกรอง (GF/C filter)

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

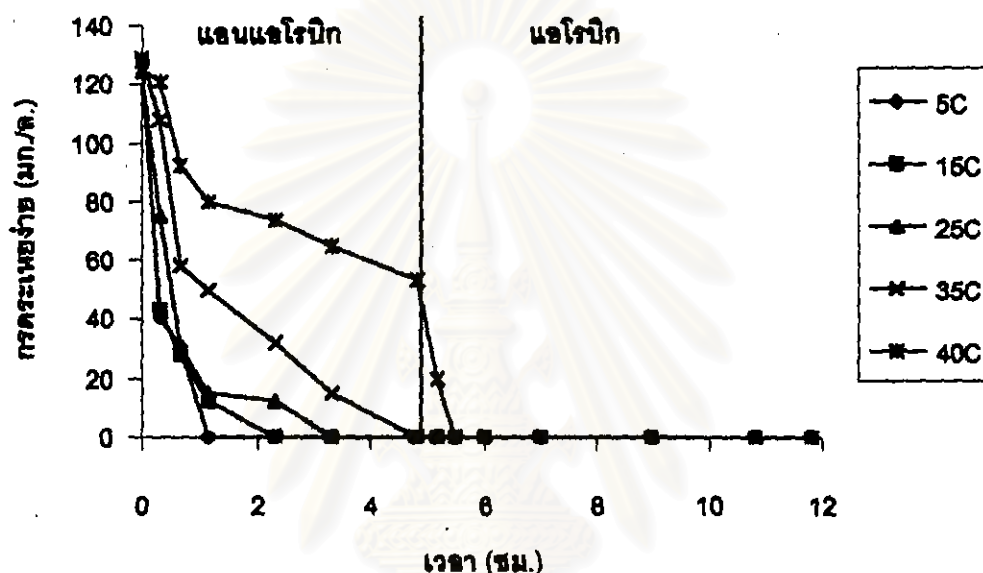
จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าที่ปลายช่วงแอนแอโรบิก ยังพบการระเหยง่ายเหลืออยู่ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากวิธีวัดที่ไม่สามารถหาค่าการระเหยง่ายที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้ ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบด้วยการฉีดตัวอย่างน้ำเสียเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีพบว่าการระเหยง่ายในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5 – 35 องศาเซลเซียสไม่เหลืออยู่แล้ว แต่ในชุด



รูปที่ 4.16 การระเหยน้ำในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

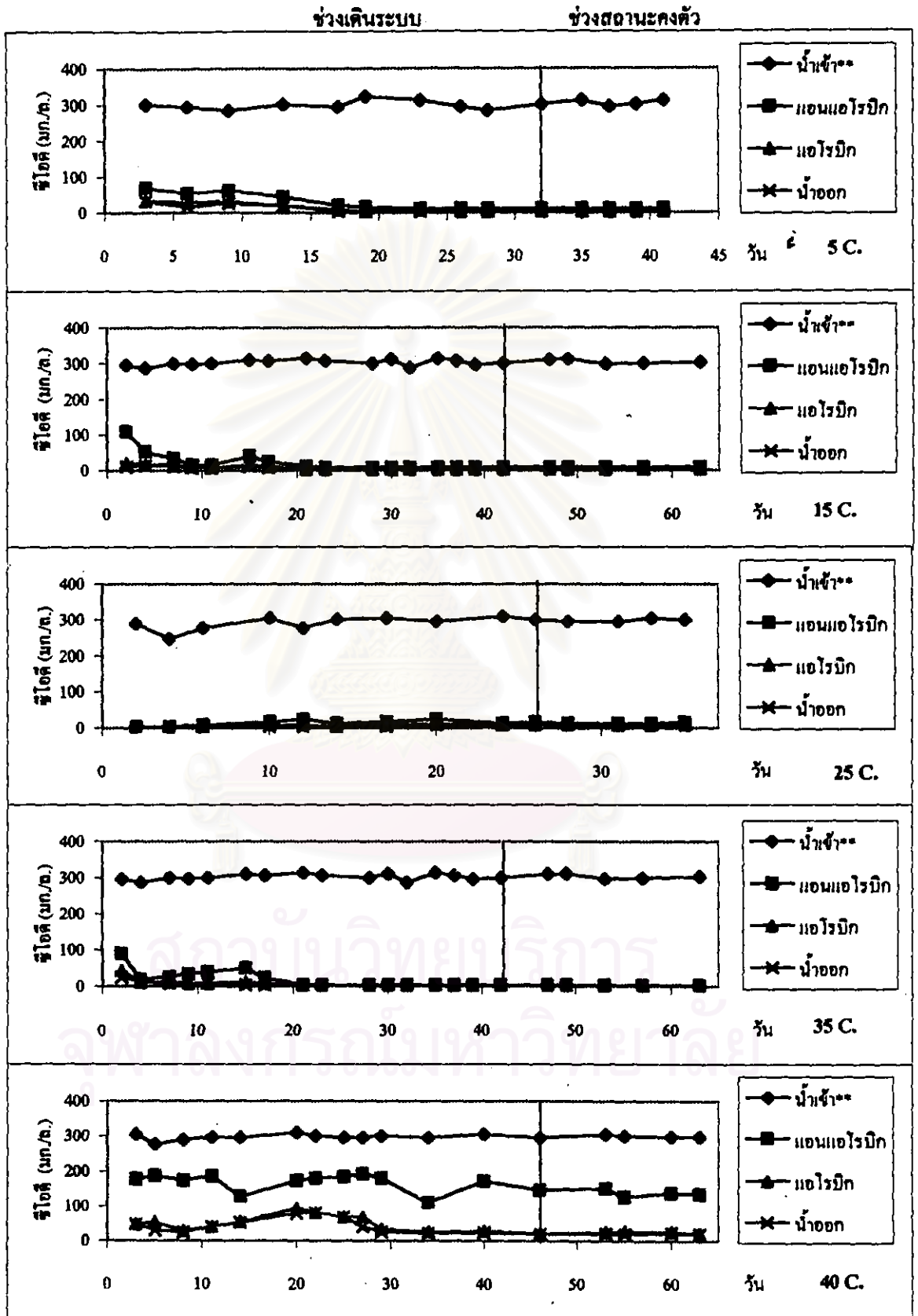
การทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสยังมีกระดาษห่อย่อยเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นเพราะที่อุณหภูมิดังกล่าวมีสัดส่วนของจุดชีพในระบบที่เป็นจุดชีพกลุ่มพีเอโอ้น้อย ทำให้จุดชีพกลุ่มพีเอโอไม่สามารถใช้กระดาษห่อย่อยได้หมด เป็นผลให้ชุดการทดลองนี้มีปริมาณพีเอเอค่า และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพต่ำด้วย



รูปที่ 4.17 กระดาษห่อย่อยตามเวลาของทุกชุดการทดลองโดยการวัดด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟฟี

4.1.9 ซีโอดี

การวัดค่าซีโอดีในการทดลองนี้ประกอบด้วย การวัดค่าซีโอดีทั้งหมดในน้ำเข้า ค่าซีโอดีกรองในช่วงแอนแอโรบิก แอโรบิก และน้ำออก โดยซีโอดีในน้ำเสียตั้งคราะห์เท่ากับ 300 มก/ก. ค่าซีโอดีในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวแสดงในรูปที่ 4.18 ส่วนค่าซีโอดีที่สถานะคงตัวแสดงในตาราง ที่ 4.13

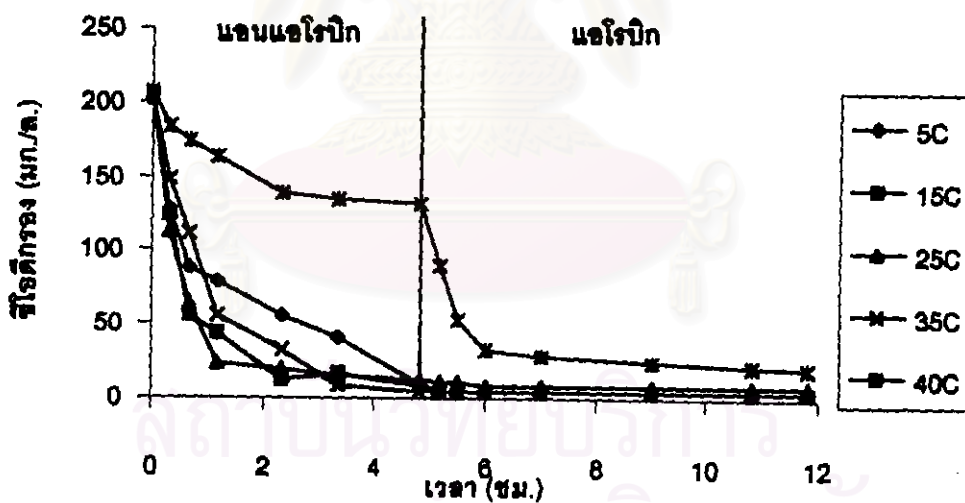


รูปที่ 4.18 ซึโอติในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.13 ซีไอเดิลีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดิกรองที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดิกรอง (%)	ซีไอเดิลี* (มก./ล.)			
			น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	99	305	10	4	4
2	15	99	304	8	4	4
3	25	97	299	13	8	8
4	35	99	304	4	4	4
5	40	93	299	140	25	21

หมายเหตุ *ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นการหาค่าซีไอเดิลีทั้งหมด ส่วนตัวอย่างอื่นๆเป็นค่าซีไอดิกรอง จำนวนข้อมูล(๖)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5 จำนวนข้อมูล(๖)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.19 ซีไอดิกรองที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดิกรองได้ดีมาก โดยในน้ำออกมีค่าซีไอเดิลีเหลืออยู่ในช่วง 4 - 21 มก./ล. ซึ่งถือว่าต่ำมาก โดยอุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดซีไอเดิลีน้อยมาก

ซึ่งพบว่าค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติกรอนมีค่าสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 93 - 99 เห็นได้ว่าระบบสามารถกำจัดซีโอติกรอนในช่วงอุณหภูมิ 15 - 35 องศาเซลเซียสได้ดีมาก เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งจุลินทรีย์กลุ่ม โอเอชไอ (Ordinary Heterotrophic Organisms, OHOs) จุลินทรีย์ฟีเอไอ และจุลินทรีย์เอไอ (Glycogen Accumulating Organisms, GAOs)

ส่วนที่อุณหภูมิสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส (อันเป็นอุณหภูมิร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม) จะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ ออกจากชุดการทดลองที่ 40 องศาเซลเซียสยังคงมีซีโอติกรอนเหลืออยู่มากที่ปลายช่วงแอนแอโรบิก นั่นแสดงว่าการดึงเอาคาร์บอนเข้าเซลล์ไปสร้างเป็นเป็นพีเอชเอได้น้อยกว่า ซึ่งเป็นเพราะจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอไอมีปริมาณลดลงมาก แต่ค่าซีโอตินี้จะมากลดลงจนเหลือน้อยโดยจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟธรรมดาในช่วงแอนแอโรบิก (ซึ่งก็คล้ายกับในกระบวนการแยกแวกซ์ที่สกัดด้วยตัวเอง) ดังนั้นโดยภาพรวมแล้วในกรณีนี้จุลินทรีย์ที่เจริญน่าจะเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม โอเอชไอ ทั้งนี้ระบบที่ 40 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติกรอนลดลงจากเดิมเล็กน้อยเป็นร้อยละ 93 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยโดย Dague และคณะ, 1991 ย่างโดย Ndon และ Dague, 1997 ที่พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอติกรอนในช่วงอุณหภูมิ 25 - 35 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นเพราะในระบบที่มี HRT และ SRT นานพอ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติกรอนจะสูง ซึ่งผลการทดลองของเราก็เป็นไปตามทฤษฎี

ส่วนชุดการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) พบว่าค่าซีโอติกรอนลดลงช้ากว่าที่อุณหภูมิอื่น เป็นเพราะที่อุณหภูมิดังกล่าวจุลินทรีย์ที่เจริญส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอไอ ทำให้มีการใช้ซับสเตรดในรูปอะซิเตตอย่างรวดเร็ว (เห็นได้จากรูปที่ 4.17 ในหัวข้อที่แล้ว) แต่ยังมีซีโอติกรอนอื่นๆที่ถูกใช้ได้อย่างช้ากว่าอะซิเตตและต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเปลี่ยนรูป โดยอาศัยจุลินทรีย์ทั่วไปในการเปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่าย

4.1.10 ทีเคเอ็น

เนื่องจากระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจะถูกควบคุมโดยไนเตรด ทำให้จำเป็นต้องควบคุมปริมาณไนโตรเจนในระบบไม่ให้มีมากเกินไป จนสามารถเกิดในครีพิเคชันเป็นไนเตรดและยับยั้งการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงคำนวณ

การเติมไนโตรเจนในน้ำเสียให้เพียงพอกับการสร้างเซลล์ของระบบเท่านั้น(โดยใช้การคำนวณคร่าวๆจากอัตราส่วนซีไอดี : ไนโตรเจนเท่ากับ 100 : 5) ซึ่งค่าที่เคเอ็นที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14

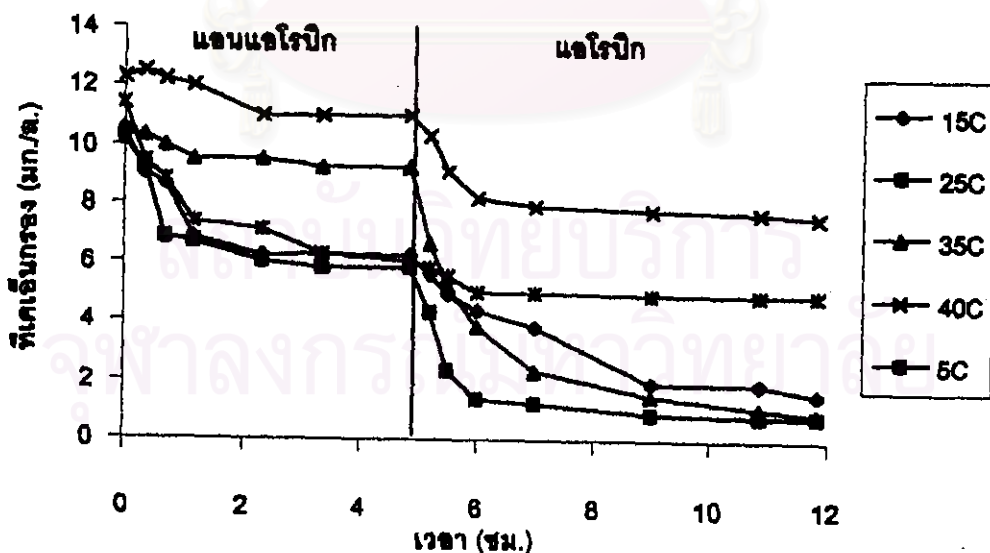
ตารางที่ 4.14 ทีเคเอ็นที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นกรอง (%)	ทีเคเอ็น* (มก./ล.)			
			น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	67	14.7	6.0	4.9	4.9
2	15	89	14.9	6.2	1.8	1.6
3	25	95	14.8	5.8	0.9	0.8
4	35	94	14.9	9.2	1.2	0.9
5	40	57	15.2	11.0	6.7	6.4

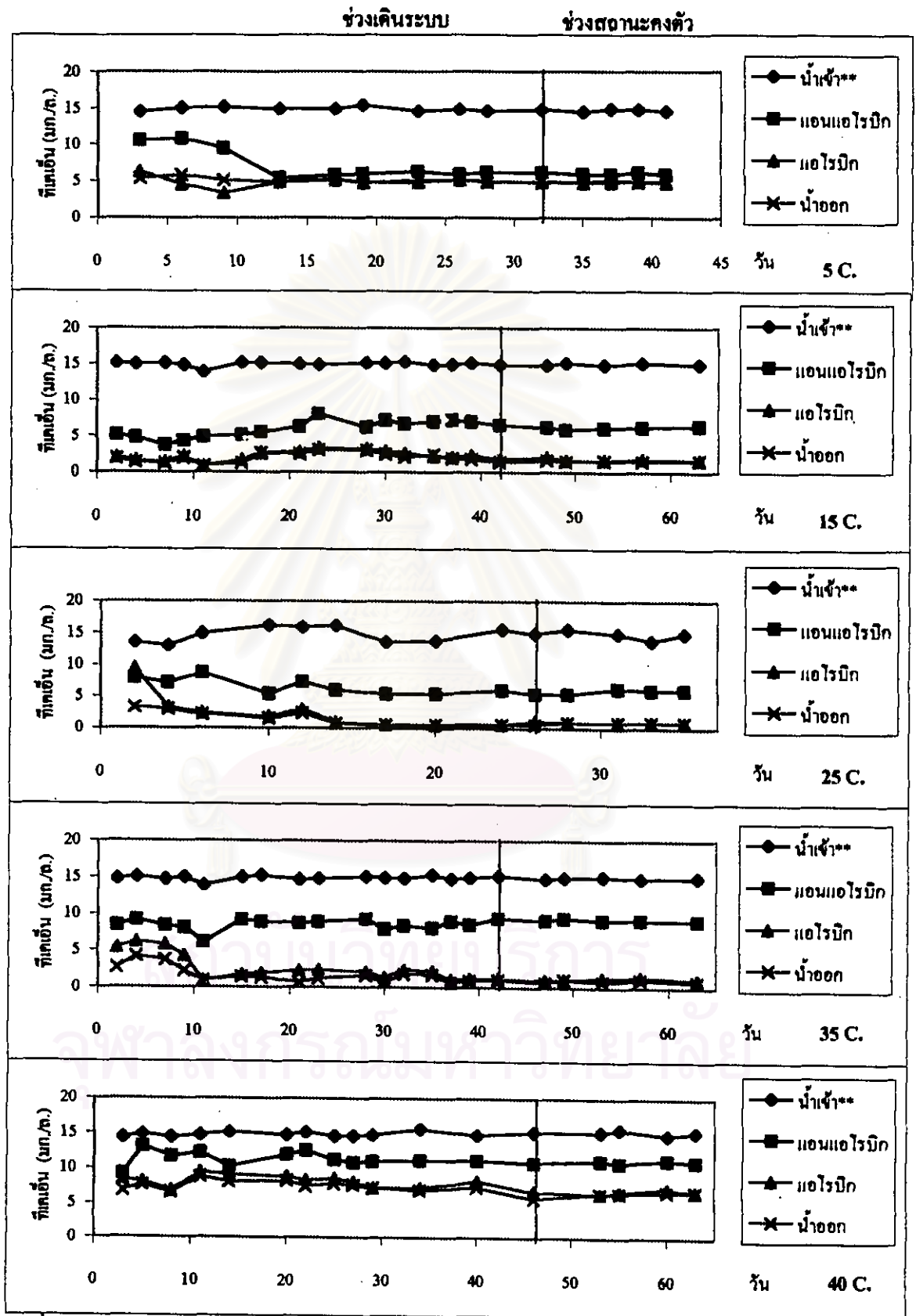
หมายเหตุ *ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นการหาค่าทีเคเอ็นทั้งหมด ส่วนตัวอย่างอื่นๆเป็นค่าทีเคเอ็นกรอง (GF/C)

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6



รูปที่ 4.20 ค่าทีเคเอ็นที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.21 ทิศเหินในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ โดยประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นกรองของระบบเป็นร้อยละ 67, 89, 95, 94 และ 57 และในน้ำออกมีค่าที่เคเอ็นกรองเท่ากับ 4.9, 1.6, 0.8, 0.9 และ 6.4 มก./ล. กล่าวคือ การกำจัดที่เคเอ็นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง(35 องศาเซลเซียส) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป(40 องศาเซลเซียส)การกำจัดที่เคเอ็นจะลดลงมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของไนคริฟายอิงแบคทีเรียอยู่ในช่วง 28 – 36 องศาเซลเซียส (Painter และ loveless, 1983)

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าชุดการทดลองที่ 5 และ 40 องศาเซลเซียสมีค่าที่เคเอ็นกรองสูงที่ปลายช่วงแอโรบิก แสดงว่าที่อุณหภูมิดังกล่าวไนคริฟิเคชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากที่อุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการเจริญของไนคริฟายอิงแบคทีเรีย ส่วนในชุดการทดลองอื่นๆที่เคเอ็นมีค่าลดลงมากในช่วงแอโรบิก นอกจากนี้พบว่าชุดการทดลองที่ 35 องศาเซลเซียสในช่วงแอนแอโรบิกไนโตรเจนถูกใช้ได้ไม่ดีเท่ากรณีอื่นๆ แต่พอเข้าสู่ภาวะแอโรบิกก็เกิดไนคริฟิเคชันได้ดี

4.1.11 ไนโตรเจนทั้งหมด

สำหรับค่าไนโตรเจนทั้งหมดในการทดลองนี้ได้มาจากการคำนวณโดยคิดจากค่ารวมของที่เคเอ็น ไนไทรด์และไนเตรดที่สภาวะต่างๆในระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ไนโตรเจนทั้งหมดที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล.)			
			น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	63	14.7	6.0	5.6	5.6
2	15	62	14.9	6.2	5.6	5.7
3	25	73	14.8	5.8	3.9	4.0
4	35	60	14.9	9.2	6.1	6.0
5	40	49	15.6	11.0	8.1	7.7

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

ส่วนการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบเป็นร้อยละ 63, 62, 73, 60 และ 49 อย่างที่กล่าวข้างต้นแล้วว่าการเติมไนโตรเจนในน้ำเข้าได้คำนวณไว้ให้พอกับการสร้างเซลล์เท่านั้น เพื่อป้องกันปัญหาในเทรครบววนการปลดปล่อยฟอสฟอรัส แต่ในการทดลองจริงกลับพบว่ายังเกิดไนคริฟิเคชันได้ในไทรต์และไนเทรคอยู่ (จากไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเข้าที่สถานะคงตัวเป็น 165, 167, 166, 167 และ 175 มก.ไนโตรเจนสำหรับชุดการทดลองที่ 1- 5 ตามลำดับ และเมื่อคำนวณด้วยการคูณด้วย 0.12 ΔX จะได้เป็นปริมาณไนโตรเจนที่ใช้โดยเซลล์มีค่าเท่ากับ 119, 115, 152 , 238 และ 83 มก.ไนโตรเจน ที่ 5 , 15 , 25 , 35 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นั้นหมายความว่ายังมีไนโตรเจนเหลืออีกส่วนหนึ่งซึ่งสามารถเกิดไนคริฟิเคชันได้) แต่อย่างไรก็ตามไม่พบปัญหาการรวบววนในช่วงแอนแอโรบิก เนื่องจากไนเทรตจะถูกเจือจางโดยน้ำเข้าในช่วงคืนวิฤจักรและเกิดกำจัดได้หมดในช่วงคืนแอนแอโรบิกแล้ว และจุดมุ่งหมายของงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้เน้นที่การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

4.1.12 ไนไทรต์และไนเทรค

สำหรับการทดลองนี้พบว่ายังเกิดไนคริฟิเคชัน มีการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนเป็นไนไทรต์และไนเทรคในช่วงแอนโรบิกอยู่แม้จะมีการควบคุมไนโตรเจนในระบบให้ต่ำแล้วก็ตาม โดยปริมาณไนไทรต์และไนเทรคที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17

ตารางที่ 4.16 ไนไทรต์ที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ไนไทรต์ (มก./ล.)			
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	0	0	0.13	0.13
2	15	0	0	1.20	1.40
3	25	0	0	0.16	0.18
4	35	0	0	1.50	1.60
5	40	0	0	0.11	0.10

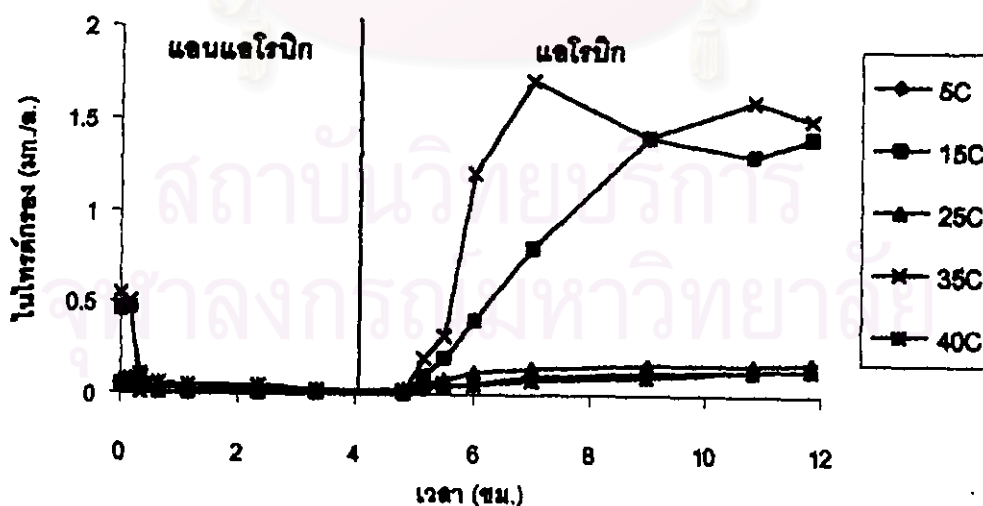
หมายเหตุ *ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นค่าไนไทรต์ทั้งหมด ส่วนตัวอย่างอื่นๆเป็นค่าไนไทรต์กรอง จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5
จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

ตารางที่ 4.17 ไนเตรดที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

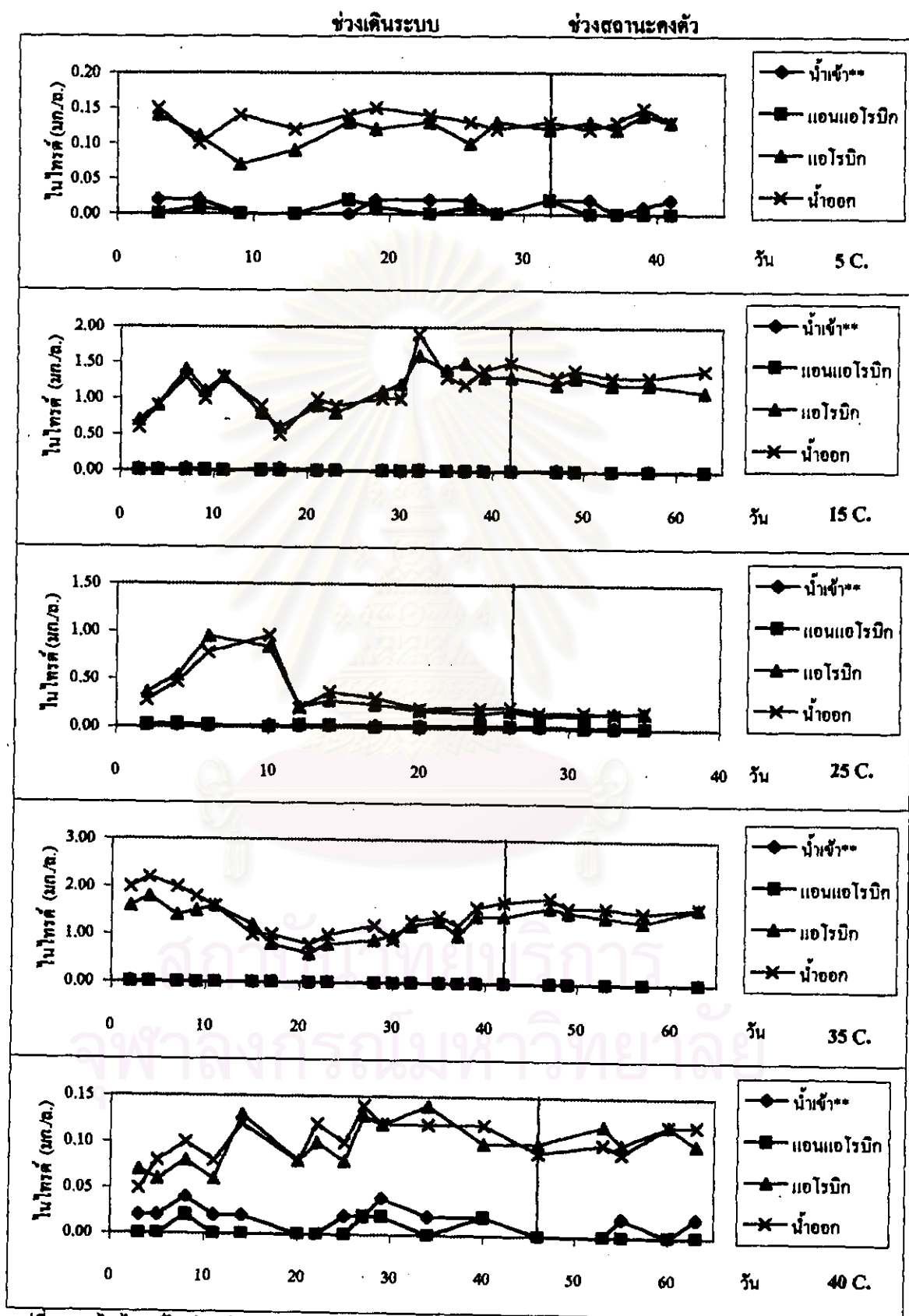
ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ไนเตรด (มก./ล.)			
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	0.2	0	0.6	0.6
2	15	0	0	2.6	2.7
3	25	0	0	2.8	3.0
4	35	0	0	3.4	3.5
5	40	0.4	0	1.3	1.2

หมายเหตุ * ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นค่าไนเตรดทั้งหมด ส่วนตัวอย่างอื่นๆเป็นค่าไนเตรดกรอง
จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5
จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

ปริมาณไนเตรดในน้ำออกของชุดการทดลองที่ 1-5 เป็น 0.6, 2.7, 3.0, 3.5 และ 1.2 มก./ล. ตามลำดับ และเนื่องจากอัตราส่วนน้ำเสียเข้าค่อน้ำค้ำถึงเป็น 2 : 1 อีกทั้งในน้ำเสียมีปริมาณไนไตรต์และไนเตรดน้อย ทำให้ไนเตรดที่เหลืออยู่ในน้ำค้ำถึงนี้ถูกเจือจางโดยน้ำเสียเข้า และถูกกำจัดหมดในช่วงต้นแอนแอโรบิก ดังแสดงในรูปที่ 4.22

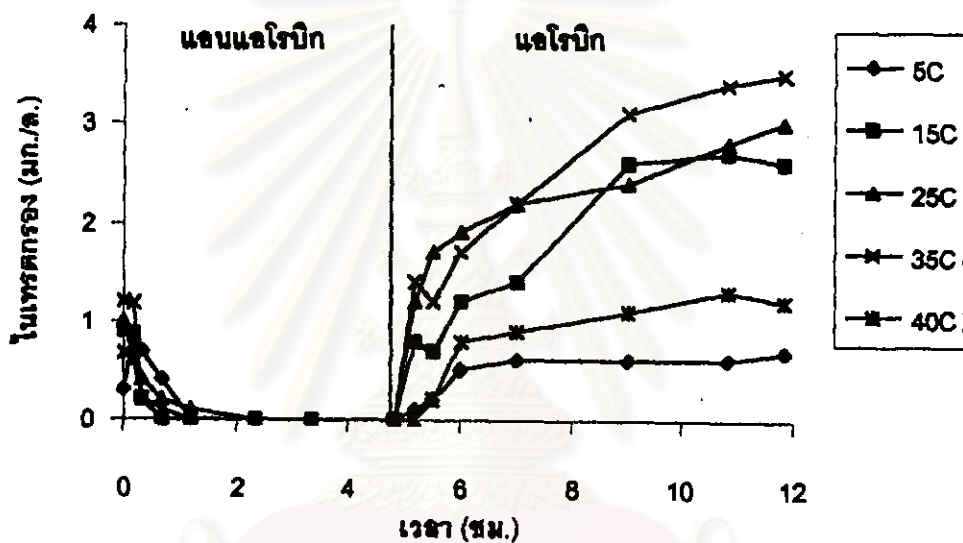


รูปที่ 4.22 ไนไตรต์ที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง



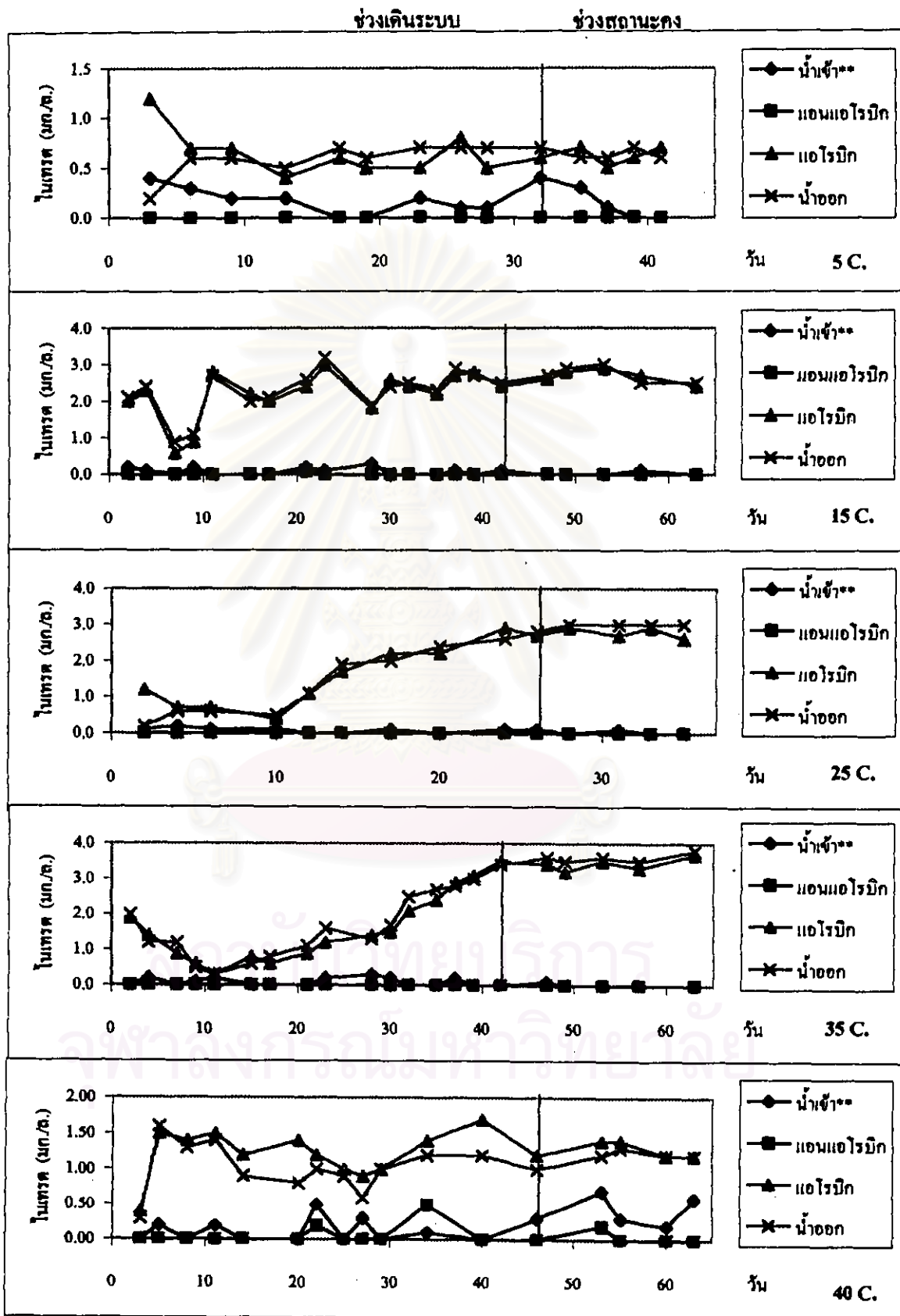
รูปที่ 4.23 ไนโตรเจนในช่วงเคินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ในน้ำออกมีปริมาณไนโตรเจนที่ 5, 15, 25, 35 และ 40 องศาเซลเซียสเป็น 0.1, 1.4, 0.2, 1.6 และ 0.1 มก./ล. ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสพบว่าไนโตรเจนมีค่าต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวไนโตรเจนจะสามารถเปลี่ยนเป็นไนเตรตได้อย่างรวดเร็ว ส่วนชุดการทดลองที่ 5 และ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ เป็นเพราะไนโตรเจนไม่ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำและสูงเกินไป และสำหรับชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 35 และ 15 องศาเซลเซียสพบว่าในช่วงแอโรบิกได้ค่าไนโตรเจนลดลงเป็นบางส่วน อาจเกิดจากการเปลี่ยนเป็นไนเตรตได้อย่างไม่คงที่ หรือเกิดจากความผิดพลาดในการวัดค่าไนโตรเจน



รูปที่ 4.24 ไนเตรตที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าไนโตรเจนแบคเคอร์ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 15 – 35 องศาเซลเซียส ส่วนชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5 และ 40 องศาเซลเซียสจะเกิดไนเตรตได้ไม่มากนักเนื่องจากสภาพอุณหภูมิไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ทั้งไนโตรเจนและไนเตรตจะถูกกำจัดได้หมดในช่วงต้นแอนแอรโรบิก ทำให้ไม่รบกวนการกำจัดฟอสฟอรัส และจากการคำนวณอัตราส่วนไนโตรเจนที่หายไปต่อไนโตรเจนที่ทิ้งไปกับการระบายสลักซ์ของชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5, 15, 25, 35 และ 40 องศาเซลเซียสพบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 112.8, 99.1, 97.2, 40.2 และ 117.9 ตามลำดับ โดยการทำจุดไนโตรเจนมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.



รูปที่ 4.25 ไนโตรเจนในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

4.1.13 ฟอสฟอรัส และพีเอชเอ

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอ ทำให้การศึกษากฎไกในการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวเป็นเรื่องสำคัญ โดยเป็นที่ทราบกันว่าจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก แล้วจับใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากขึ้นในช่วงแอโรบิก ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในระบบที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ฟอสฟอรัสและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

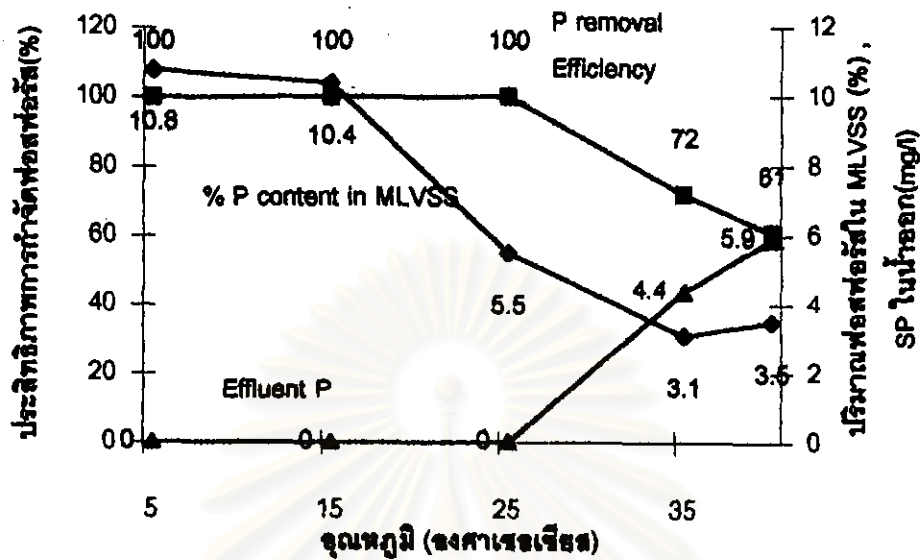
ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)	ฟอสฟอรัส* (มก./ล.)			
			น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
1	5	100	15.0	92.4	0	0
2	15	100	15.0	75.9	0	0
3	25	100	15.0	63.2	0	0
4	35	72	15.0	23.8	4.2	4.4
5	40	61	15.0	14.8	6.2	5.9

หมายเหตุ *ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นการหาค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด ส่วนตัวอย่างอื่นๆเป็นค่าฟอสฟอรัสละลาย

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 5

จำนวนข้อมูล(n)ของชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เท่ากับ 6

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ยังขาดเครื่องมือที่สามารถวัดเฉพาะปริมาณจุลินทรีย์ฟิเอโอได้โดยตรงคือ Fluorescent In Situ Hybridization หรือ FISH(Bond, P.L. และคณะ, 1997) จึงจำเป็นต้องใช้ค่ากก.ฟอสฟอรัสในมวลจุลินทรีย์ในระบบมาอนุมานเป็นค่าประมาณปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอในระบบแทน ซึ่งต้องเข้าใจไว้ด้วยว่าค่าดังกล่าวยังไม่ใช่ปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอแท้จริง อนึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้สูงและมี % P content ในเซลล์ได้สูงถึงร้อยละ 4-12 ของน้ำหนักตัวแห้ง(WEF Manual of Practice, 1992)

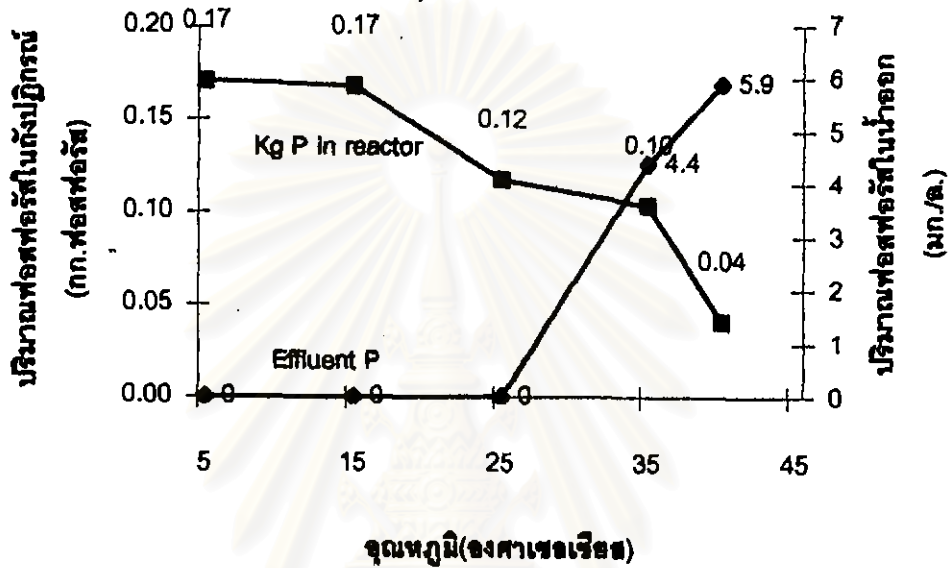


รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ ในเอ็มแอลวีเอสเอตและในน้ำออกที่อุณหภูมิต่างๆ

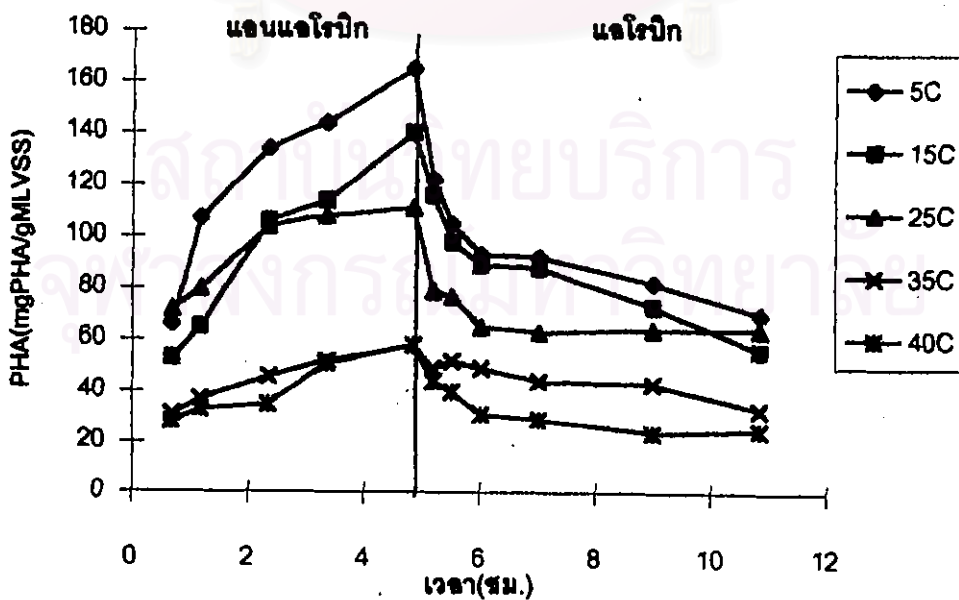
จากรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพมากพอสมควร โดยที่อุณหภูมิ 5 , 15 , 25 , 35 และ 40 องศาเซลเซียสพบว่าน้ำออกมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสต่ำกว่าเท่ากับ 0 , 0 , 0 , 4.4 และ 5.9 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเป็นร้อยละ 100 , 100 , 100 , 72 และ 61 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5 , 15 และ 25 องศาเซลเซียสระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพสามารถทำงานได้สมบูรณ์ (ที่อัตราส่วนบีโอดีต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 20:1) แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 35 และ 40 องศาเซลเซียสประสิทธิภาพก็ลดลงตามลำดับ

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในเอ็มแอลวีเอสเอตคำนวณได้เป็นร้อยละ 10.8 , 10.4 , 5.5 , 3.1 และ 3.5 ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสในระบบเท่ากับ 0.17 , 0.17 , 0.12 , 0.10 และ 0.04 กก.ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.27) นั่นคือที่อุณหภูมิต่ำ(5 , 15 และ 25 องศาเซลเซียส) จุลชีพพวกทีเอโอ (ประเมินคร่าวๆจากปริมาณฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์ซึ่งเท่ากับ 0.17 , 0.17 และ 0.12 กก.) สามารถเจริญเติบโตได้ดี ทำให้ระบบเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Air Product and Chemicals, Inc., 1981 ง่ายโดย Randall และคณะ, 1992 ที่สรุปว่าจุลชีพที่ช่วยกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเป็นจุลชีพในกลุ่ม psychrophiles ซึ่ง

จะเจริญที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าจุลชีพที่กำจัดบีโอดีในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไป และงานของ Ekama และ Marais, 1984 ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส

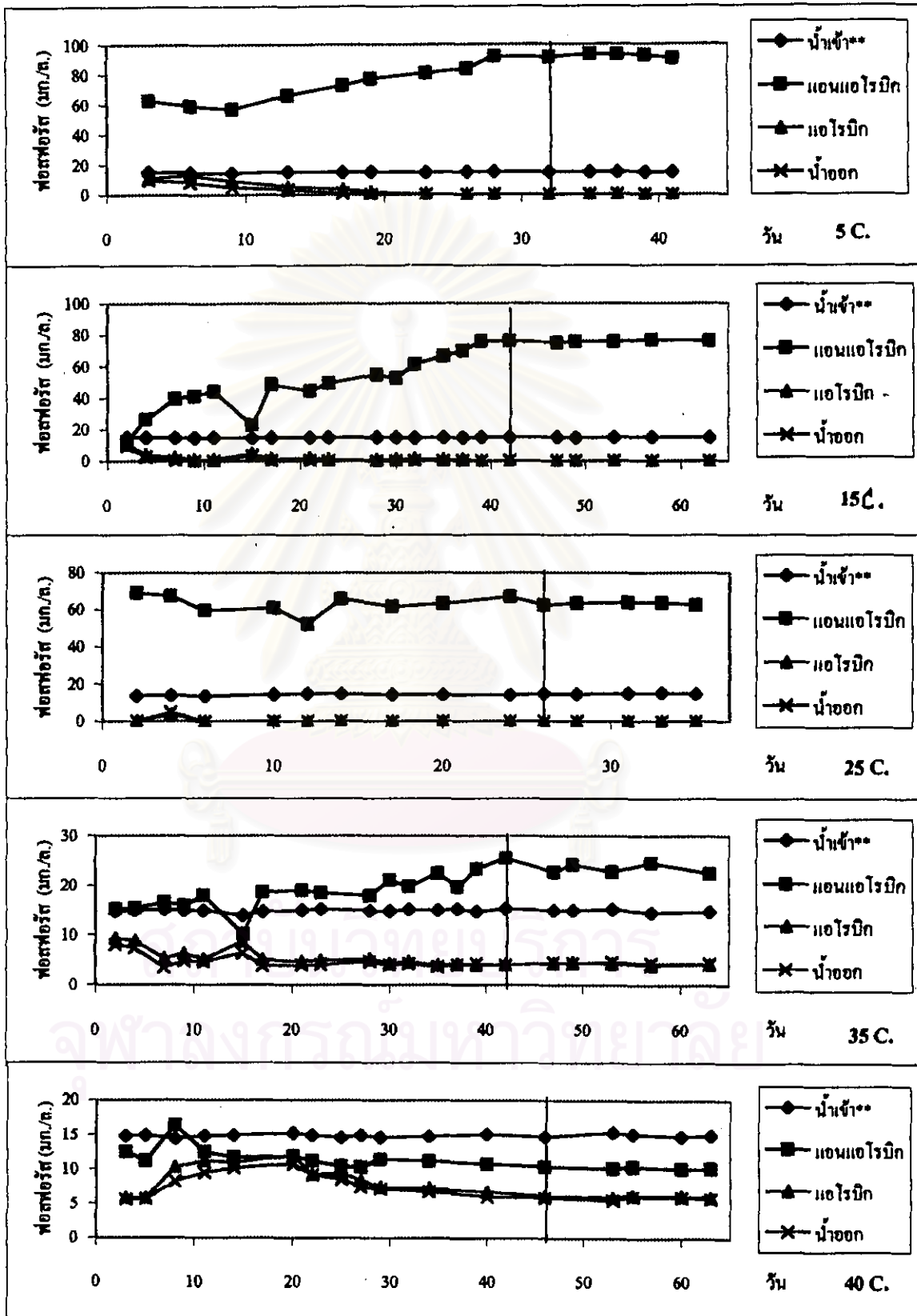


รูปที่ 4.27 ปริมาณฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์และในน้ำออกที่อุณหภูมิต่างๆ



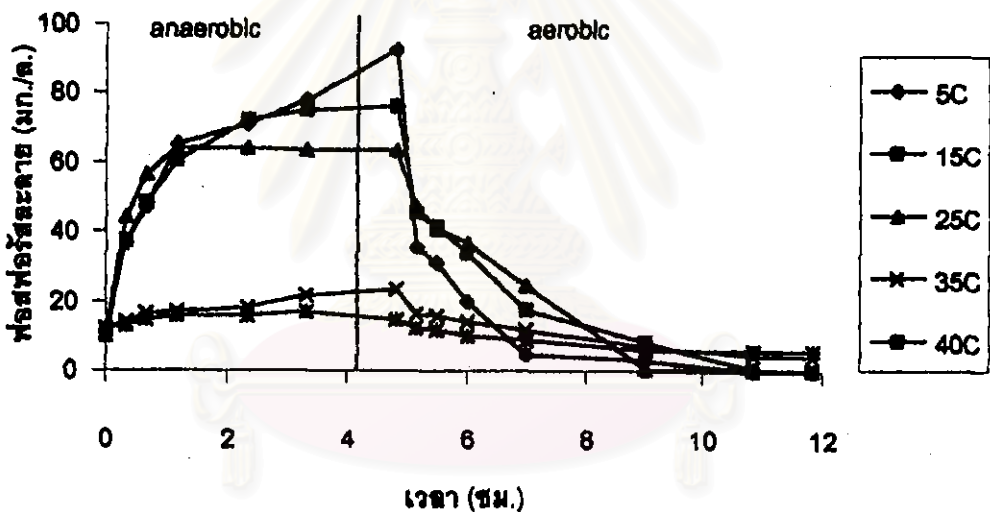
รูปที่ 4.28 ปริมาณพีเอชเอในเอ็มแอลเอสตามระยะเวลา ณ สถานะคงตัวที่อุณหภูมิต่างๆ

ช่วงเดินระบบ ช่วงสถานะคงตัว



รูปที่ 4.29 ฟอสฟอรัสในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

จากรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นปริมาณพีเอชเอ(polyhydroxyalkanoate-PHA)ในเอ็มแอคทีเวตเอตที่เวลาต่างๆ โดยปริมาณพีเอชเอที่อุณหภูมิต่ำ(5 , 15 และ 25 องศาเซลเซียส)มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง(35 และ 40 องศาเซลเซียส) ซึ่งสอดคล้องกับผลการกำจัดฟอสฟอรัสที่สมบูรณ์กว่าที่อุณหภูมิต่ำ และประสิทธิภาพนี้ลดลงที่อุณหภูมิสูงดังแสดงในรูปที่ 4.26 และยืนยันในรูปที่ 4.30 โดยเห็นได้ว่าค่าฟอสฟอรัสละลายมีค่าเพิ่มขึ้นหรือเกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและมีปริมาณพีเอชเอเพิ่มขึ้นในช่วงแอนแอโรบิกที่อุณหภูมิต่ำ(5 , 15 และ 25 องศาเซลเซียส) ซึ่งเกิดจากการที่จุลินทรีย์กลุ่มฟิโอะอะคูลซิมมิกครระเหยง่ายเข้าไปในเซลล์ แล้วเปลี่ยนเป็นพีเอชบีและพีเอชวีซึ่งรวมกันได้เป็นพีเอชเอ เพื่อสะสมเป็นอาหารสำรองไว้ในเซลล์ รวมทั้งเกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกนอกเซลล์ด้วย ส่วนในช่วงแอโรบิกจะเกิดการใช้พีเอชเอและเกิดการจับใช้ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์อย่างพุ่มเทียฮ์(Satoh และคณะ, 1992)เป็นผลให้ฟอสฟอรัสละลายมีค่าลดลงในที่สุด



รูปที่ 4.30 ฟอสฟอรัสละลายตามระยะเวลา ณ สถานะคงตัวที่อุณหภูมิต่างๆ

เป็นที่ตั้งเกดว่าที่อุณหภูมิต่ำพีเอชเอช่วงปลายแอนแอโรบิกยังคงมีค่าสูงอยู่(พีเอชเอไม่ใช่ limiting factor) ซึ่งหมายความว่าจุลินทรีย์ยังมีพลังงานสำรองเหลืออยู่มากและสามารถนำมาใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่านี้อีก นอกจากนี้พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ 5 , 15 และ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยในช่วงแอนแอโรบิกและฟอสฟอรัสที่ถูกจับใช้ในช่วงแอโรบิก จะมีความสัมพันธ์กัน โดยยังมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์มาก ก็จะมีการจับใช้มากขึ้นด้วย ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Helmer, C. และ Kunst, S.(1997) ซึ่งสรุปเช่นเดียวกันนี้ ในการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ 15 และ 20 องศาเซลเซียส และเขายังพบว่ามีการจับใช้ฟอสฟอรัสที่ 10

องศาเซลเซียส จะเพิ่มขึ้นเป็นอิสระจากการปลดปล่อยฟอสฟอรัสด้วย และพบค่าปริมาณที่เอชเอ สูงสุดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกับที่ Baetens และคณะ(1999) วิจัยพบและสรุปว่าค่าที่ อุณหภูมิดังกล่าวเป็นค่าสูงสุดที่จุลินทรีย์สามารถสะสมในเซลล์ได้

นอกจากนี้ จะเห็นว่าชุดการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส แม้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสใน เอ็มแอลวีเอสเอตแค่ร้อยละ 5.5 และกก.ฟอสฟอรัส(ซึ่งอนุมานว่าสมมูลกับปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มฟิโอ ไอโนมวลจุลินทรีย์ทั้งหมด) มีค่าน้อยกว่าที่ 5 องศาเซลเซียสมาก(% P content ในเซลล์เป็นร้อยละ 5.5 VS. 10.8 และปริมาณฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์เป็น 0.12 VS. 0.17 กก.) ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27 แต่ก็สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 100 เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 5 องศา เซลเซียส ค่าอธิบายที่น่าเป็นได้คือฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้น 15 มก./ล. แต่ ระบบมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสที่มากกว่านั้น นั่นคือระบบมีคาร์บอนอินทรีย์ป้อนเข้า ระบบสูงพอ(ในที่นี้ใช้ COD : P = 20:1 ซึ่งค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์นี้ใกล้เคียงกับค่าบีโอดี ซึ่งค่าอัตราส่วน BOD:P = 20:1 เป็นค่าที่แนะนำสำหรับระบบบีโอดีโดย Randall, 1997ว่าสามารถ กำจัดฟอสฟอรัสออกได้หมด) จนจุลินทรีย์กลุ่มฟิโอไอสะสมที่เอชเอไว้เหลือพอที่จะจับใช้ฟอสฟอรัส ในชั้นคอนแวนโรบิกได้เพิ่มอีกมาก ดังที่ได้กล่าวมาในย่อหน้าที่แล้วและจากรูปที่ 4.28 ว่าการที่ ระบบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพร้อยละ 100 ก็เนื่องจากปริมาณที่เอชเอที่สะสมในเซลล์สูงจนเกินพอนั่นเอง ดังนั้นจึงควรทำการทดลองโดยใช้ ปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นไปจนถึงขั้นที่คาร์บอนอินทรีย์เป็นสารจำกัด (limiting substrate) เพื่อให้ เห็นผลได้ชัดเจนกว่านี้

ส่วนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในเอ็มแอลวีเอสเอ ตกกลงอีกเล็กน้อย (เป็นร้อยละ 3.1 และ 3.5 ตามลำดับ, รูปที่ 4.26) ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัส ในมวลจุลินทรีย์รวมในระบบลดลงเป็น 0.10 และ 0.04 กก.ตามลำดับ(รูปที่ 4.27) ซึ่งแสดงว่าที่ 35 องศาเซลเซียสปริมาณฟอสฟอรัสในมวลจุลินทรีย์(หรือปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มฟิโอไอคร่าวๆ)แทบจะไม่ตก ลงจากที่ 25 องศาเซลเซียสนัก แต่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสกลับตกลงมาก ส่วนประสิทธิภาพ การกำจัดฟอสฟอรัสกลับตกลงมากจนเหลือเพียงร้อยละ 72 และ 61 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะที่ อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสมีอัตราส่วนของจุลินทรีย์กลุ่มฟิโอไอ(PAO)ในมวลจุลินทรีย์ทั้งหมด ลดลง ซึ่งจากการวิเคราะห์เซลล์ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์พบจุลินทรีย์ที่ไม่มีโพลีฟอสเฟตแกรนูล (polyphosphate granule)สะสมในเซลล์ในปริมาณมาก(จากตารางที่ 4.7) แสดงว่ามีจุลินทรีย์กลุ่มฟิโอ ไอน้อยลงอันเป็นผลให้มีที่เอชเอสะสมได้น้อย(รูปที่ 4.28) และปล่อยฟอสฟอรัสได้น้อยด้วย(ดู

รูปที่ 4.30) จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง อนึ่งถ้าสังเกตปริมาณพีเอชเอที่สะสมในเซกต์(รูปที่ 4.28) และการปล่อยฟอสฟอรัสในขั้นตอนแอนแอโรบิก(รูปที่ 4.30) จะเห็นและยืนยันได้ว่าที่อุณหภูมิสูงนี้จุลชีพกลุ่มพีเอโอมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสฟอรัสลดลงดังที่กล่าวมาแล้ว และเมื่อพิจารณาไปถึงค่าซีโอดีซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1.9 ก็พอจะสรุปในขั้นต้นได้ว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสยังมีการจับเอาคาร์บอนอินทรีย์เข้าไปในเซกต์แม้จะผลิตเป็นพีเอชเอได้ไม่มาก(รูปที่ 4.28) จุลชีพจึงควรเป็นกลุ่มจีเอโอและโอเอชโอมากขึ้นและมีจุลชีพกลุ่มพีเอโอลดลง ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จุลชีพควรเป็นกลุ่มโอเอชโอเป็นส่วนใหญ่และมีจุลชีพกลุ่มจีเอโอและพีเอโอลดลงตามส่วน รวมทั้งมวลจุลชีพทั้งหมดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส(จากหัวข้อที่ 4.1.6) ก็ลดลงด้วยการจับใช้คาร์บอนอินทรีย์จึงทำได้ไม่ดีเท่ากรณีของอุณหภูมิ 5 - 35 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าจุลชีพกลุ่มพีเอโอจะลดลงมากยิ่งขึ้นที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นการกำจัดฟอสฟอรัส ณ ของอุณหภูมิหนึ่งจึงมีประสิทธิภาพลดลงตามลำดับดังที่ได้รายงานไว้ การทำคูลฟอสฟอรัสในชุดการทดลองทั้ง 5 ชุด มีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง.

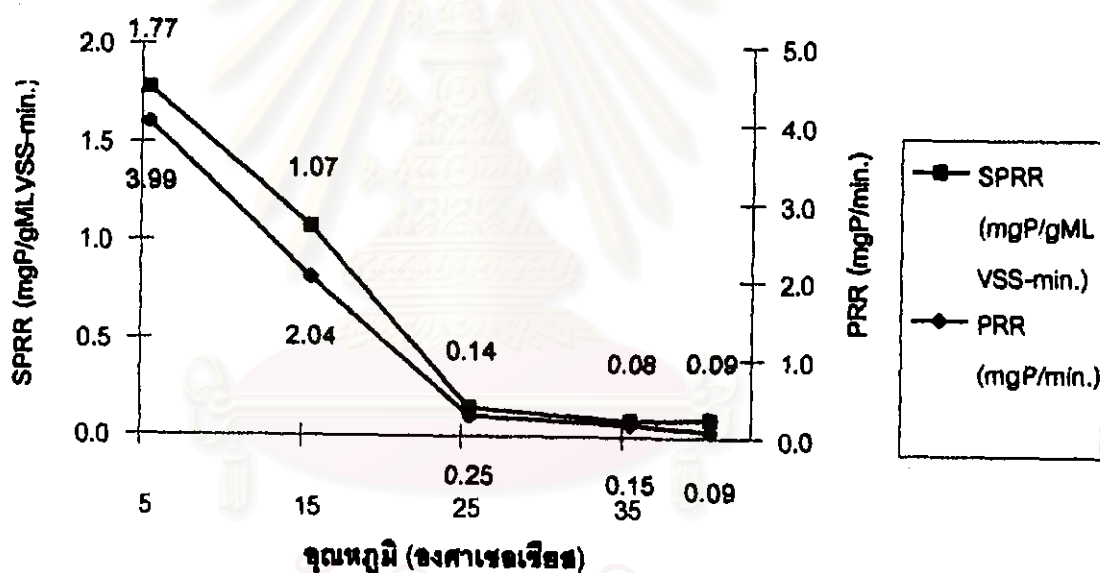
ดังนั้นการที่ปริมาณเอ็มแอลทีเอสเอสสูงไม่ได้หมายถึงการกำจัดฟอสฟอรัสจะสูงตามด้วย เนื่องจากเอ็มแอลทีเอสเอสเป็นการวัดปริมาณจุลชีพทั้งหมด ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นจุลชีพพีเอโอไปเสียทั้งหมด เช่น เอ็มแอลทีเอสเอสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีค่าสูงที่สุด(1,979 มก./ล.) แต่ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าต่ำ(ร้อยละ 72) เป็นเพราะเชื้อที่เจริญที่อุณหภูมิดังกล่าวมีอัตราส่วนของจุลชีพเฮเทอโรโทรฟธรรมดา(OHO)และจุลชีพกลุ่มจีเอโอ(GAO)เพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.1.14 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ

การหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะในการทดลองนี้ทำการทดลองแบบแบคซ์ โดยวิธีทดลองและรายละเอียดในการทดลองส่วนนี้แสดงในภาคผนวก ค ในการทดลองใช้สัณฐานจากระบบที่สถานะคงตัวจากชุดการทดลองทั้งห้าชุดมาทำการทดลอง โดยการหาการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะทำในสภาวะแอนแอโรบิก และการหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสทำในสภาวะแอโรบิก ผลอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะแสดงดังตารางที่ 4.19 ผลอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส (มก.ฟอสฟอรัส/นาท)	อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก.ฟอสฟอรัส/ก. MLVSS-นาท)
1	5	3.99	1.77
2	15	2.04	1.07
3	25	0.25	0.14
4	35	0.15	0.08
5	40	0.09	0.05

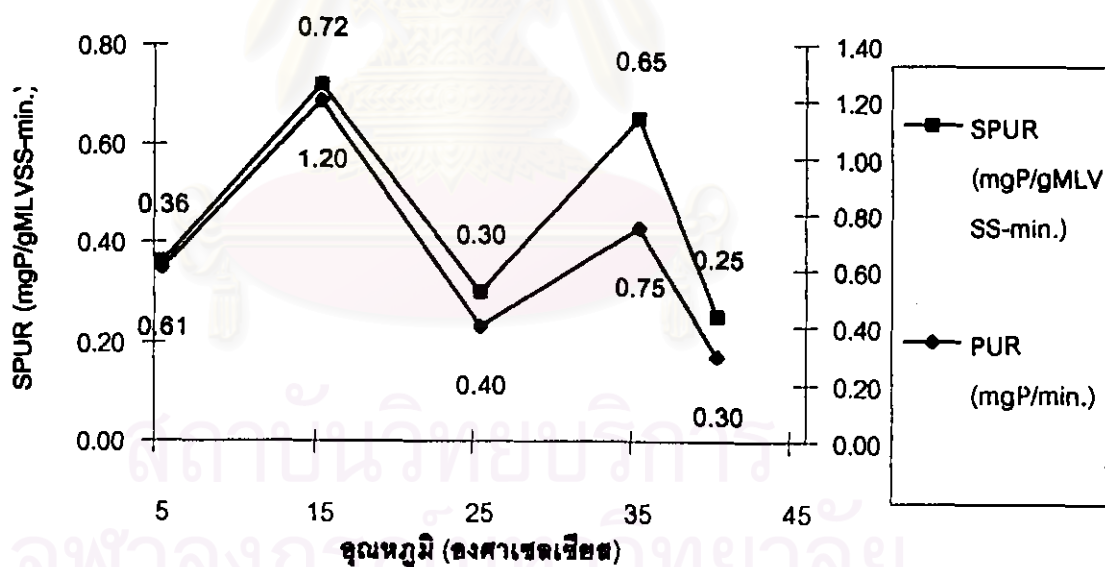


รูปที่ 4.31 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดลองพบว่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate, SPRR) ที่อุณหภูมิ 5, 15, 25, 35 และ 40 องศาเซลเซียสเป็น 1.77, 1.07, 0.14, 0.08 และ 0.05 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-นาทตามลำดับ ส่วนอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส (Phosphorus Release Rate, PRR) เป็น 3.99, 2.04, 0.25, 0.15 และ 0.09 มก.ฟอสฟอรัส/

นาที่ ตามลำดับ(เป็นค่า first rate ของการทดลอง ซึ่งเป็นอัตราที่เกิดที่ต้นปฏิกิริยาและมีอัตราสูงกว่าที่ปลายปฏิกิริยา การทดลองพบว่าการปลดปล่อยมี 2 อัตรา รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.

จะเห็นได้ว่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสแปรตามอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิค่า(5 และ 15 องศาเซลเซียส)ระบบมีอัตราสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง(25, 35 และ 40 องศาเซลเซียส)อย่างเห็นได้ชัด โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสต่ำ แต่ยังมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูง เนื่องจากมีมวลจุลชีพในระบบสูง เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสที่แม้ว่าจะมีมวลจุลชีพในระบบมากที่สุดก็ตาม แต่เพราะมีสัดส่วนจุลชีพในระบบที่เป็นจุลชีพกลุ่มทีเอไอน้อยและมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกสูง สำหรับชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยในช่วงแอนแอโรบิกมีค่าต่ำ จึงทำให้การจับใช้ฟอสฟอรัสเกิดได้ไม่ดี(อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสต่ำ) และฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกมีค่าสูง



รูปที่ 4.32 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสและอัตราการจับใช้จำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.20 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดการทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส (มก.ฟอสฟอรัส/นาที)	อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก.ฟอสฟอรัส/ก. MLVSS-นาที)
1	5	0.61	0.36
2	15	1.20	0.72
3	25	0.40	0.30
4	35	0.75	0.65
5	40	0.30	0.25

จากการทดลองพบว่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR) ที่อุณหภูมิ 5, 15, 25, 35 และ 40 องศาเซลเซียสเป็น 0.36, 0.72, 0.30, 0.65 และ 0.25 มก.ฟอสฟอรัส/กรัมเอ็มแอลวีเอสเอส ตามลำดับ ส่วนอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Uptake Rate, PUR) เป็น 0.61, 1.20, 0.40, 0.75 และ 0.30 มก.ฟอสฟอรัส/นาที ตามลำดับ โดยผลที่ได้จากการทดลองพบว่าไม่สอดคล้องกับอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสข้างต้น และอาจเกิดจากความผิดพลาดในการทดลองด้วย