

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของการเติมออร์โทฟอสเฟตบางส่วน ภายหลังจากดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายของแบกทีเรียในชั้นคอนแอนแอรอโรบิก ซึ่งจะทำการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างอาร์บีซีโอดี และออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 6:1 และ 12:1 (สำหรับการทดลองชุดควบคุมที่มีอัตราส่วนเป็น 24:1 และ 48:1 จะอ้างอิงจากผลการทดลองของอร.รุ่งเรืองวัฒน์, 2542 ซึ่งทำวิจัยร่วมกันและทำในลักษณะเป็นโครงการย่อยของโครงการวิจัยหลักที่ ศ.ดร.รังชัย พรรณสวัสดิ์ เป็นหัวหน้าโครงการและจะเป็นผู้มองในภาพรวมของงานวิจัยย่อยนี้ต่อไป) เพื่อศึกษาถึงปริมาณพีเอชบีที่สามารถสะสมได้เมื่อใช้ปริมาณกรดไขมันระเหยแตกต่างกัน และแปรค่าปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เติมภายหลังจากชั้นคอนแอนแอรอโรบิกในชุดการทดลองแบบแบคซ์ โคซติมออร์โทฟอสเฟตเป็นปริมาณ 0, 22.5 และ 67.5 มก.ฟอสฟอรัส/ล. หลังจากนำสัดตั้งที่ผ่านชั้นคอนแอนแอรอโรบิกแล้วมาทดลอง นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองในระบบเอสปีอาร์ต่อ จากระบบเอสปีอาร์แบบเดิมที่เติมฟอสฟอรัสที่น้ำเข้าเท่านั้นมาแบ่งเติมที่ปลายชั้นคอนแอนแอรอโรบิกด้วย โคซติมค่าแห่งละ 7.5 มก.ฟอสฟอรัส/ล. (รวมเป็น 15 มก./ล. เท่ากับการทดลองชุดควบคุม) ในชุดการทดลองที่ค่าอัตราส่วนระหว่างอาร์บีซีโอดีและออร์โทฟอสเฟตเป็น 6:1, 24:1 และ 48:1 เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในชุดควบคุมที่เติมฟอสฟอรัสค่าแห่งเดียวในน้ำเข้าเป็น 15 มก.ฟอสฟอรัส/ล.

จากนั้นจึงสรุปผลการทดลองที่ได้และนำเสนอผลวิจัยพารามิเตอร์ต่างๆจากชุดการทดลองทั้งหมดมาแสดงในหัวข้อต่อไป

4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของชุดการทดลองควบคุมและทดสอบ (ชุดการทดลองที่ 1-7)

ผลการทดลองที่ได้ของการทดลองทั้งหมด ได้นำมาจำแนกออกเป็นแต่ละพารามิเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองทั้งหมด ซึ่งในแต่ละส่วนจะประกอบด้วยกราฟแสดงข้อมูลของพารามิเตอร์ในช่วงเดินระบบและช่วงสถานะคงตัว ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวและการเปรียบเทียบผล ซึ่งมีรายละเอียดพารามิเตอร์ทั่วไปดังนี้

4.1.1 อุณหภูมิ

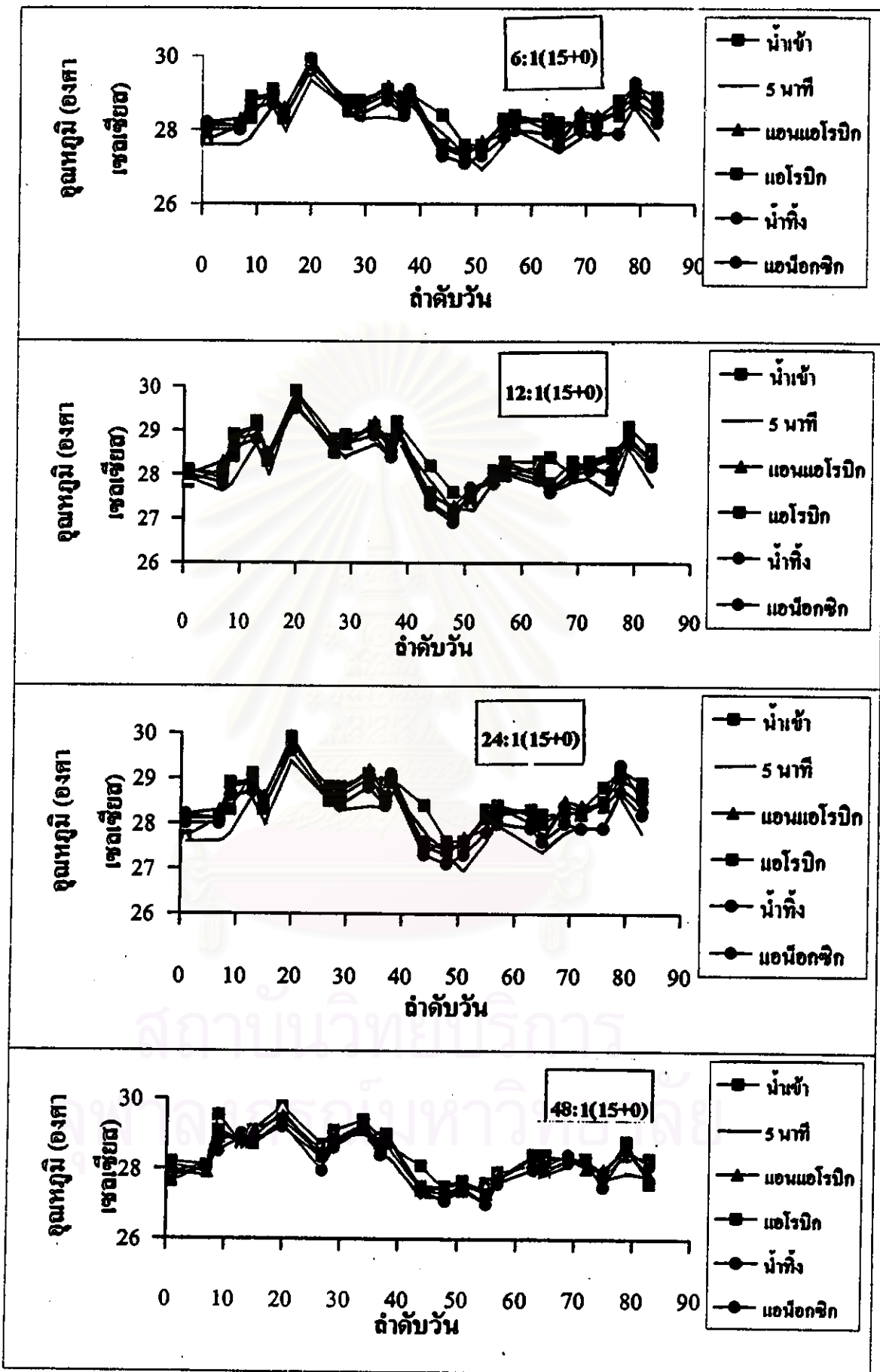
ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2542 - มกราคม พ.ศ. 2543 ซึ่งทำให้อุณหภูมิที่วัดได้เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและอากาศภายนอกดังปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิของถังปฏิกิริยาของชุดควบคุมในระหว่างที่มีการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง $27-30^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพมากนัก (ปรีชดา, 2541) แต่ในขณะที่กำลังเริ่มเปลี่ยนการทดลองมาเป็นชุด 'ทดสอบ' อุณหภูมิของอากาศได้ลดต่ำลง โดยวัดอุณหภูมิได้ต่ำสุดประมาณ 18°C แต่ก็ถือว่ายังไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบมากนัก อีกทั้งเวลานั้นอยู่ในช่วงที่กำลังเปลี่ยนชุดการทดลองพอดี

4.1.2 ค่าออกซิเจนละลาย

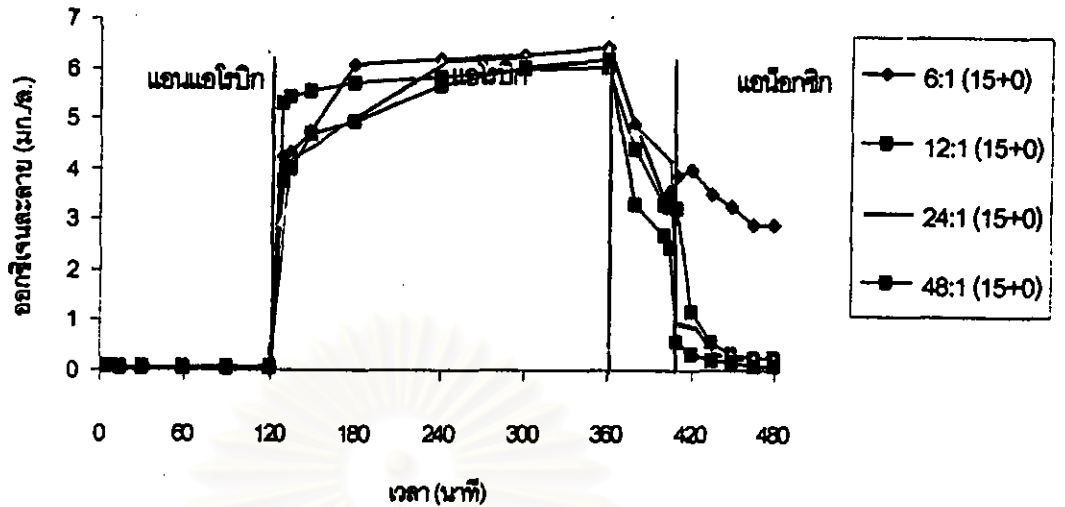
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สถานะของระบบว่าเป็นสถานะแอนแอโรบิก แอนอกซิกหรือแอโรบิก จากการทดลองพบว่าช่วงปลายสถานะแอนแอโรบิกในช่วงสถานะคงตัวมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.05-0.07 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถวัดได้ ซึ่งค่าที่ได้นี้ยังถือว่าเหมาะสมสำหรับช่วงแอนแอโรบิก ซึ่งจะไม่มียูทิลิตี้ของออกซิเจนละลายเหลืออยู่เลย ส่วนค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยตอนปลายแอโรบิกในช่วงสถานะคงตัวมีค่าระหว่าง 6.18-6.4 มก./ล. ซึ่งค่าดังกล่าวยังถือว่าเหมาะสมและไม่สูงเกินไปจนส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ และถึงแม้ว่าจะสูงก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาแอนแอโรบิกในวัฏจักรถัดไป เนื่องจากได้จัดให้มีสถานะแอนอกซิกภายหลังจากระบายน้ำเสียและก่อนที่จะเติมน้ำเสียของวัฏจักรถัดไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที ซึ่งทำให้ค่าออกซิเจนละลายหลังจากผ่านสถานะแอนแอโรบิกไปแล้ว 30 นาทีเหลือเพียง 0.04-0.09 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.1.3 โออาร์พี (oxidation-reduction potential, ORP)

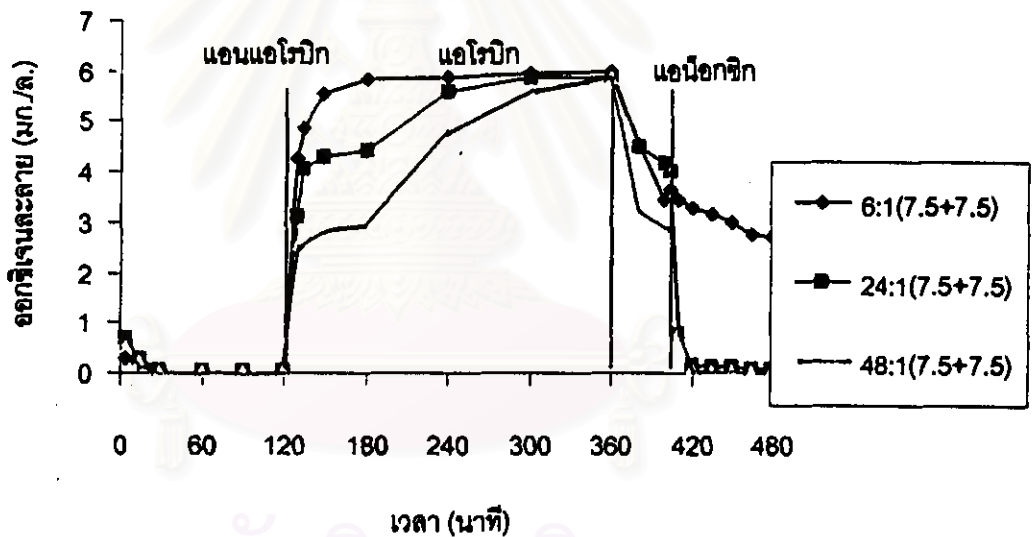
ค่าโออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สถานะของระบบ เมื่อค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบมีค่าต่ำมากๆ การใช้ค่าโออาร์พีจะทำให้สามารถประเมินโดยคร่าวๆว่าระบบอยู่ในสถานะแอนแอโรบิก แอนอกซิก หรือแอโรบิก จากการทดลองพบว่าค่าโออาร์พีเฉลี่ยที่ปลายช่วงแอนแอโรบิกมีค่าระหว่าง -30 - -216 มิลลิโวลท์ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าระบบเป็นแอนแอโรบิกอย่างแท้จริง และยังพบว่าภายหลังจากรวมน้ำเสียเข้าระบบ ค่าโออาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องจากการระหว่างการเติมน้ำเสียมีออกซิเจนละลายเข้าสู่ระบบ แต่ก็พบว่าลดลงอย่างรวดเร็วใน 30 นาทีแรกของช่วงแอนแอโรบิก



รูปที่ 4.1 ความชื้นในช่วงเดินระบบของทุกชุดการทดลองควบคุม



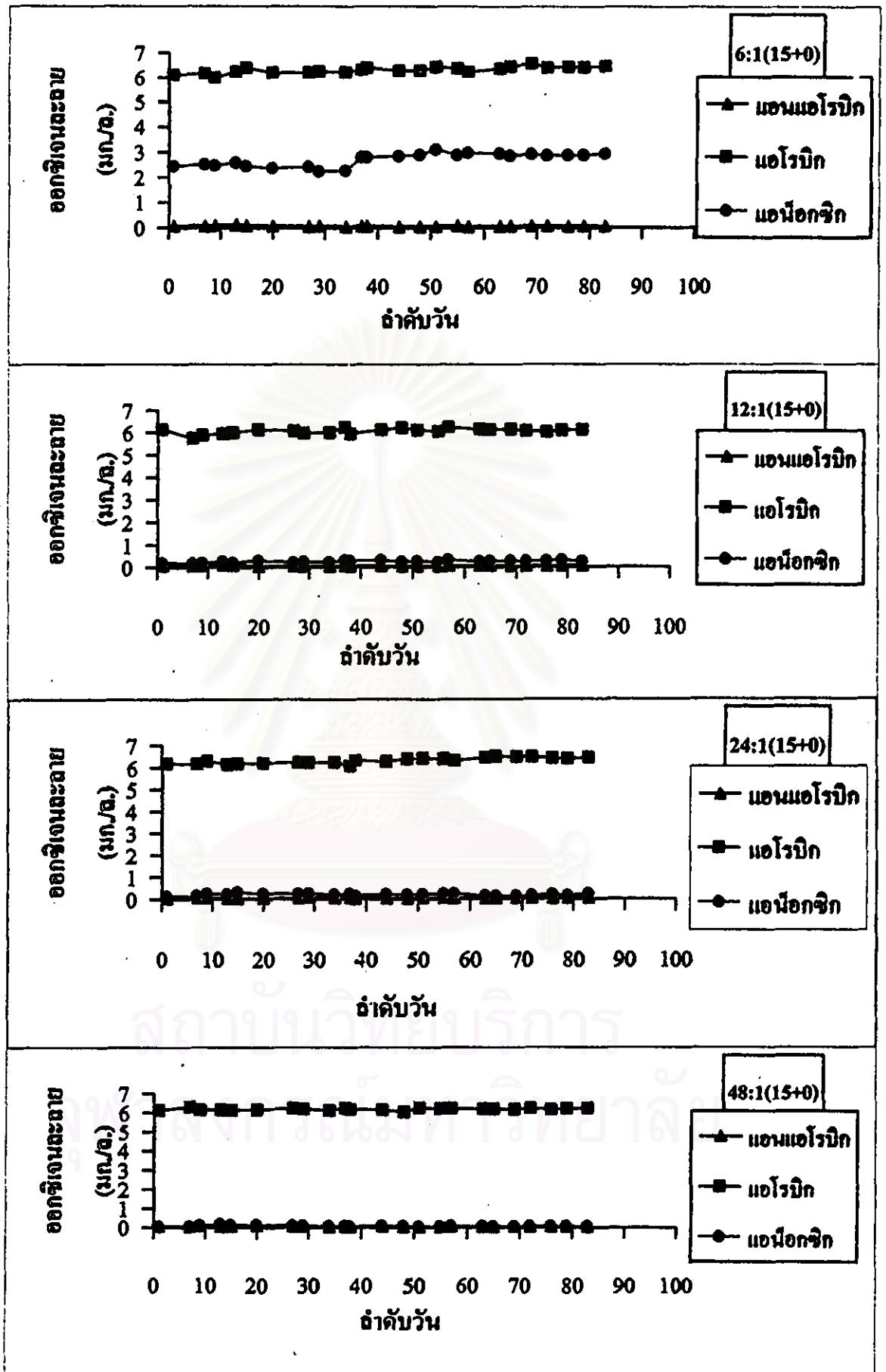
รูปที่ 4.2 ออกซิเจนละลายน้ำในระบบของชุดควบคุม (1-4) ที่สถานะคงตัว



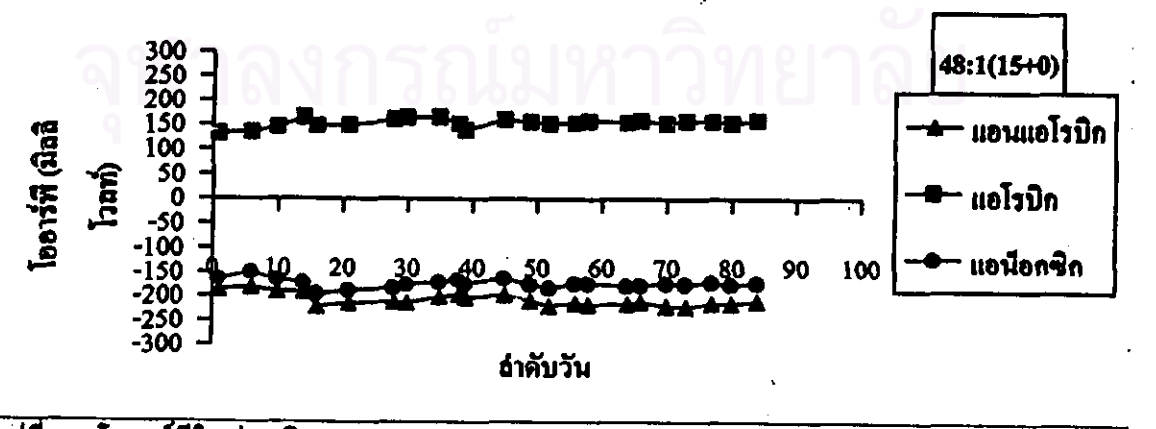
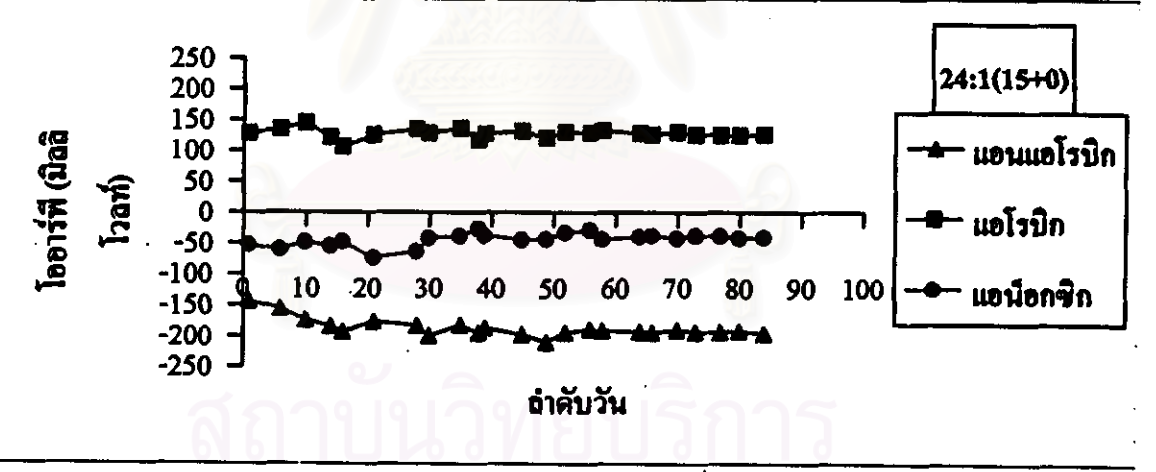
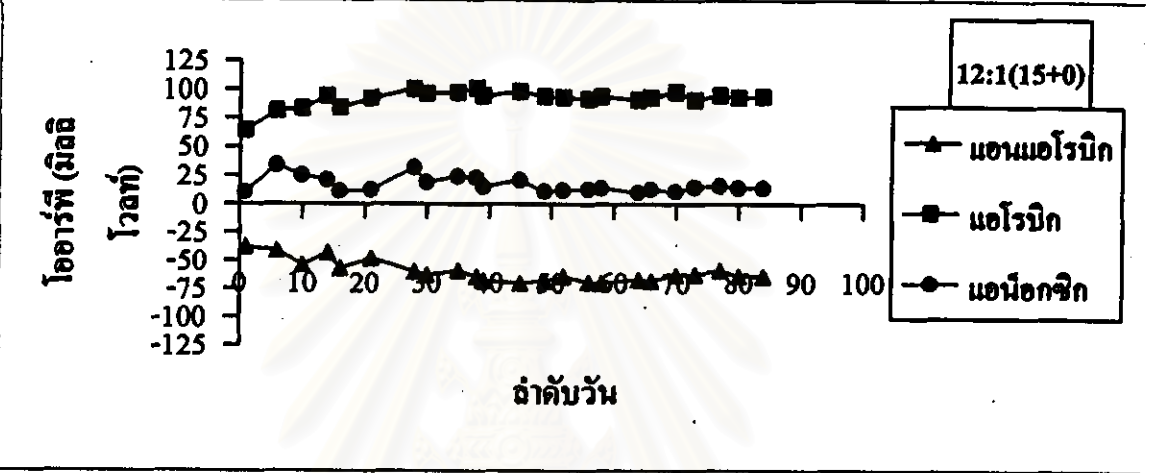
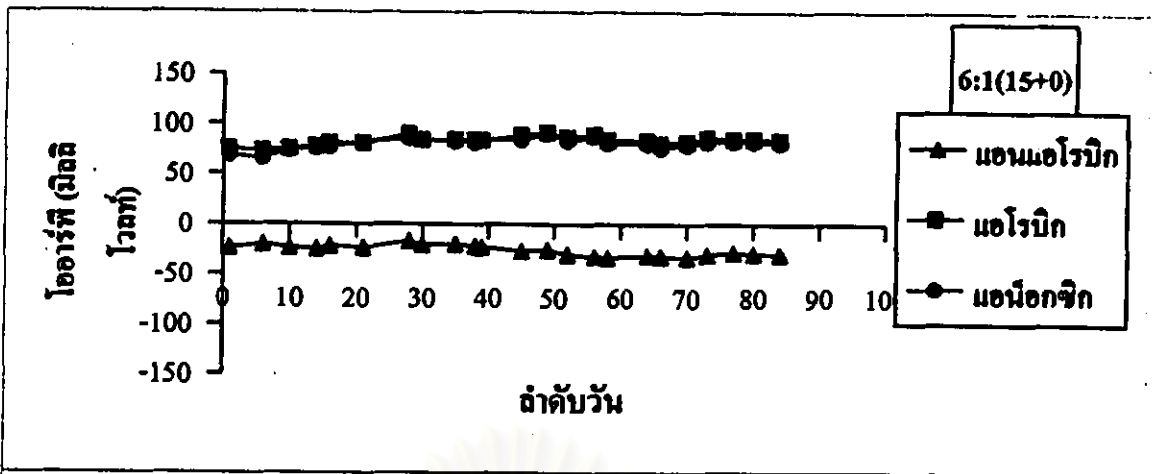
รูปที่ 4.3 ออกซิเจนละลายน้ำในระบบของชุดทดสอบ (5-7) ที่สถานะคงตัว

สำหรับค่าไออาร์ที่ในสภาพแอโรบิกนั้นจะสังเกตพบว่าการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว โดยค่าเฉลี่ยของไออาร์ที่ในช่วงปลายแอโรบิกมีค่าอยู่ระหว่าง 67-155 มิลลิโวลท์ แม้ว่าจะมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่ก็แสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสถานะแอโรบิก

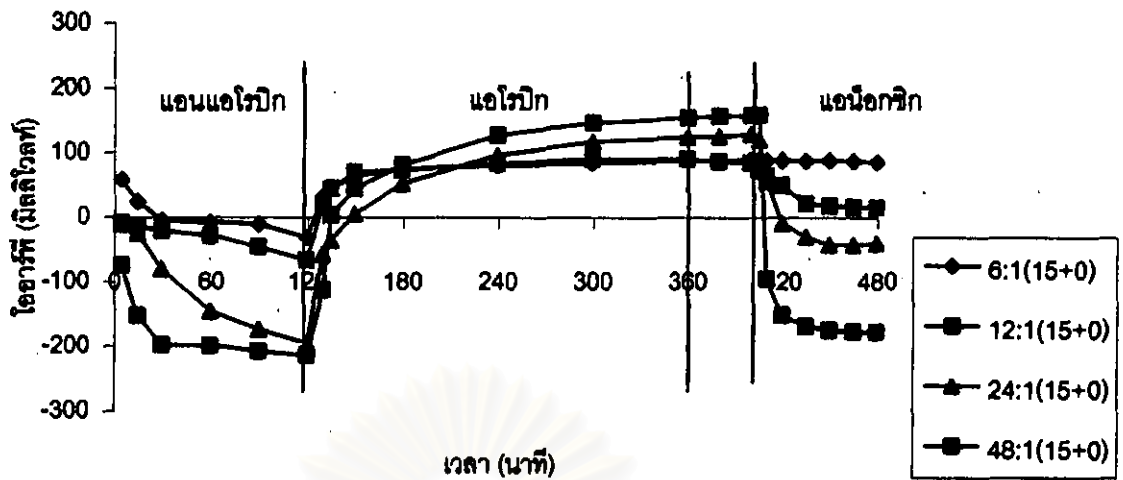
อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของค่าไออาร์ที่ซึ่งอาจเกิดจากการเติมอากาศที่ไม่เท่ากันในแต่ละการทดลองด้วย เพราะเครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถควบคุมอัตราการเติมอากาศที่แน่นอนได้



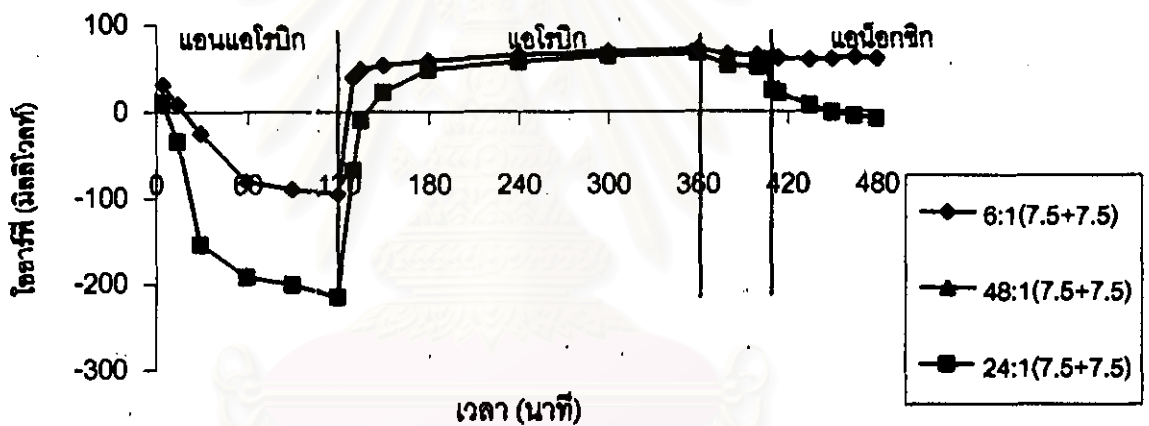
รูปที่ 4.4 ออกซิเจนละลายในช่วงเดินระบบของชุดการทดลองควบคุม



รูปที่ 4.5 ไออาร์ทีในช่วงเดินระบบของชุดการทดลองควบคุม



รูปที่ 4.6 ไออาร์พีในระบบของชุดควบคุม (1-4) ที่สถานะคงตัว



รูปที่ 4.7 ไออาร์พีในระบบของชุดทดสอบ (5-7) ที่สถานะคงตัว

4.1.4 สภาพค่า

ในการทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนิวเทรียนค์บรอรและโซเดียมอะซิเตดเป็นแหล่งคาร์บอน โดยใช้นิวเทรียนค์บรอรเป็นแหล่งของไนโตรเจนซึ่งจะใช้ในอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 100:3 ซึ่งทำให้ในแต่ละชุดการทดลองมีการใช้ใน ไนโตรเจนไม่เท่ากัน ทำให้มีการเดิมสภาพค่าในแต่ะชุดการทดลองไม่เท่ากันตามไปด้วย โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีสภาพค่าในช่วง 102-515 มก.หินปูน/ก. โดยผลของสภาพค่าของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาพค่าเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัว

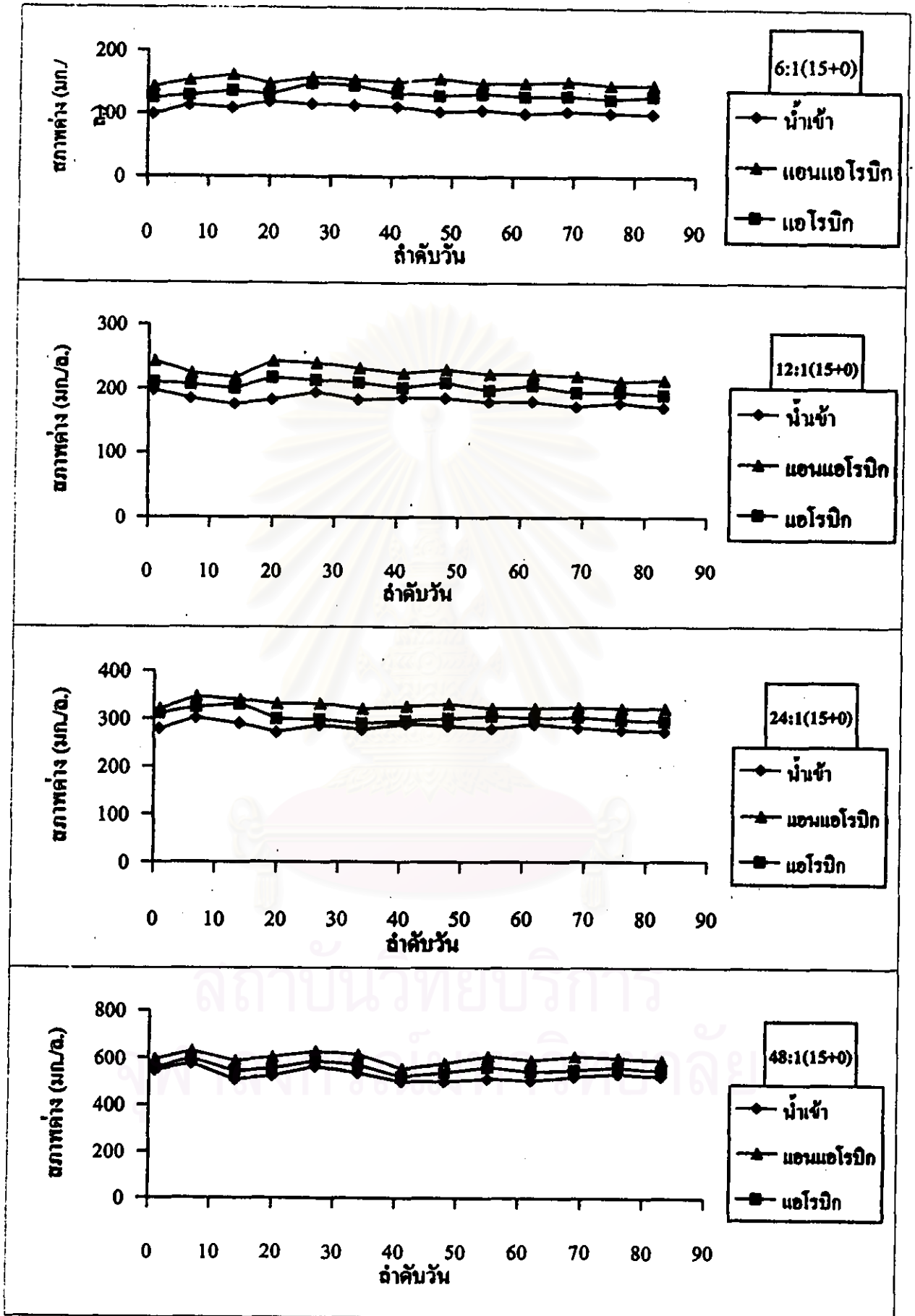
ชุดการทดลองที่	สภาพค่าในน้ำเข้า มก.หินปูน/ท.	สภาพค่ากรอง (มก.หินปูน/ท.)	
		แอนแอโรบิก	แอโรบิก
1(6:1/15+0)	102	150	127
2(12:1/15+0)	178	220	198
3(24:1/15+0)	276	321	297
4(48:1/15+0)	515	595	549
5(6:1/7.5+7.5)	132	146	110
6(24:1/7.5+7.5)	301	339	329
7(48:1/7.5+7.5)	583	611	519

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเข้าสถานะคงตัวมาคำนวณ
ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ

เนื่องจากในการทดลองนี้มีการเติมไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าระบบแก่พอดีกับความต้องการในการสร้างเซลล์เท่านั้น จึงทำให้สภาพค่าในช่วงปลายแอนแอโรบิกทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากอาจมีในทรศบางส่วนเหลือมาจากวัฏจักรที่ผ่านมาเพียงเล็กน้อย โดยในชุดที่มีค่าอาร์บีซีไอคีน้อย จะมีค่าสภาพค่าในช่วงนี้เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละมากกว่าชุดการทดลองที่มีค่าอาร์บีซีไอคีน้อยๆ เช่น ในชุดการทดลองที่ 1 (อัตราส่วนอาร์บีซีไอคีน้อยคือฟอสฟอรัสเท่ากับ 6:1) มีค่าสภาพค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 50 ส่วนชุดการทดลองที่ 4 (อัตราส่วนอาร์บีซีไอคีน้อยคือฟอสฟอรัสเท่ากับ 48:1) มีค่าสภาพค่าเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 15 ซึ่งสันนิษฐานว่าในชุดการทดลองที่ 1 มีเซลล์เป็นจำนวนมากทำให้ความต้องการใช้ไนโตรเจนมีน้อย จึงเหลือไนโตรเจนมาก ส่งผลให้มีในทรศเหลือจากวัฏจักรก่อนหน้ามาก จึงเกิดปฏิกิริยาดีในครีเทชันมากกว่า ทำให้มีค่าสภาพค่าเพิ่มสูงกว่า

ส่วนค่าสภาพค่าในช่วงปลายสภาพแอโรบิกของทุกชุดก็จะมีค่าลดลงจากสภาพแอนแอโรบิก และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีของสภาพแอนแอโรบิก คือชุดการทดลองที่ 1 และ 5 มีสัดส่วนของการลดลงมากกว่าชุดการทดลองที่ 2, 3, 4, 6 และ 7

สำหรับภาพโดยรวมของสภาพค่าในระบบ พบว่าการกำจัดฟอสฟอรัส มีผลให้สภาพค่าเพิ่มของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ปริยดา, 2541 และอำพล, 2541) ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Randall และคณะ (1992) ว่าตามทฤษฎีแล้วระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจะไม่มีผลต่อสภาพค่าในระบบ



รูปที่ 4.8 สภาพน้ำในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม

4.1.5 พีเอช

สำหรับทุกชุดการทดลอง ได้มีการเติมบัฟเฟอร์ในน้ำเสียดังเคราะห์ส่วนหนึ่ง เพื่อช่วยรักษา ค่าพีเอชในระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยค่าพีเอชในระหว่างที่เข้าสู่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พีเอชเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

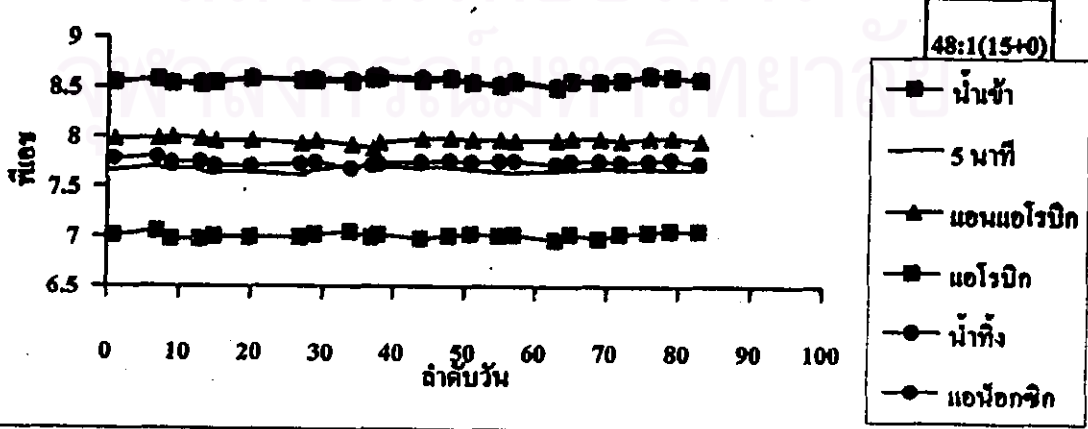
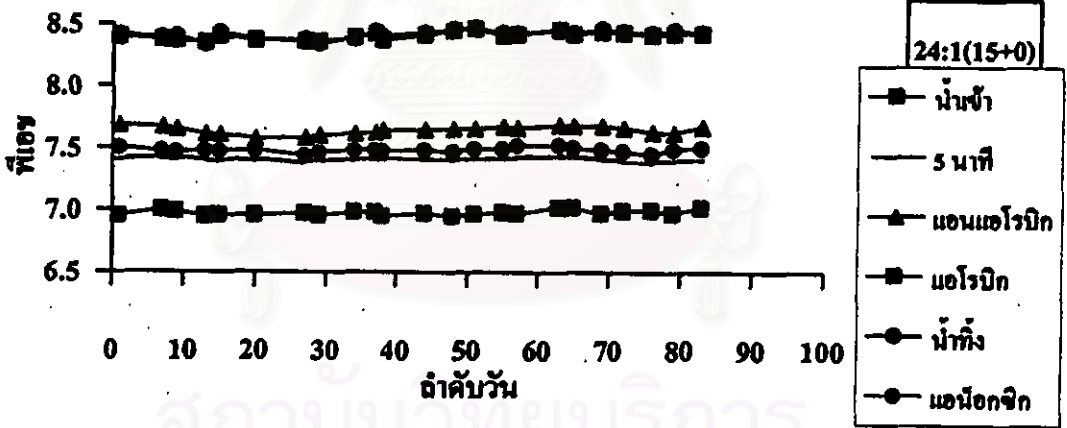
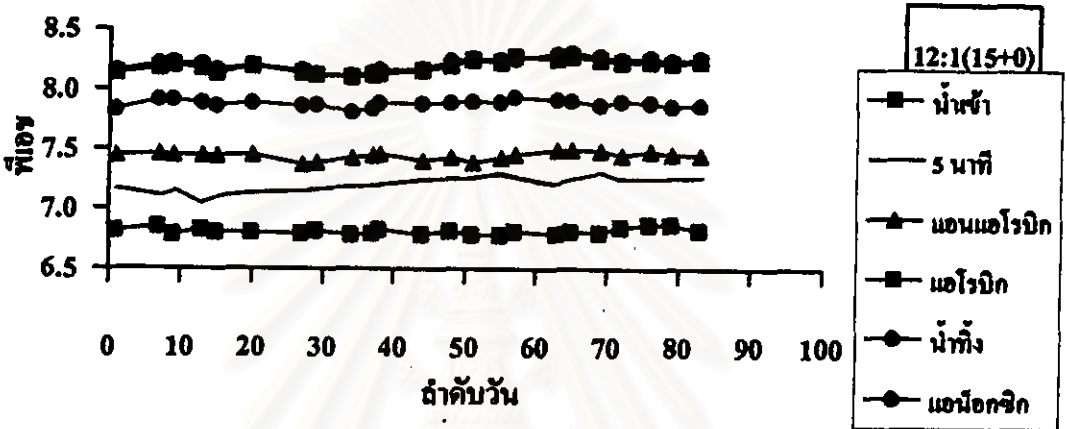
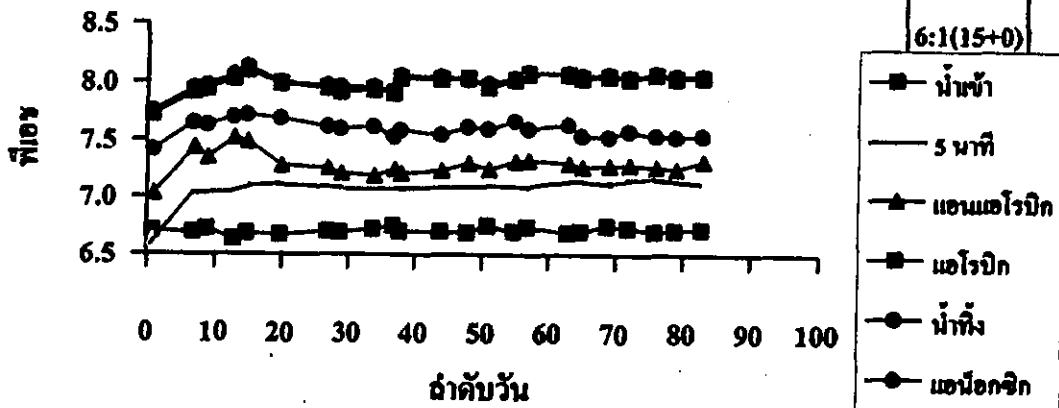
ชุดการทดลองที่	พีเอช				
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก	แอนออกซิก
1(6:1/15+0)	6.72	7.29	8.04	8.06	7.58
2(12:1/15+0)	6.82	7.46	8.24	8.27	7.89
3(24:1/15+0)	6.99	7.66	8.43	8.44	7.49
4(48:1/15+0)	7.02	7.98	8.56	8.57	7.75
5(6:1/7.5+7.5)	6.96	7.54	8.12	8.11	7.84
6(24:1/7.5+7.5)	7.24	7.60	8.49	8.56	8.05
7(48:1/7.5+7.5)	7.45	7.94	8.53	8.60	7.77

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเข้าสู่สถานะคงตัวมาคำนวณ
ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ

จากการทดลองพบว่าในน้ำเข้าระบบมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.72-7.45 และเมื่อน้ำเข้าสู่ระบบจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำค้างตั้งมีค่าพีเอชสูงกว่าจนกระทั่งในช่วงปลายสภาพแอนแอโรบิกมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.29-7.98 โดยชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารต่ำจะมีค่าพีเอชในช่วงนี้ต่ำกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารสูง เนื่องจากในการทดลองนี้มีการใช้โซเดียมอะซิเตตเป็นแหล่งซิวติส่วนใหญ่ในการทดลอง จึงเป็นผลให้เกิดการแตกตัวดังสมการต่อไปนี้



ดังนั้นเมื่อมีการใช้กรดอะซิติกในขั้นตอนนี้ ก็ทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางด้านขวาเพื่อเข้าสู่สมดุล ทำให้มีไฮดรอกไซด์สูงขึ้น พีเอชจึงสูงขึ้นในขั้นตอนนี้ โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตตสูงก็ทำให้พีเอชมีค่าสูงด้วย



รูปที่ 4.9 ทีเอชในช่วงเดินระบบของชุดการทดลองควบคุม

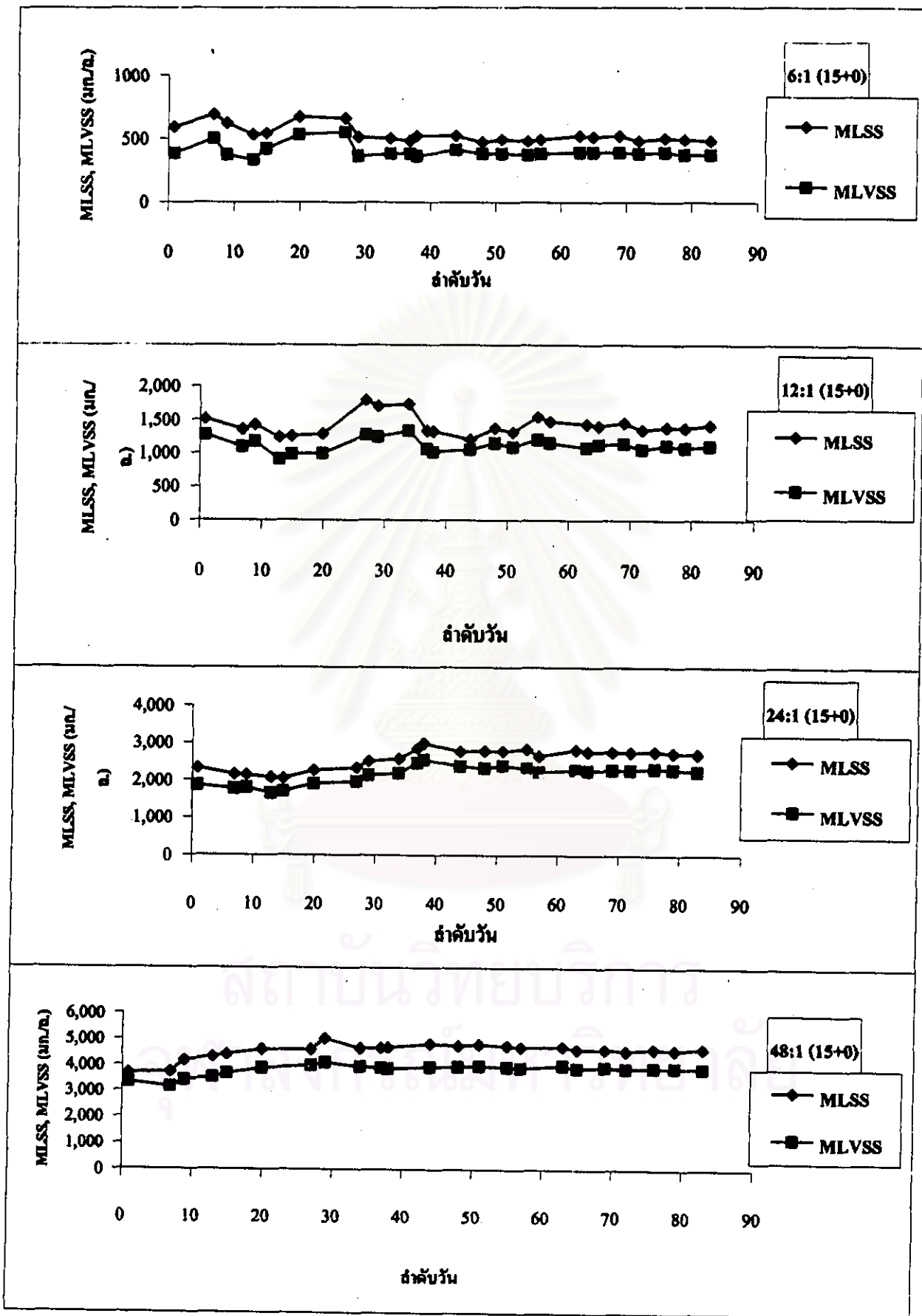
แต่พบว่าผลการวิจัยที่ได้มีความขัดแย้งกับงานวิจัยของ Smolder และคณะ, 1995 ที่กล่าวว่าอะซิเตดที่นำมาใช้ในชั้นคอนแอมแอโรบิกนี้ จะแบ่งเป็น 2 ชั้นคอนคือ การขนส่งและการจัดเก็บ ซึ่งพลังงานในการขนส่งนี้ ขึ้นอยู่กับพีเอช โดยที่พีเอชต่ำไม่ต้องใช้พลังงานในการขนถ่ายอะซิเตด แต่ที่พีเอชมีค่าสูงต้องใช้ประมาณ 0.5 โมลเอทีที/โมลอะซิเตด ทำให้กรณีนี้ต้องปลดปล่อยฟอสฟอรัสมากขึ้น เพื่อให้ได้พลังงานมากขึ้น (เนื่องจากสมมูลพลังงานของระบบ) แต่ผลจากการวิจัยนี้พบว่าที่พีเอชสูง (ชุดการทดลองที่ 4) กลับมีค่าอัตราส่วนฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยต่ออะซิเตดที่ใช้ต่ำกว่า ซึ่งต่างจากผลการวิจัยของ Smolder ที่ใช้อัตราส่วนอาร์บีซีโอคิตต่อฟอสฟอรัสเท่ากัน และใช้พีเอชเป็นตัวแปรค้น ส่วนการทดลองนี้ได้แปรค่าอัตราส่วนอาร์บีซีโอคิตต่อฟอสฟอรัส ทำให้มีการเติมสภาพค่างไม่เท่ากันที่พีเอชจึงเป็นผลที่ตามมา ซึ่งในกรณีของการทดลองนี้ที่มีการเติมสารอาหารในปริมาณมาก ทำให้พีเอชมีค่าสูงตามสมการที่กล่าวไปแล้ว และจุดชีพเคชชินกับการใช้สารอาหารมากแต่มีผลในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสไม่สูงนักเมื่อเทียบกับที่ใช้ไป

สำหรับในช่วงสภาพแอโรบิกที่มีการจับใช้ฟอสฟอรัส Tracy และ Flammino, 1985 (อ้างโดย WEF, 1998) ตั้งเกดพบว่าพีเอชมีผลต่อการจับใช้ฟอสฟอรัสของจุลชีพในชั้นคอนนี้ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6-7.4 และประสิทธิภาพในการจับใช้จะลดลงเมื่อพีเอชลดต่ำกว่า 6.2 อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่าพีเอชในชั้นคอนแอโรบิกแม้จะมีค่าสูงก็ไม่ส่งผลยับยั้งกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแต่อย่างใด

4.1.6 เอ็มแอลเอสเอส (MLSS) และเอ็มแอลวีเอสเอส (MLVSS)

ค่าเอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และค่าอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส (f) ของระบบของทุกชุดการทดลองที่สถานะคงตัวแสดงในตารางที่ 4.3 โดยพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสที่สถานะคงตัวของแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันไป เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันไป โดยในชุดการทดลองที่มีค่าอาร์บีซีโอคิตสูงกว่า จะทำให้ค่าเอ็มแอลเอสเอสในระบบสูงตามไปด้วย สำหรับกรณีที่ค่าเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าที่ 4, ชุดการทดลองที่ 6 และ 7 น้อยกว่าที่ 3 และที่ 4 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคอนมาสต์ถักมาทดลองชุดที่ 5, 6 และ 7 นี้ไม่ได้ควบคุมเอ็มแอลเอสเอสของระบบ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าที่เก็บตามลำดับวัน ก็พบว่าชุดการทดลองที่ 6 และ 7 มีแนวโน้มที่จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัว

เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส (f) ของทุกชุดการทดลองพบว่ามีความใกล้เคียงกันแต่มีแนวโน้มว่าในชุดการทดลองที่ 1 และ 5 จะมีค่า f ต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.10 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสในช่วงเดินระบบของชุดการทดลองควบคุม

ตารางที่ 4.3 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และค่าเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส (f)

ชุดการทดลองที่	เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)	เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	f
1(6:1/15+0)	496	382	0.77
2(12:1/15+0)	1392	1098	0.79
3(24:1/15+0)	2756	2284	0.83
4(48:1/15+0)	4668	3912	0.84
5(6:1/7.5+7.5)	750	550	0.71
6(24:1/7.5+7.5)	2490	1860	0.75
7(48:1/7.5+7.5)	4350	3510	0.81

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเก็บที่สถานะคงตัวมาคำนวณ (n=5)

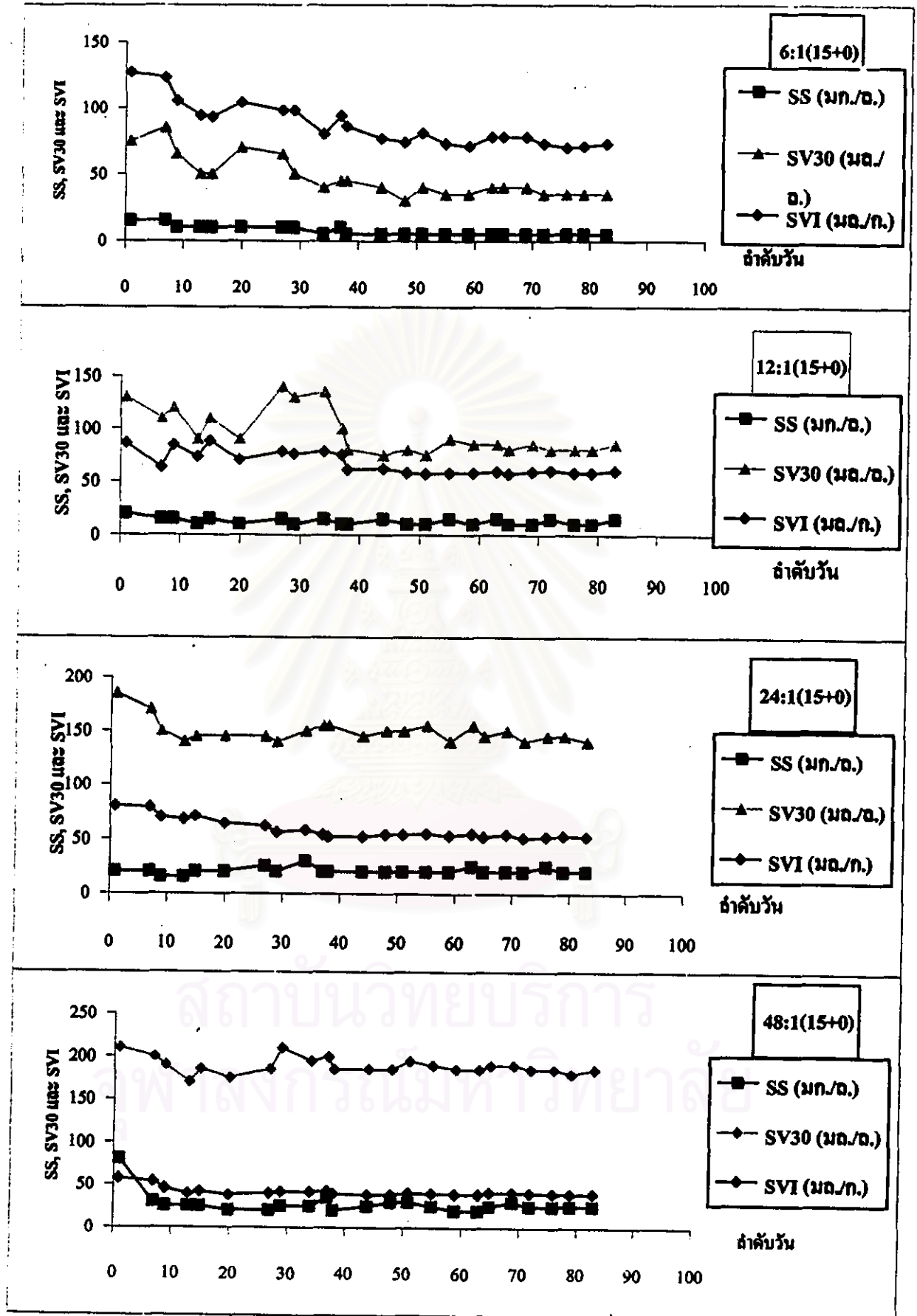
ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ

และเมื่อเปรียบเทียบร้อยละของปริมาณ โพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ที่สภาวะแอโรบิก ก็พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน คือชุดที่มีค่าอัตราส่วนอาร์บีซีโอคิดต่อฟอสฟอรัสต่ำกว่า จะมีค่าร้อยละของปริมาณโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ที่สภาวะแอโรบิกสูงกว่าทำให้มีสัดส่วนของของแข็งคงตัวมากกว่า จึงทำให้ค่า f มีค่าต่ำกว่า

4.1.7 ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าเอสวี 30 (Sludge Volume 30, SV_{30}) และค่าเอสวีไอ (Sludge Volume Index, SVI)

ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคู่กันไปในการบอกถึงลักษณะการตกตะกอนของสลัดจ์ โดยค่าของแข็งแขวนลอย ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอเฉลี่ยที่สถานะคงตัวแสดงในตารางที่ 4.4 โดยมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ระหว่าง 5-30 มก./ล. ส่วนค่าเอสวี 30 และเอสวีไอ มีค่าอยู่ในช่วง 38-200 มล./ล. และ 40-80 มล./ก. ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วนอาร์บีซีโอคิดต่อฟอสฟอรัสเป็น 6:1 (ชุดการทดลองที่ 1 และ 5) มีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำสุดและมีค่าเอสวีไอสูงที่สุด โดยขณะที่ทำการทดลองพบว่าการตกตะกอนดีมาก ส่วนชุดการทดลองที่มีการใช้สารอาหารมากจะมีของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมากตามลำดับ ซึ่งสันนิษฐานว่ามีสาเหตุจากปริมาณโซเดียมอะซิเตดที่ใช้ในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ฟล็อกที่เกิดจับตัวกันไม่แน่น จึงมีการตกตะกอนที่ไม่ดี (โกมล, 2541)



รูปที่ 4.11 ของแข็งแขวนลอย เอดีวี 30 และเอดีวีไอในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม

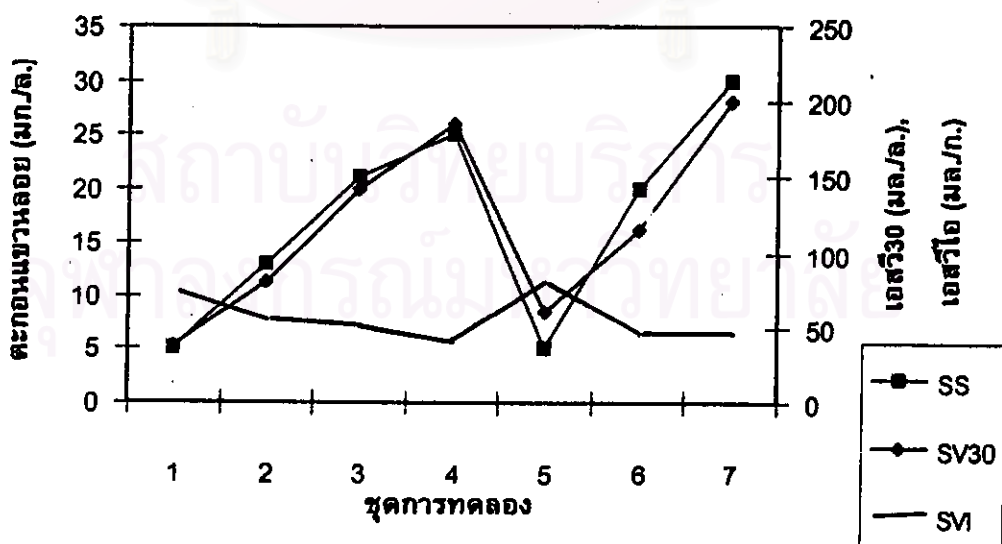
ตารางที่ 4.4 ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	เอสวี 30 (มล./ล.)	เอสวีไอ (มล./ก.)
1(6:1/15+0)	5	38	77
2(12:1/15+0)	13	80	57
3(24:1/15+0)	21	143	52
4(48:1/15+0)	25	186	40
5(6:1/7.5+7.5)	5	60	80
6(24:1/7.5+7.5)	20	115	46
7(48:1/7.5+7.5)	30	200	46

หมายเหตุ : ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเก็บที่สถานะคงตัวมาคำนวณ ($n=5$)
ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ

4.1.8 กรดไขมันระเหยง่ายหรือวีเอฟเอ (Volatile Fatty Acids, VFA)

น้ำเลี้ยงสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้โซเดียมอะซิเตตและนิวเทรียนคัปรอนเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้สามารถถูกย่อยเป็นกรดไขมันระเหยง่ายที่มีประโยชน์สำหรับกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอ เพื่อดูดซึมไปสร้างเป็นพืชน้ำไว้เป็นพลังงานสำรองและใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของของแข็งแขวนลอย เอสวี 30 และเอสวีไอที่การทดลองชุดต่างๆ

สำหรับในการทดลองนี้จะใช้วิธีในการหาค่าพารามิเตอร์นี้ 2 วิธีด้วยกันคือ ในการทดลองชุดควบคุมที่เก็บผลก่อนช่วงสถานะคงตัวใช้วิธีไทเทรต เพราะเป็นวิธีที่สะดวก อีกทั้งใช้ได้ดีในกรณีที่ต้องการเพียงเปรียบเทียบผลเท่านั้น สามารถเก็บผลและหาค่าได้ด้วยตนเองและใช้เพียงเพื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละชุดทดลอง แต่ข้อมูลที่ได้อาจมีความผิดพลาดบ้างเนื่องจากในขั้นตอนที่วิเคราะห์ต้องนำตัวอย่างมาต้มเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งไม่สามารถควบคุมการให้ความร้อนได้เท่ากันทุกการทดลอง ส่วนผลที่เก็บระหว่างสถานะคงตัวและค่าโพไรไฟต์ได้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) ซึ่งให้ค่าที่แม่นยำและถูกต้องมากกว่าเพื่อมาเปรียบเทียบ แต่สำหรับการทดลองชุดทดสอบทุกชุดจะแสดงผลเฉพาะการวัดด้วยวิธีไทเทรต โดยผลการทดลองที่วัดระหว่างเข้าสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5

จากผลการทดลองพบว่า ค่าวีเอฟเอทีวัดได้ที่ปลายสภาพแอนแอโรบิกของทุกชุดการทดลองที่วัดด้วยวิธีไทเทรตยังมีค่าเหลืออยู่ แต่ในชุดโพไรไฟต์ของชุดควบคุมที่วัดโดยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟีไม่มีค่าเหลืออยู่แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดเนื่องจากการวัดโดยวิธีไทเทรตที่ค่าวีเอฟเอทีน้อยมากหรือไม่มีค่าวีเอฟเอทีก็ยังมีค่าที่วัดได้

สำหรับการทดลองชุดควบคุมทุกชุดพบว่ามีการใช้วีเอฟเอเอ็มคั้งแต่ช่วงแอนแอโรบิก (ในกรณีของชุดทดสอบ ถ้าวัดด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟีก็น่าจะให้ผลเช่นเดียวกัน) เนื่องจากสารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน จุลชีพสามารถนำไปใช้ได้ง่าย

ตารางที่ 4.5 กรดไขมันระเหยง่ายที่ช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

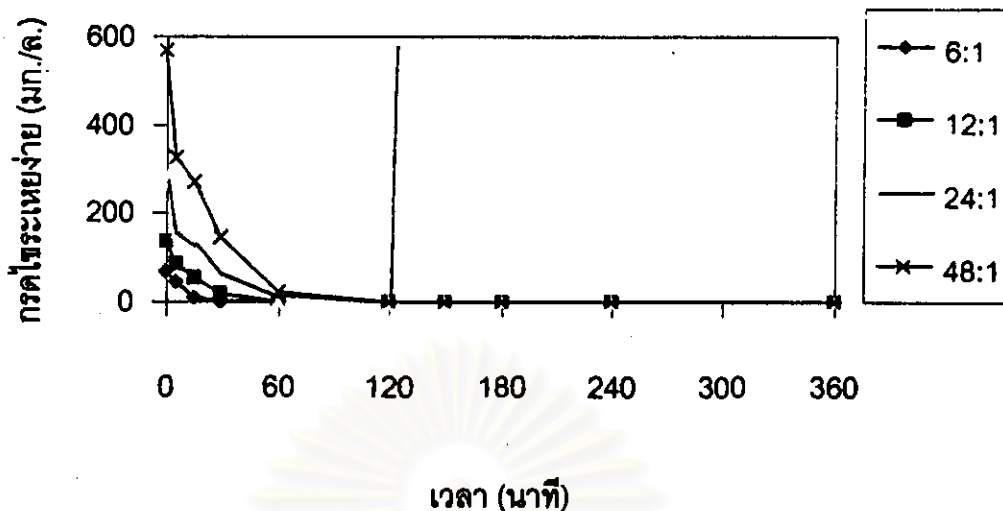
ชุดการทดลองที่	กรดไขมันระเหยง่าย*		
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก
1(6:1/15+0)	73	0	0
2(12:1/15+0)	135	0	0
3(24:1/15+0)	263	0	0
4(48:1/15+0)	543	0	0
5(6:1/7.5+7.5)	80	15	15
6(24:1/7.5+7.5)	334	15	11
7(48:1/7.5+7.5)	635	25	19

หมายเหตุ : *การทดลองที่ 1-4 ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี ส่วนการทดลองที่ 5-7 ใช้วิธีไทเทรต

ที่น้ำเข้าเป็นวีเอฟเอเอ็มทั้งหมด ส่วนตำแหน่งอื่นเป็นวีเอฟเอเอ็ม (GF/C filter)

ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเก็บที่สถานะคงตัวมาคำนวณ (n=5)

ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ



รูปที่ 4.13 โพรไฟล์การกระจายของอนุภาคแขวนลอยของการทดลองชุดควบคุม (โดยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟี)

4.1.9 ซีโอดี

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าซีโอดีที่น้ำเข้า แอนแอโรบิก และแอโรบิก ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองจะกำหนดให้มีค่าซีโอดีในน้ำเข้าไม่เท่ากัน ค่ามาตรฐานส่วนอาร์บีซีโอดีคือฟอสฟอรัสที่ ๕ (ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไฮเดรียมอะซิเตดและนิวเทรียนด์บรอนเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งเป็นอาร์บีซีโอดี) โดยค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ช่วงสถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

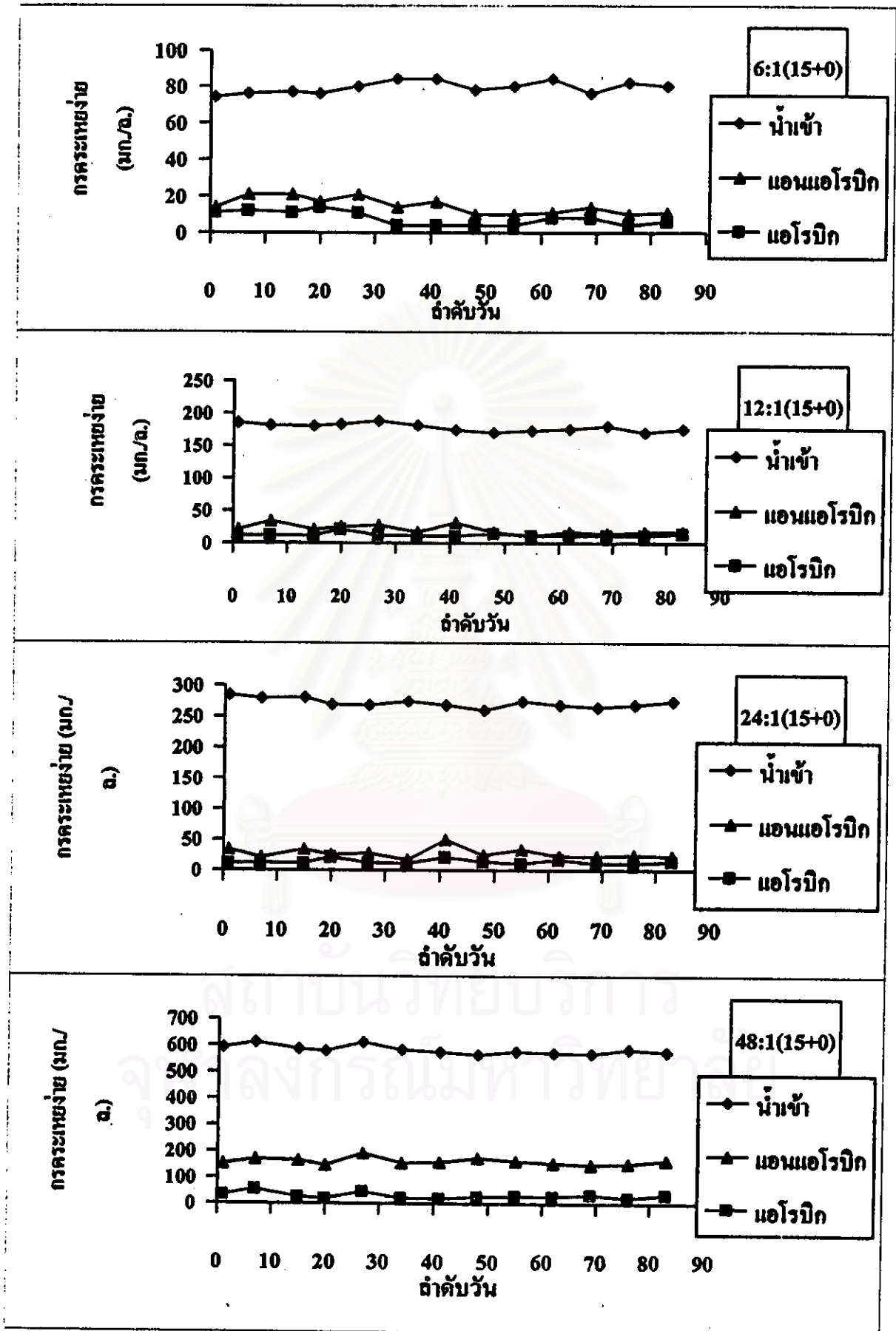
ตารางที่ 4.6 ซีโอดีเฉลี่ยที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ซีโอดี*		
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก
1(6:1/15+0)	86	2	0
2(12:1/15+0)	176	10	1
3(24:1/15+0)	344	13	2
4(48:1/15+0)	696	18	7
5(6:1/7.5+7.5)	92	8	3
6(24:1/7.5+7.5)	350	11	5
7(48:1/7.5+7.5)	689	27	10

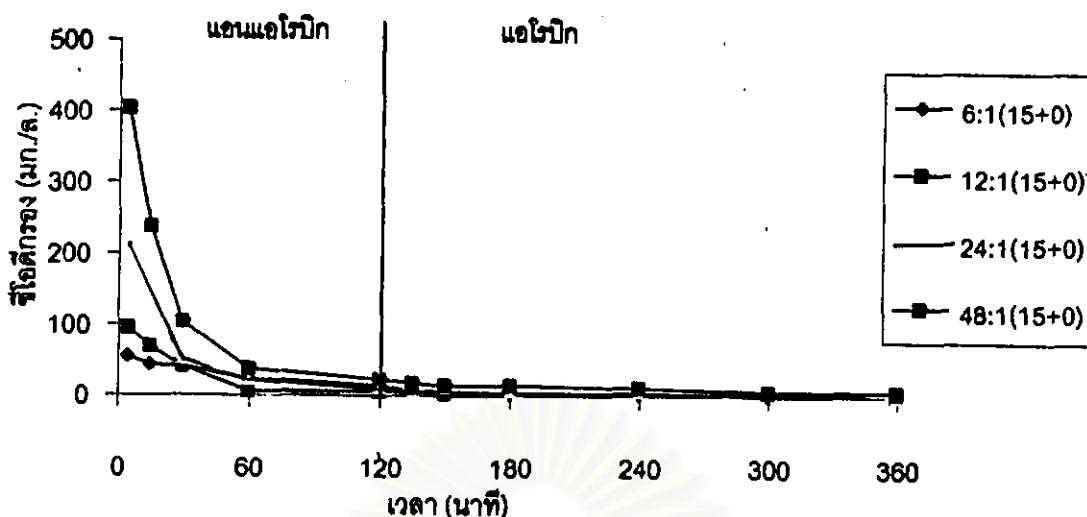
หมายเหตุ : ที่น้ำเข้าเป็นซีโอดีทั้งหมด ส่วนตำแหน่งอื่นเป็นซีโอดีกรอง (GF/C filter)

ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเก็บที่สถานะคงตัวมาคำนวณ (n=5)

ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ



รูปที่ 4.14 กรกระเหยงายในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม (วิธีโทเทรค)



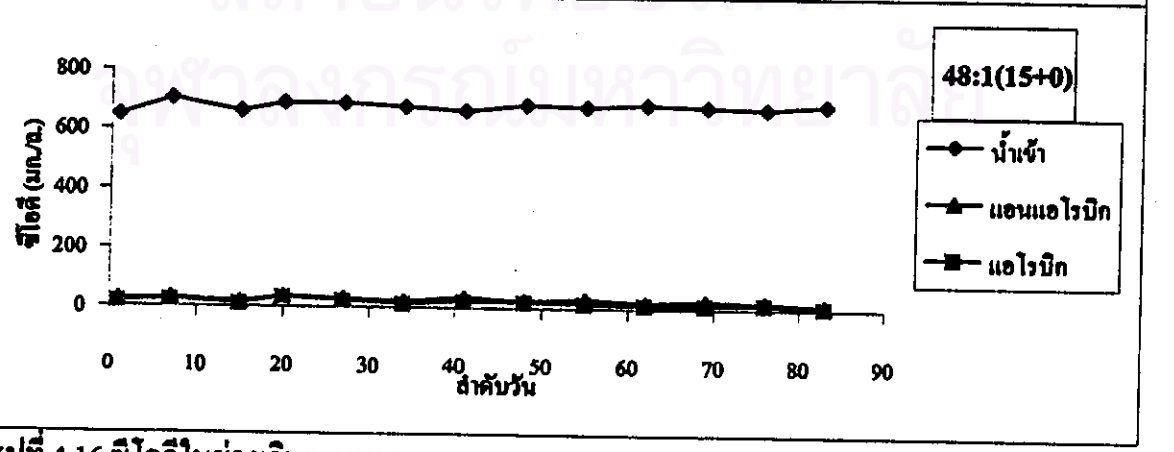
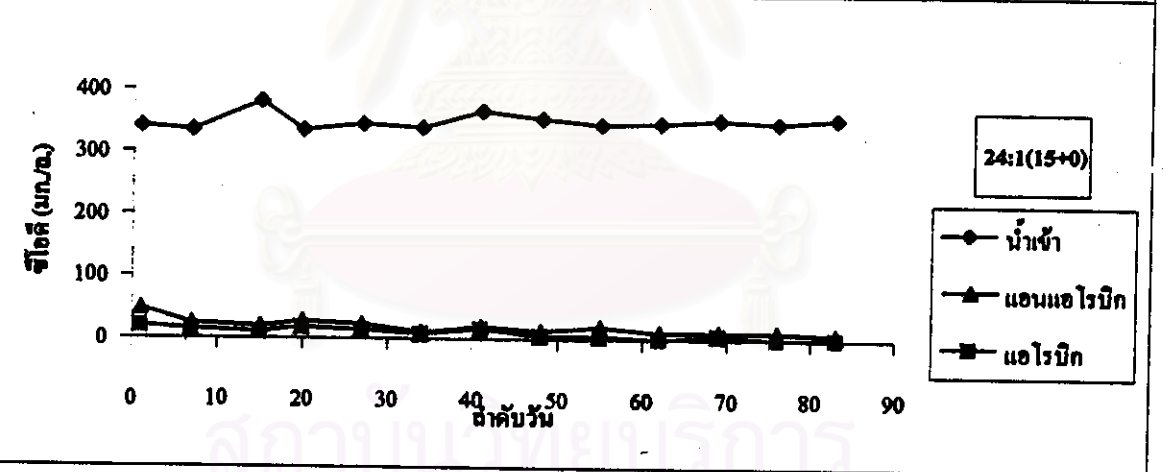
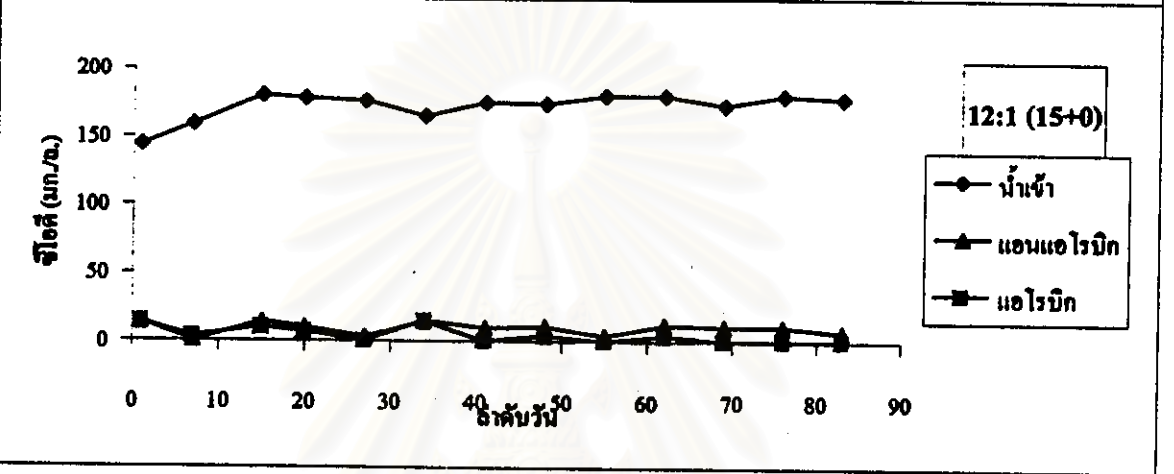
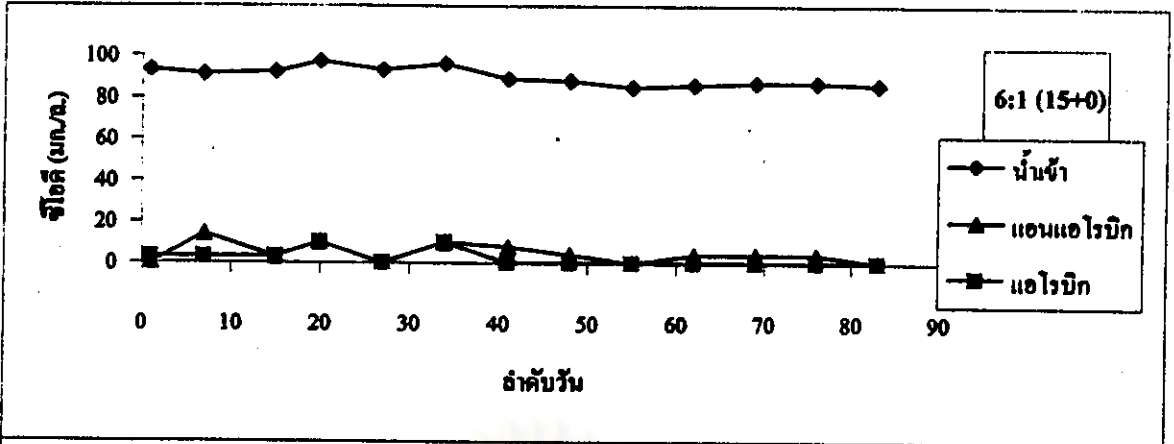
รูปที่ 4.15 ซีไอติกรองที่สถานะคงตัวของชุดควบคุม (ชุดการทดลองที่ 1-4)

จากผลการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองสามารถกำจัดซีไอติได้ผลดี โดยได้ค่าซีไอติน้ำออกว่าต่ำมาก โดยพบว่าในช่วงปลายแวนแวนโรบิกก็ใช้ซีไอติเกือบหมดแล้ว แสดงในวาระระบบค่อนข้างจะมีพีเอไอเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแตกต่างจากในระบบเอเอสธรรมดาที่จุลชีพจะใช้ซีไอติจนเหลือน้อยในช่วงแวนโรบิก

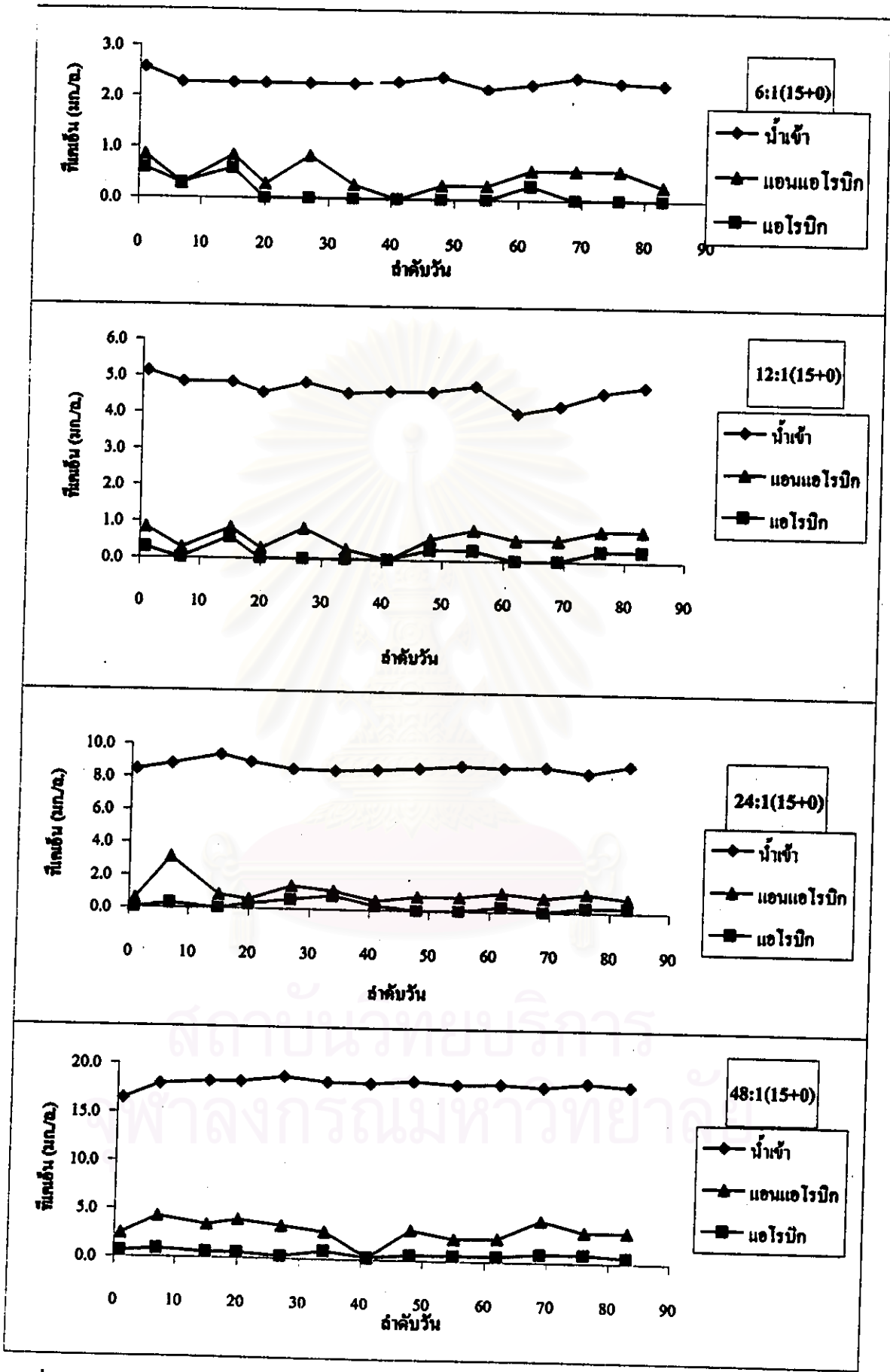
4.1.10 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

ในการทดลองนี้มีการเติมไนโตรเจนในน้ำเสียให้เพียงพอต่อการสร้างเซลล์ของระบบเท่านั้น (โดยใช้อัตราส่วนบีไอติต่อไนโตรเจนเท่ากับ 100:3) เนื่องจากไม่ให้ปริมาณไนโตรเจนมีมากเกินไป ทำให้มีการเกิดปฏิกิริยาไนคริติเคชันในชั้นคอนแวนโรบิกแล้วกลายเป็นไนเตรด ซึ่งส่งผลกระทบต่อชั้นคอนแวนโรบิกของวัฏจักรถัดไป ทำให้การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในชั้นคอนนี้ได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร โดยค่าทีเคเอ็นที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7

พบว่าทุกการทดลองสามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ดี โดยในชั้นคอนแวนโรบิกมีการใช้ไปแล้วประมาณร้อยละ 80 (หมายเหตุ : ในชุดทดสอบที่มีค่าทีเคเอ็นสูงกว่า น่าจะเกิดจากที่ระบบยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัว) ซึ่งทำให้เหลือเข้าไปในชั้นคอนแวนโรบิกน้อยมาก และต้องนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์ จึงน่าจะมีไม่พอเพียงหรืออาจเหลือเล็กน้อยสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนคริติเคชัน ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับค่าไนเตรดและไนไตรต์ที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.16 ซีโอดีในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม



รูปที่ 4.17 ทีเคเอ็นในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม

ตารางที่ 4.7 ทีเคเอ็นที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ทีเคเอ็น*		
	น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	แอโรบิก
1(6:1/15+0)	2.3	0.4	0.0
2(12:1/15+0)	4.5	0.7	0.2
3(24:1/15+0)	8.8	1.0	0.1
4(48:1/15+0)	18.3	3.1	0.7
5(6:1/7.5+7.5)	2.8	0.7	0.1
6(24:1/7.5+7.5)	9.0	1.1	0.6
7(48:1/7.5+7.5)	18.8	4.2	1.1

หมายเหตุ : ที่ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นทีเคเอ็นทั้งหมด ส่วนตำแหน่งอื่นเป็นทีเคเอ็นกรอง (GF/C filter)

ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองเฉลี่ยระหว่างเก็บผลที่สถานะคงตัวมาคำนวณ

ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ

4.1.11 ไนเตรตและไนไตรต์

กระบวนการไนคริทีเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันของแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต โดยมีการสร้างไนไตรต์เป็นสารอินเทอร์มีเดียต โดยมีจุลชีพที่เกี่ยวข้องคือไนโตรโซโมแนสและไนโตรแบกเตอร์ ซึ่งมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนดังนี้ (Sedlak และคณะ, 1991)



จากรูปที่ 4.17 พบว่าในระบบแทบจะไม่พบไนไตรต์เลยเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดโดยไนโตรแบกเตอร์เร็วกว่าที่เกิดโดยไนโตรโซโมแนส จึงถือว่าอัตราการแปลงไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตเป็นควบคุมปฏิกิริยาทั้งหมด ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงพบค่าไนเตรตมากกว่าไนไตรต์

จากการผลทดลองพบว่าจะมีการเกิดปฏิกิริยาไนคริทีเคชันเล็กน้อย เพราะพบว่ามีไนเตรตและไนไตรต์เกิดขึ้น มีไนโตรเจนเหลืออยู่ทำให้มีการเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์และไนเตรตได้ ถึงแม้จะมีการควบคุมปริมาณไนโตรเจนให้เท่ากับความต้องการของเซลล์แล้วก็ตาม และยังได้สร้างสภาวะแ

นอกซิกภายหลังจากที่ระบายน้ำออกแล้ว เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาในตรีฟิเคชัน เป็นการลดค่าไนเตรดและไนไตรต์สำหรับวัฏจักรถัดไป ซึ่งผลการวัดไนเตรดและไนไตรต์ระหว่างที่เข้าสถานะคงตัวที่คืนและปลายขั้นตอนแอนออกซิก ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ไนเตรดและไนไตรต์ที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ไนเตรด (มก. ไนโตรเจน/ล.)		ไนไตรต์ (มก. ไนโตรเจน/ล.)	
	แอโรบิก	แอนออกซิก	แอโรบิก	แอนออกซิก
1(6:1/15+0)	0.36	0.35	0.01	0.00
2(12:1/15+0)	0.23	0.01	0.01	0.00
3(24:1/15+0)	0.44	0.00	0.00	0.00
4(48:1/15+0)	0.49	0.01	0.01	0.00
5(6:1/7.5+7.5)	0.27	0.16	0.01	0.01
6(24:1/7.5+7.5)	0.35	0.01	0.00	0.00
7(48:1/7.5+7.5)	0.40	0.01	0.00	0.00

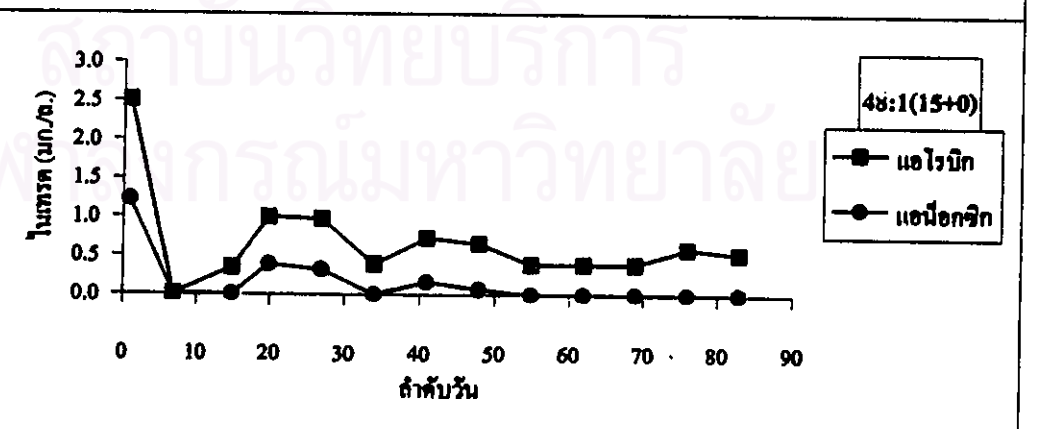
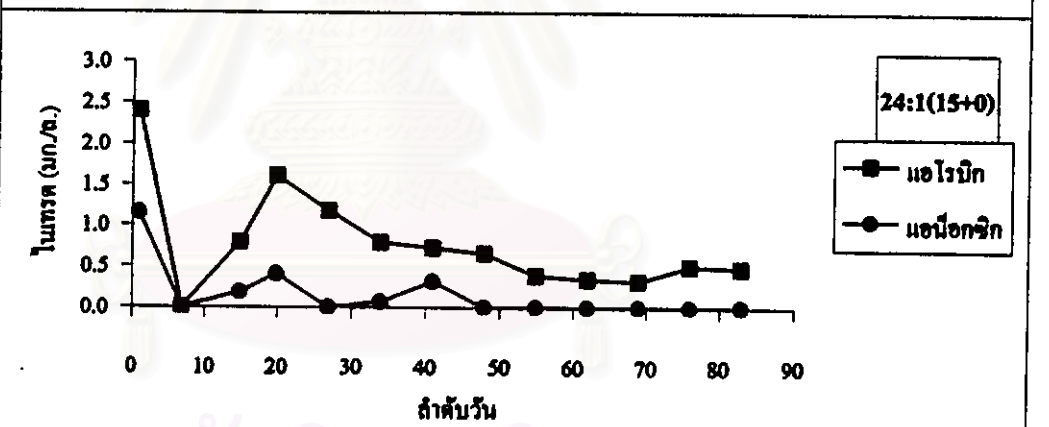
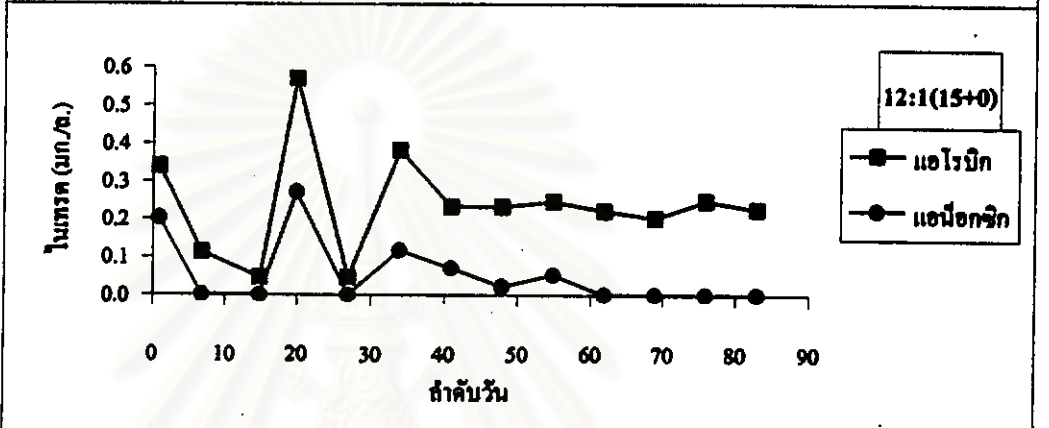
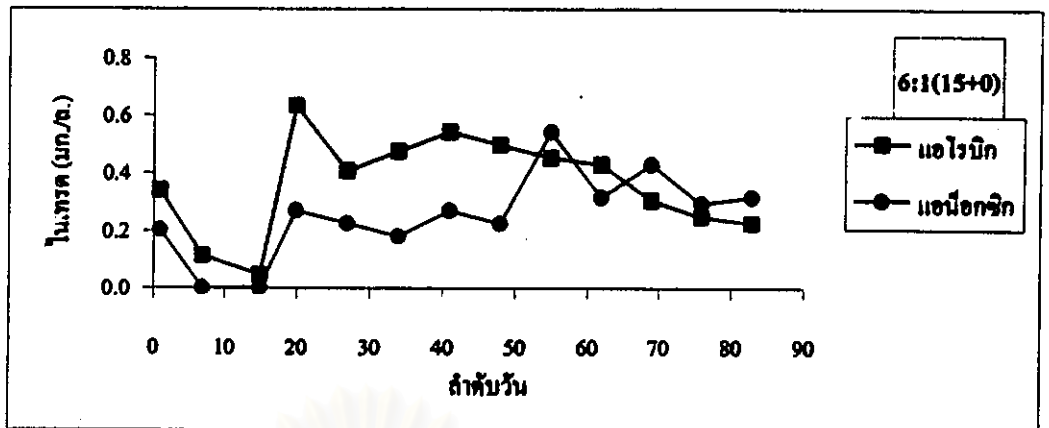
หมายเหตุ : ค่าไนเตรดและไนไตรต์ทุกตำแหน่งเป็น ไนเตรดและไนไตรต์

ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองเฉลี่ยระหว่างเก็บผลที่สถานะคงตัวมาคำนวณ

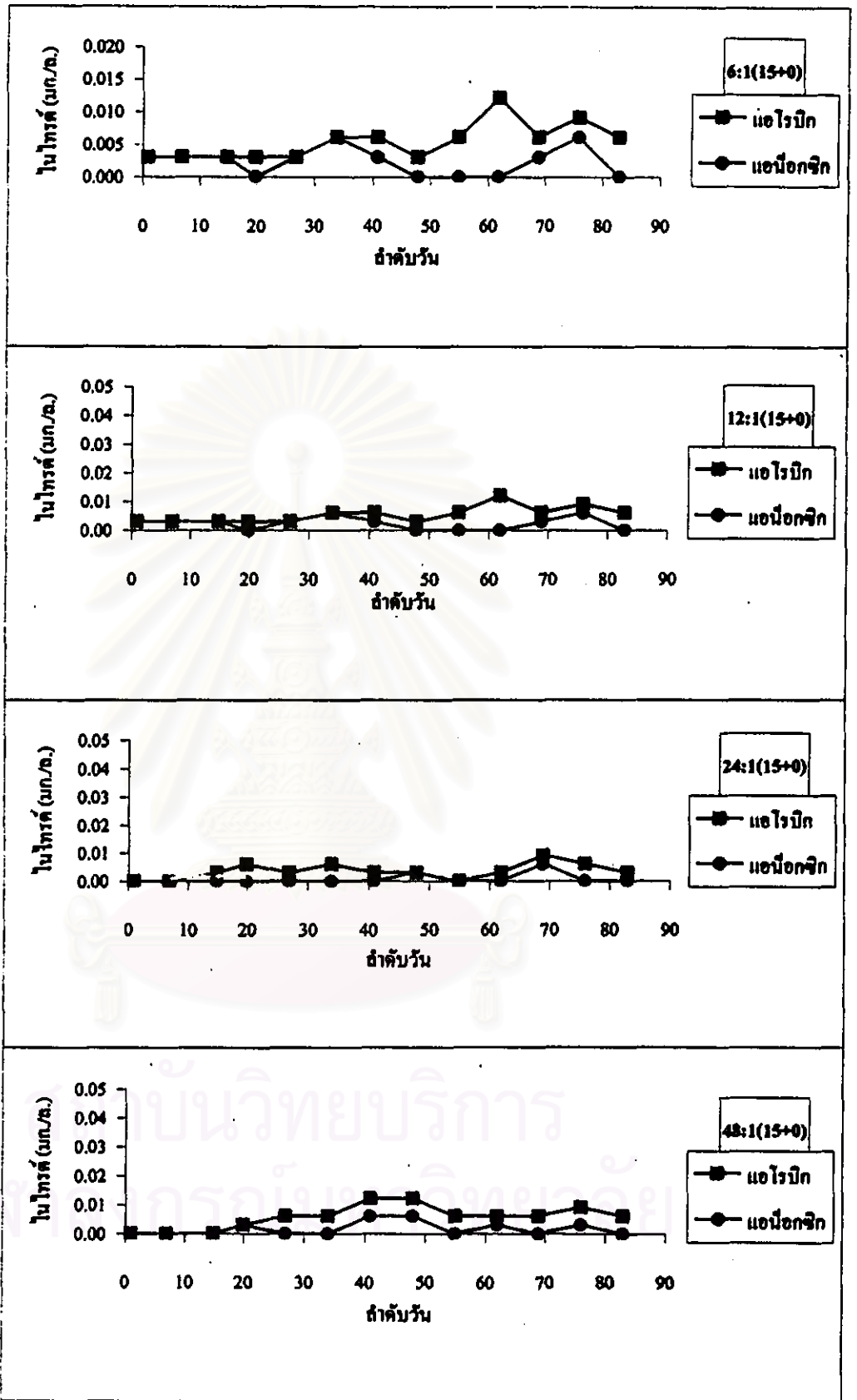
ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองค่าสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์มาเสนอ

สำหรับค่าไนเตรดที่ปลายสถานะแอนออกซิกของการทดลองที่ 1-7 มีค่าอยู่ระหว่าง 0-0.35 มก. ไนโตรเจน/ล. โดยค่าของไนเตรดในน้ำออกของชุดการทดลองที่ 1 และ 5 มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากชุดการทดลองนี้มีปริมาณจุลินทรีย์น้อย จึงมีดีไนริไฟเออร์น้อยด้วย ทำให้ไนเตรดในระบบในสถานะแอนออกซิกไม่ตกลงนัก (ชุดการทดลองที่ 5 มีค่าเอ็มแอลเอสสูงมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 จึงสามารถทำให้ค่าไนเตรดลดลงมากกว่า) อีกทั้งชุดการทดลองนี้เป็นชุดที่ไม่มีซีไอดีเหลืออยู่แล้วในช่วงแอนออกซิก จึงทำให้จุลินทรีย์ออกโทโทรฟิกเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาดีไนริฟิเคชันได้ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดโดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้ก็มีอัตราที่ช้ากว่าด้วย ส่วนในชุดการทดลองอื่นสามารถประมาณได้ว่าไม่มีไนเตรดคงค้างอยู่ในขั้นตอนแอนแอโรบิกของวัฏจักรถัดไปแล้ว อย่างไรก็ตามสำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 5 นั้นก็ถือว่าน้อยมากเช่นกัน อีกทั้งไนเตรดในน้ำเสียจะถูกเจือจางโดยน้ำเสียสังเคราะห์ของวัฏจักรถัดไปในอัตราส่วน 2 : 1 ($V_7:V_6 = 2:1$) อีกด้วย

สำหรับค่าไนไตรต์นั้น ในระบบการทดลองนี้แทบจะไม่พบเลย เนื่องจากที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าไนไตรต์เป็นสารอินเทอร์มีเดียทของกระบวนการไนตรีฟิเคชัน



รูปที่ 4.18 ในเตรคในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม



รูปที่ 4.19 ไนโตรเจนในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม

4.1.12 ฟอสฟอรัสและพีเอชเอ

กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอ ซึ่งมีกลไกที่สำคัญดังต่อไปนี้ (Sedlak และคณะ, 1991)

- 1) ฟิเอโอจะเก็บฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่าความต้องการของเซลล์ในรูปของโพลิฟอสเฟต
- 2) ในสภาพแอนแอโรบิก ฟิเอโอจะเก็บสะสมอาหารไว้ในเซลล์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาภายนอก
- 3) ส่วนในสภาพแอโรบิก จะได้พลังงานจากการออกซิเดชันของอาหารสำรองที่เก็บไว้ และมีการจับไอออนไรฟอสเฟต จากภายนอกเซลล์

ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในสภาวะต่างของการเดินระบบจึงมีความสำคัญในการบ่งชี้สภาพของระบบ โดยในตารางที่ 4.9 แสดงค่าฟอสฟอรัสที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลองที่สภาวะต่างๆ พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่สามารถใช้บ่งชี้ว่าในระบบเป็นฟิเอโอหรือไม่ก็คือ ค่าร้อยละของฟอสฟอรัสที่อยู่ภายในเซลล์ในขั้นคอนแอโรบิก (%P content) ซึ่งสามารถบอกชนิดของจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอได้อย่างคร่าวๆ โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถมี %P content ได้สูงถึงร้อยละ 4-12 ของน้ำหนักตัวแห้ง

ตารางที่ 4.9 ฟอสฟอรัสและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส(%)	ฟอสฟอรัส* (มก./ล.)			
		น้ำเข้า	แอนแอโรบิก	หลังจากเดิม P	แอโรบิก
1(6:1/15+0)	21	14.9	22.6	-	11.8
2(12:1/15+0)	42	14.9	31.4	-	8.7
3(24:1/15+0)	75	15.0	40.0	-	3.7
4(48:1/15+0)	100	14.9	61.3	-	0.0
5(6:1/7.5+7.5)	25	7.3	25.4	31.1	11.2
6(24:1/7.5+7.5)	87	7.7	47.9	52.9	1.9
7(48:1/7.5+7.5)	99	7.6	55.6	58.4	0.1

หมายเหตุ : ที่ตัวอย่างน้ำเข้าเป็นฟอสฟอรัสทั้งหมด ส่วนที่ตำแหน่งอื่นเป็นฟอสฟอรัสละลาย (membrane filter)

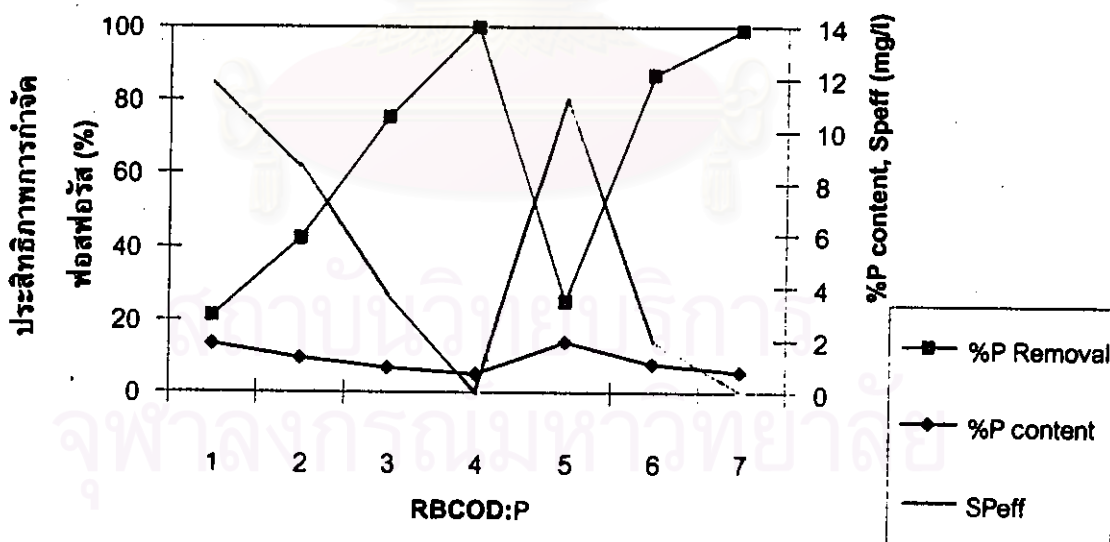
ชุดการทดลองที่ 1-4 นำผลการทดลองที่เก็บระหว่างเก็บที่สถานะคงตัวมาคำนวณ (n=5)

ชุดการทดลองที่ 5-7 นำผลการทดลองที่เก็บ โพรไฟล์เสนอ

รูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส, %P content และ ฟอสฟอรัสละลายในน้ำออก เมื่อเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกพบว่า มีค่า 11.8, 8.7, 3.7, 0.0, 11.2, 1.9 และ 0.1 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเป็นร้อยละ 21, 42, 75, 100, 25, 87 และ 99 ส่วน %P content เป็น 13.5, 9.3, 6.4, 4.9, 13.8, 8.0 และ 5.3 ตามลำดับของ ชุดการทดลอง

เมื่อพิจารณาการทดลองในชุดที่ 1-4 พบว่าชุดที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีคือฟอสฟอรัสมากที่สุด ก็จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสดีที่สุดและมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกต่ำที่สุด แต่มี %P content ต่ำที่สุด แต่เมื่อลดปริมาณสับสเตรคในระบบ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอสฟอรัสตกลงและมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกสูงขึ้น อีกทั้งมี %P content สูงขึ้น

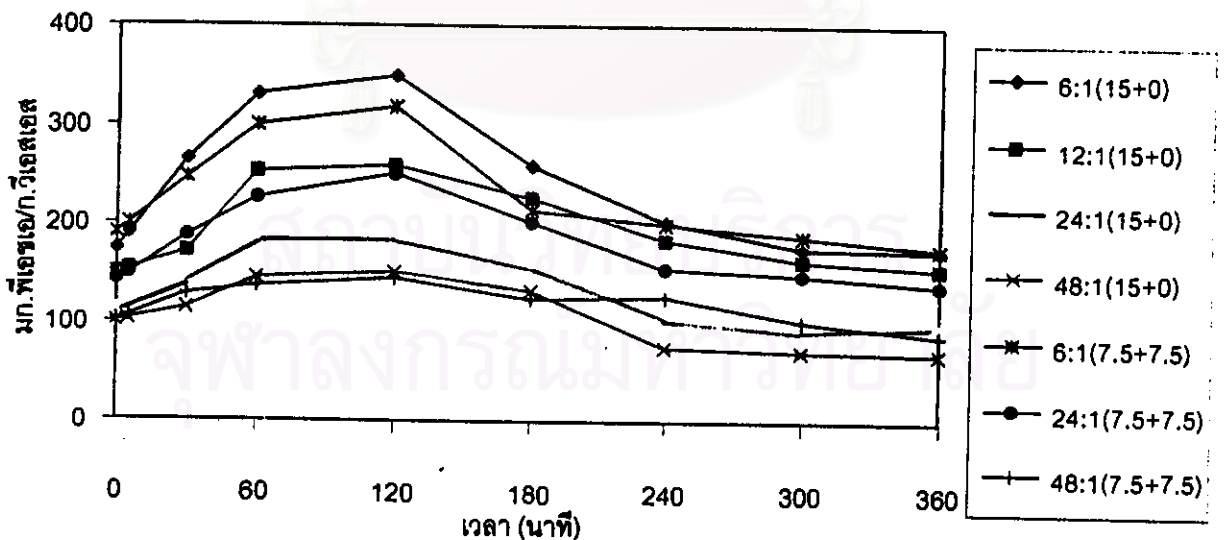
สำหรับเหตุผลที่ชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุดนั้น เนื่องจากชุดการทดลองนี้มีปริมาณสับสเตรคพอเพียงจึงมีปริมาณพีเอชเอที่สะสมในชั้นคอนแอนแอโรบิกมากพอในการจับใช้ฟอสฟอรัสที่มีในระบบเข้ามาในชั้นคอนแอโรบิก แต่ชุดการทดลองที่ 1-3 มีสับสเตรคน้อยลง ทำให้มีพีเอชเอที่จะนำไปสร้างเป็นพีเอชเอในชั้นคอนแอนแอโรบิกได้น้อยลง อีกทั้งยังทำให้ในชั้นคอนแอนแอโรบิกมีฟอสฟอรัสน้อยกว่าด้วย พอเข้าสู่ชั้นคอนแอโรบิกก็มีพีเอชเอน้อยกว่า จึงทำให้ได้พลังงานจากการออกซิไดส์พีเอชเอน้อย และส่งผลให้จับใช้ฟอสฟอรัสเข้ามาได้น้อย



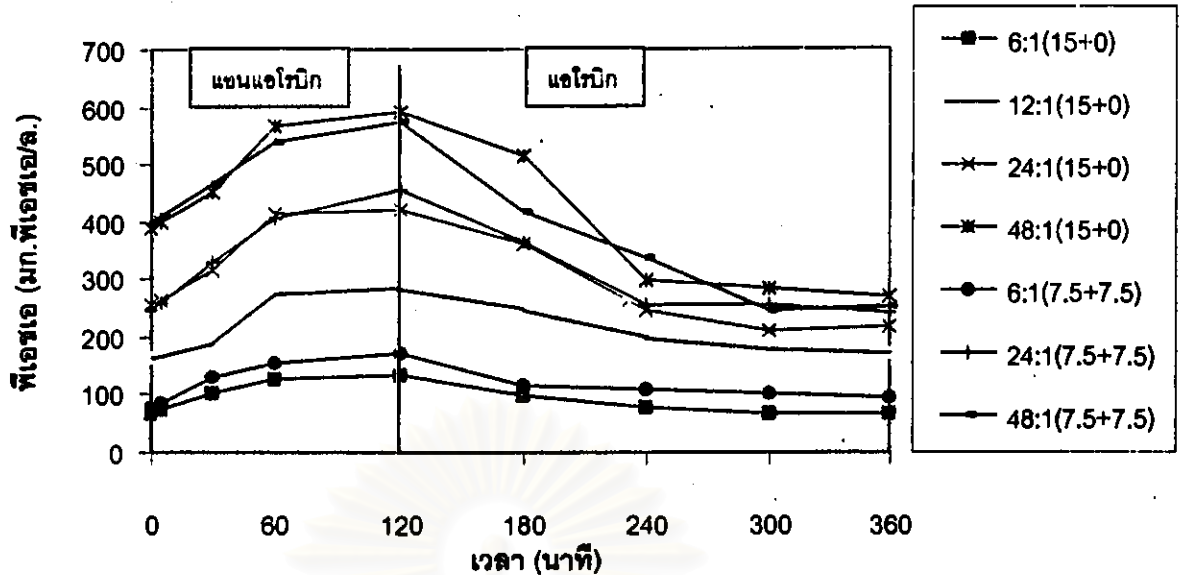
รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส ค่าร้อยละของฟอสฟอรัสในเอ็มแอลวีเอสเอสและ ฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกของการทดลองชุดต่างๆ

สำหรับกรณีของ %P content นั้น พบว่าชุดการทดลองที่มีค่าอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสน้อยกว่าจะมี %P content สูงกว่า โดยพบว่าสอดคล้องกับรูปที่ 4.21 ที่ค่าอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสน้อยกว่าก็จะมีปริมาณพีเอชเอในหน่วยมก.พีเอชเอ/ก.วีเอสเอส สูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการทดลองนี้ จะใช้น้ำเสียที่มีค่าฟอสฟอรัสคงที่คือ 15 มก./ล.แล้วแปรค่าอาร์บีซีโอดีเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการ ที่พบว่าในชุดการทดลองที่ 1 และ 5 มี %P content สูงที่สุดเพราะมีฟอสฟอรัสในระบบมากเมื่อเทียบกับค่าอาร์บีซีโอดี ซึ่งเป็นกรณีของคาร์บอนอินทรีย์เป็นสารจำกัด (limiting substrate) ดังนั้นจุลชีพในระบบจึงคุ้นเคยกับการจับใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณมาก แต่เนื่องจากมีสารอาหารจำกัด จึงมีปริมาณพีเอชเอของทั้งระบบที่เก็บไว้คอนซันตอนแอนแอโรบิกน้อย โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 4.22 ซึ่งแสดงค่าพีเอชเอในหน่วยมก.พีเอชเอ/ก. โดยเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารน้อยกว่าจะสามารถสร้างพีเอชเอโดยรวมได้น้อยกว่า ดังนั้นพอเข้าสู่สภาวะแอโรบิก จึงมีพลังงานไม่พอที่จะจับใช้อร์โธฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ อีกทั้งในระบบมีจำนวนจุลชีพน้อย เมื่อพิจารณาค่าพีเอชเอในระบบจริงๆจึงน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ทั้งๆที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้องการจำกัดเท่ากัน อีกทั้งจุลชีพกลุ่มฟิโอโอบียังมีขีดจำกัดของปริมาณโพธิฟอสเฟตที่จะสะสมภายในเซลล์ได้ จึงทำให้มีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสต่ำกว่าชุดควบคุมอื่นๆ (Brdjanovic และคณะ, 1991)

กรณีที่พิจารณาเปรียบเทียบโพรไฟล์ฟอสฟอรัสระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบ ก็คือระหว่างชุดที่ 1 และ 5, ชุดที่ 3 และ 6, ชุดที่ 4 และ 7 ดังแสดงในรูปที่ 4.24 พบว่ามีประสิทธิภาพ



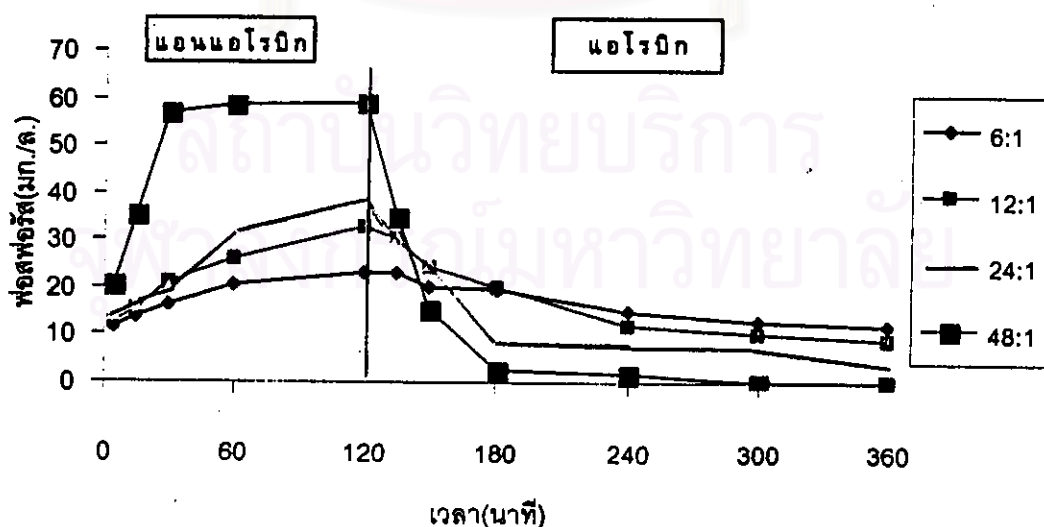
รูปที่ 4.21 ปริมาณพีเอชเอในเอ็มแอลเอสตามระยะเวลาที่สถานะคงตัวของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.22 ปริมาณฟิเอชเอต่อลิตรที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองควบคุม

ในการกำจัดฟอสฟอรัสใกล้เคียงกัน แต่อาจมีค่าต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีการควบคุมค่าเอ็นแอลเอสเอสในระบบตอนเริ่มทำการทดลอง และในชุดทดสอบไม่ได้ทำการทดลองจนถึงสถานะคงตัวด้วย

รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของค่าฟอสฟอรัสละลายและฟิเอชเอที่ตามระยะเวลาของชุดการทดลองควบคุมต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 1 ยังมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกสูง เนื่องจากฟิเอชเอในระบบมีไม่เพียงพอ ที่จะจับฟอสฟอรัสได้อีกแต่ในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีการเติมสารอาหารมาก จะทำให้สร้างฟิเอชเอได้มากกว่า แต่ยังไม่พอที่จะจับฟอสฟอรัสได้หมด อีก

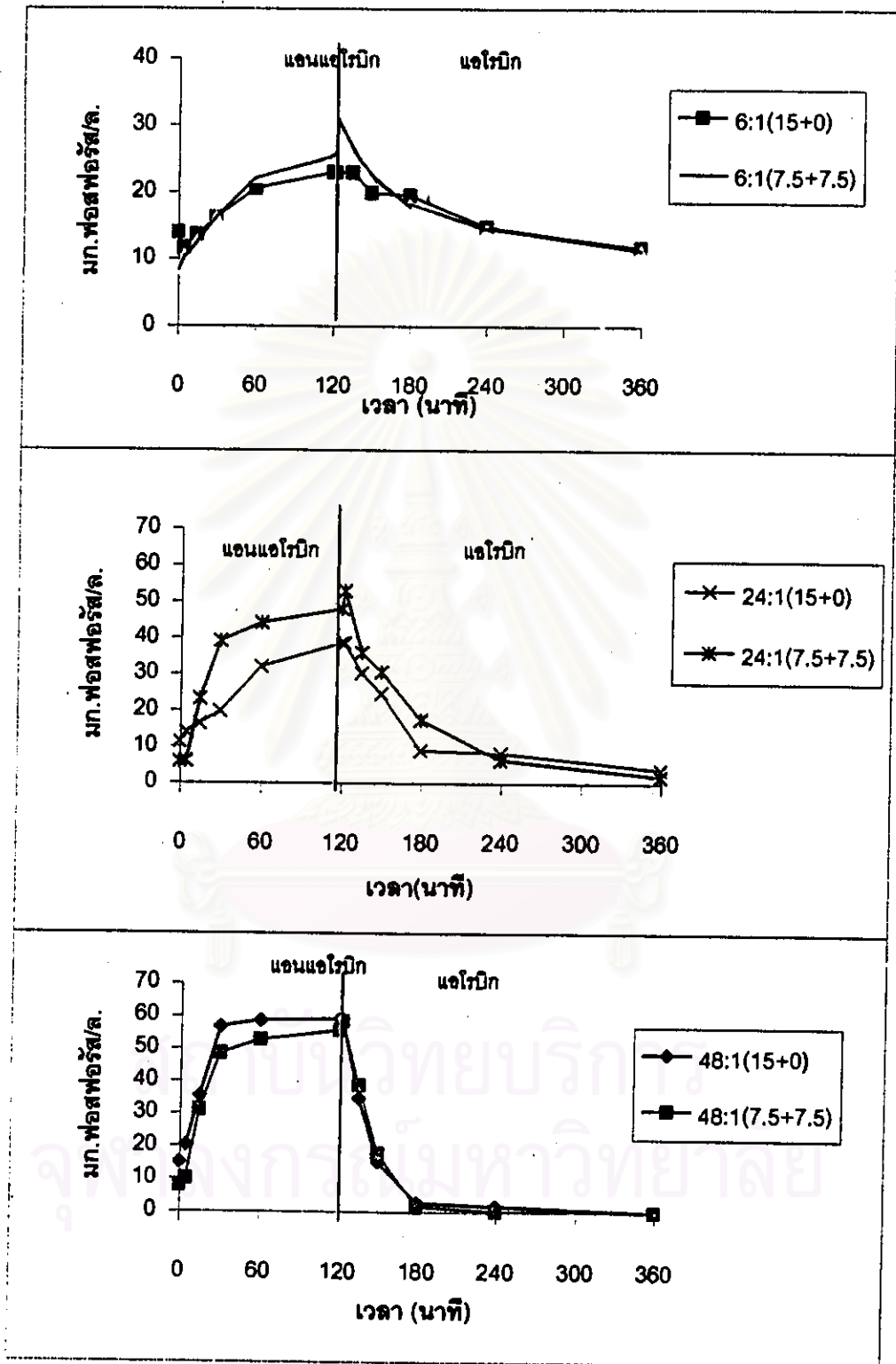


รูปที่ 4.23 ฟอสฟอรัสละลายตามระยะเวลาที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองควบคุม (ชุด 1-4)

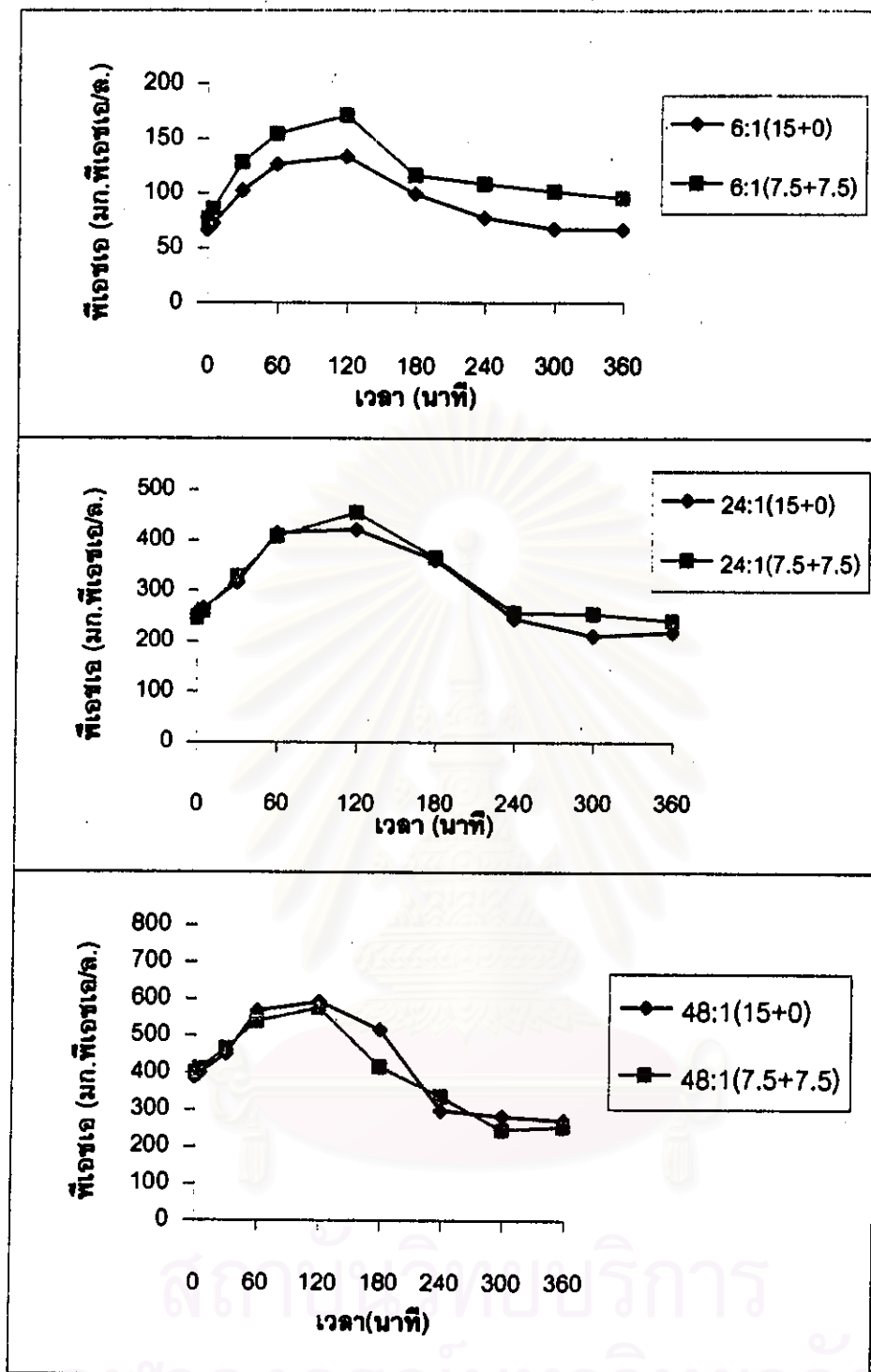
ทั้งในชุดการทดลองนี้ไม่สามารถสะสมโพสฟอรัสเฟดในเซลล์ได้มากนัก จึงยังเหลือฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกอยู่ ส่วนในชุดการทดลองที่ 4 มีการเติมสารอาหารมากเกินไป จึงมีพีเอชเอในระบบมาก ทำให้สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มาก เมื่อดูแนวโน้มแล้วพบว่ายังมีเอชเอเหลืออยู่อีกมากมาย ดังนั้นถ้ามีการเติมฟอสฟอรัสมากกว่านี้ ก็น่าจะสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองแบบแบคทีเรียที่กล่าวต่อไป

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าเป็นความแตกต่างจากผลการทดลองของ Punrattanasin และ Randall, 1997 และ Liu และคณะ, 1996 ที่สรุปว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสที่ใช้ในน้ำเสียดำ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่า มีฟอสฟอรัสละลายในน้ำออกน้อย และมีพีเอชเอมากกว่า เนื่องจากในงานของทั้งสองคณะที่กล่าวมา ได้ใช้ค่าซีโอดีในน้ำเสียดำที่แล้วทำการแปรค่าฟอสฟอรัสในระบบ ซึ่งทำให้ในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสต่ำจะมีฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ทำให้มีจุลชีพฟิโอสโมา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับชุดการทดลองนี้ จึงเห็นว่าเป็นความแตกต่างกัน ผลสรุปที่ได้จึงไม่เหมือนกัน

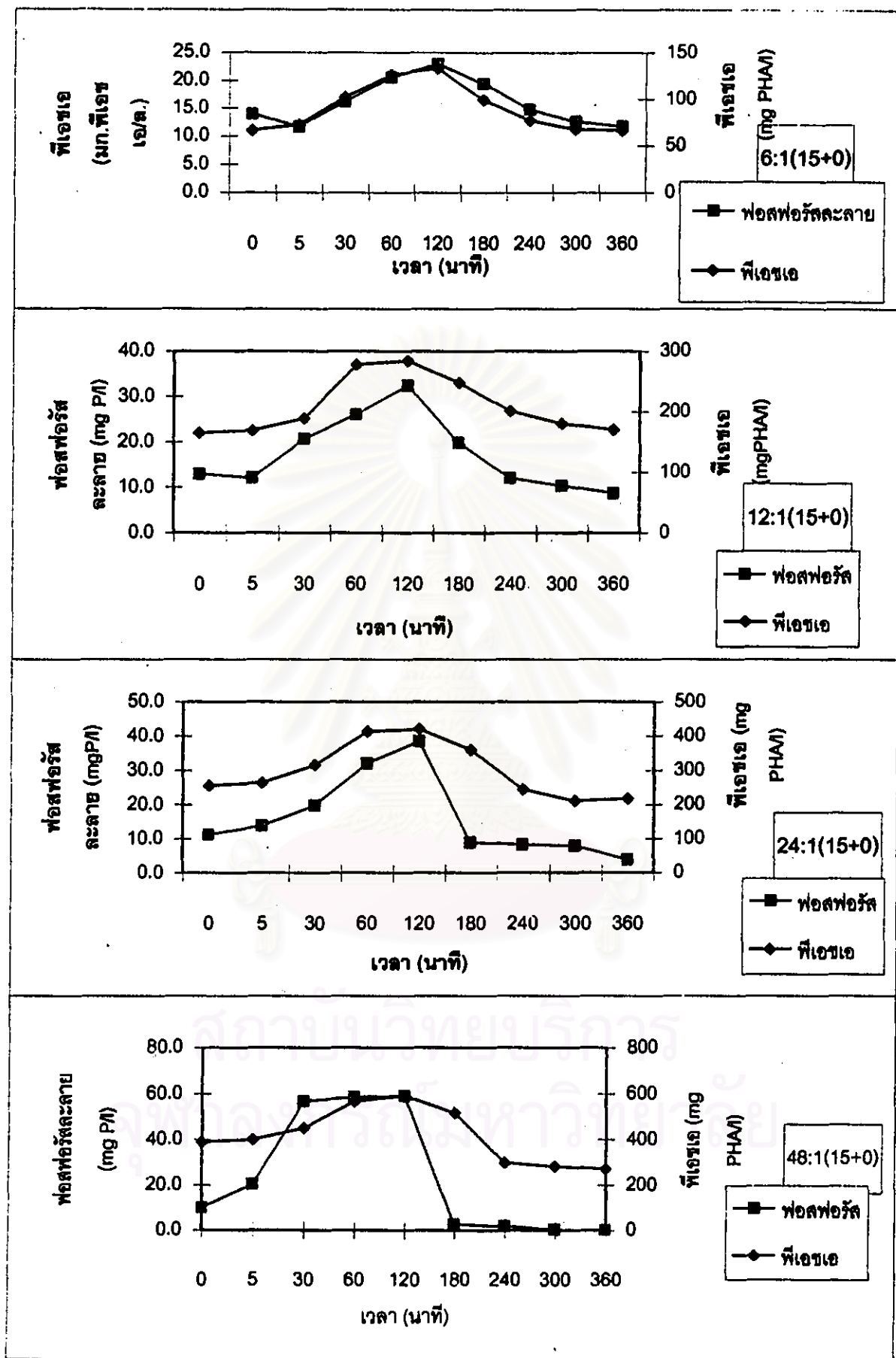
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



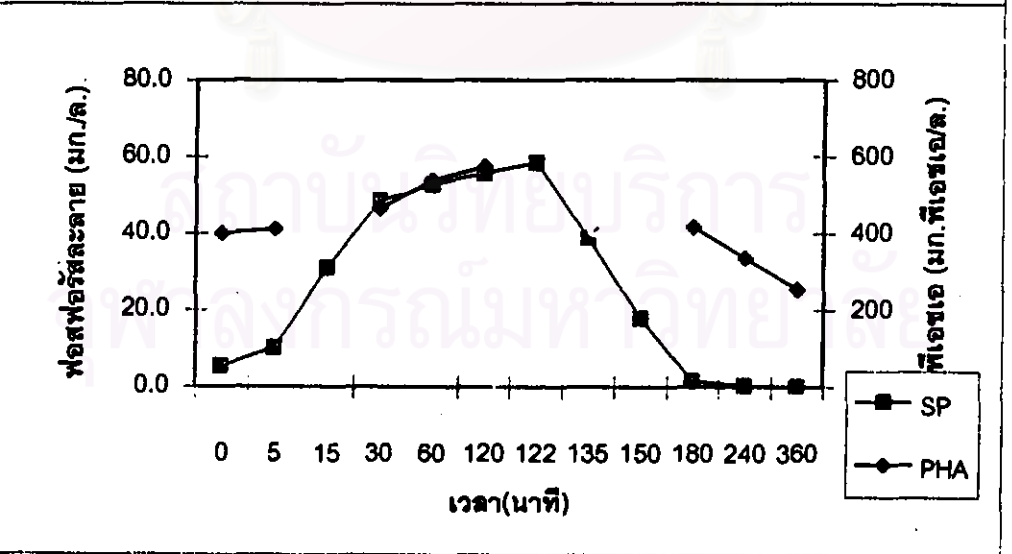
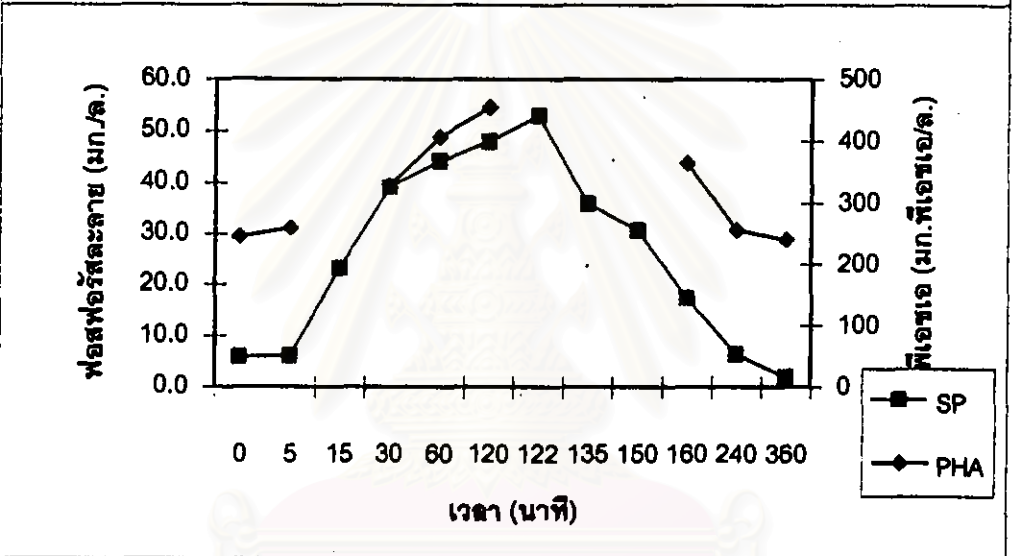
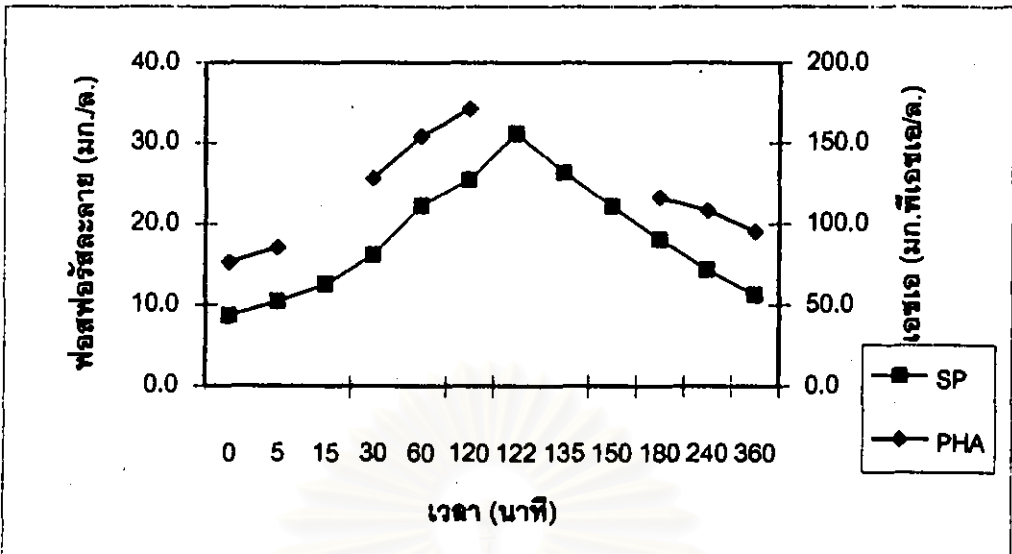
รูปที่ 4.24 โพรไฟล์ฟอสฟอรัสของชุดควบคุมและชุดทดสอบที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสเดียวกัน



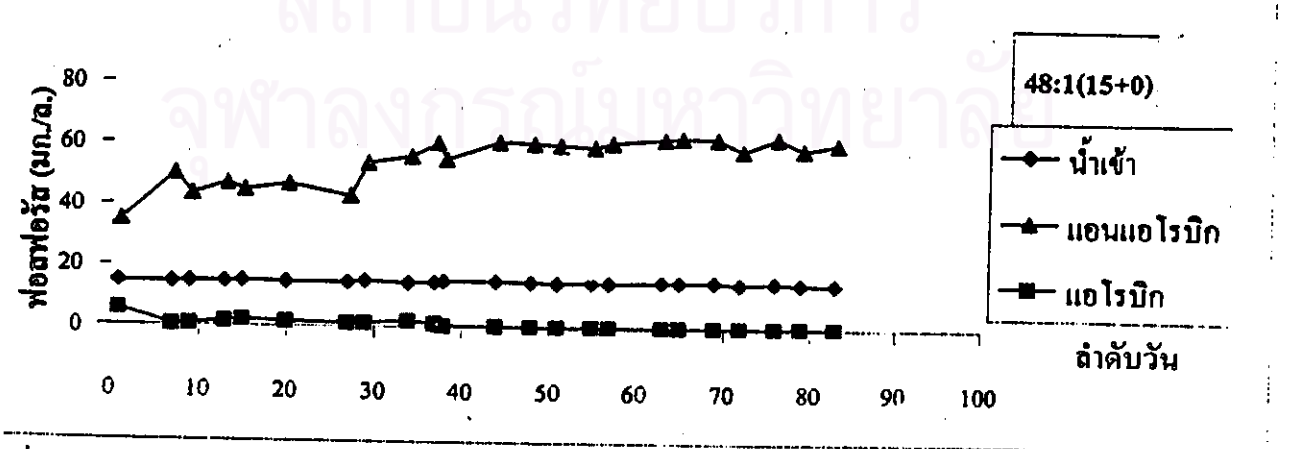
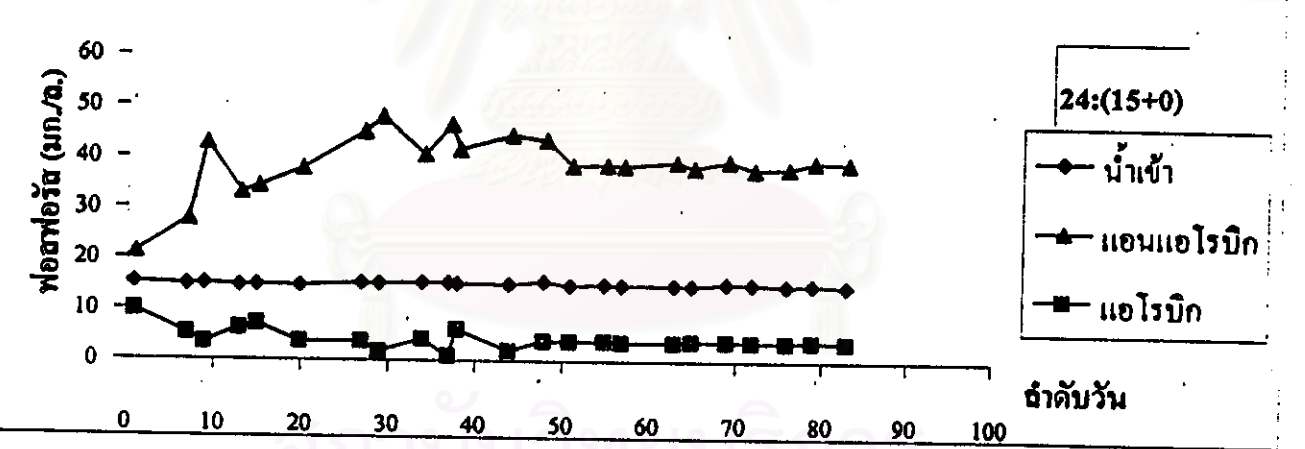
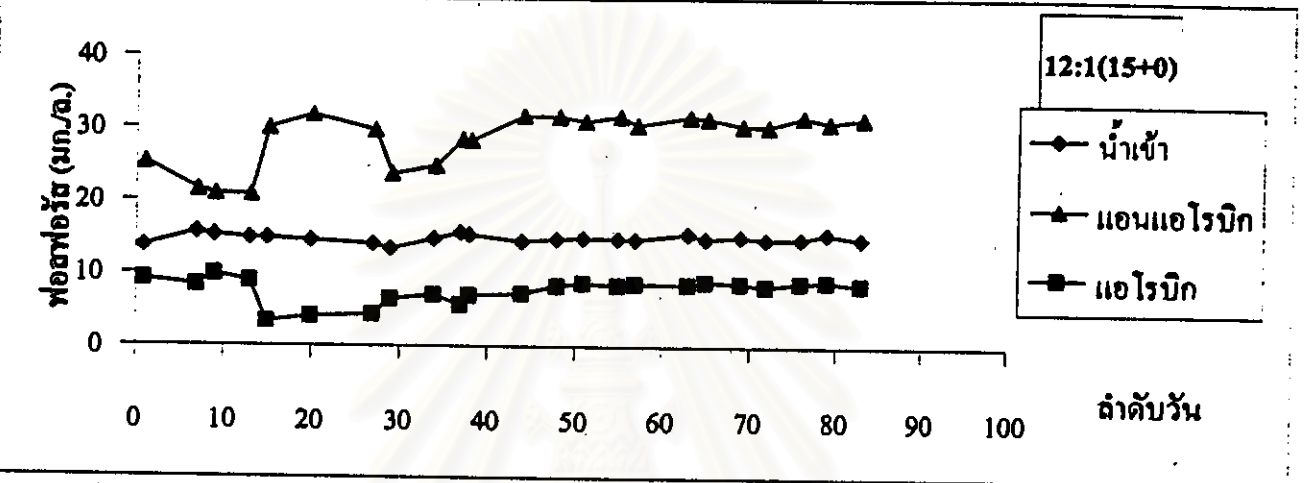
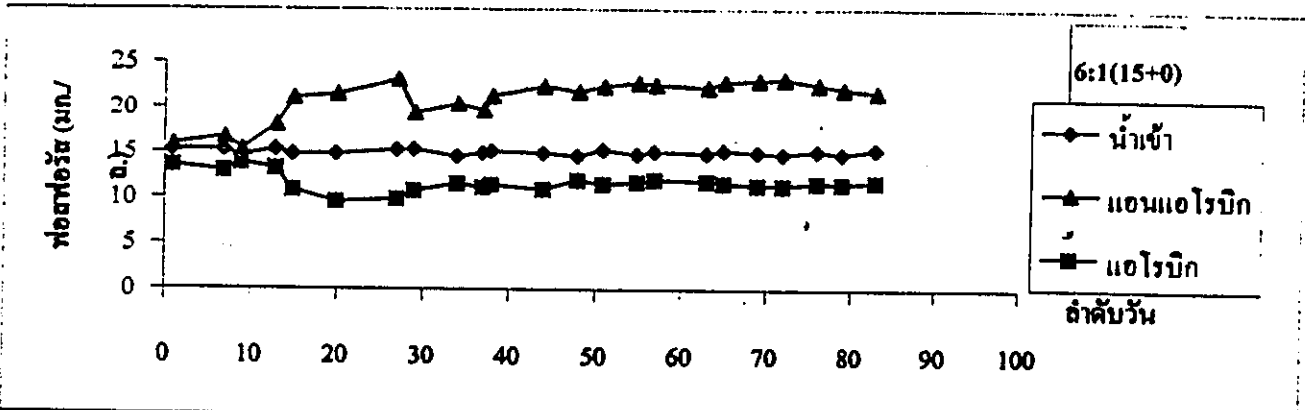
รูปที่ 4.25 โพรไฟล์พีเอสเอของชุดควบคุมและชุดทดสอบที่มีอัตราส่วนอาร์บิซีโอดีต่อฟอสฟอรัสเดียวกัน



รูปที่ 4.26 โพรไฟล์ฟอสฟอรัสและฟอสเฟอรัสของชุดควบคุม



รูปที่ 4.27 โพรไฟล์ฟอสฟอรัสและพีเอชเอของชุดทดสอบ



รูปที่ 4.27 ฟอสฟอรัสในช่วงเดินระบบของชุดควบคุม

4.1.13 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ

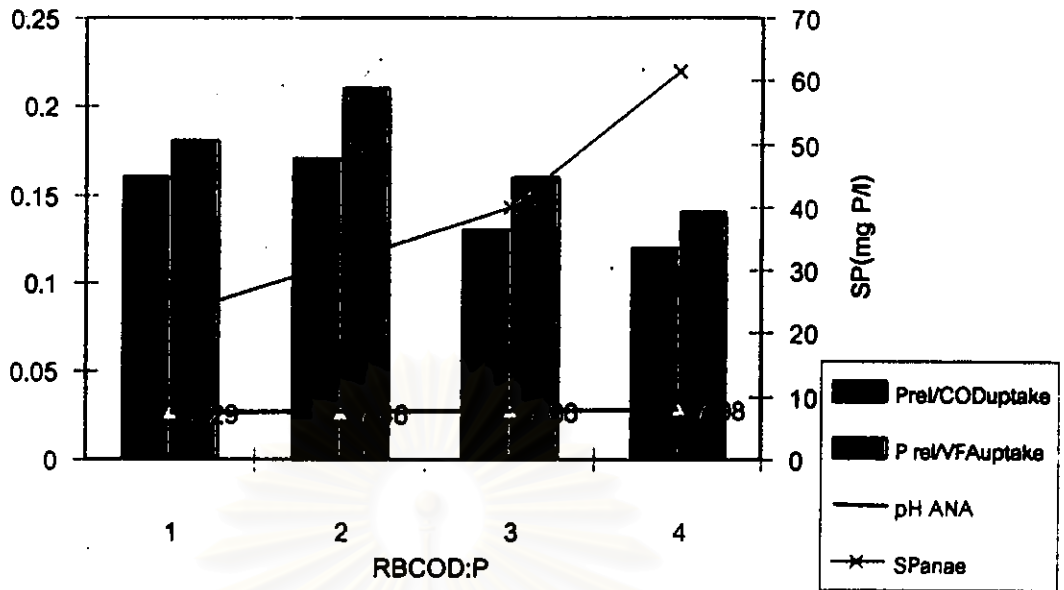
จากรูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ของค่าฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยกับค่าวีเอฟเอและซีไอที่ใช้ในชั้นคอนกรีตแอโรบิก และค่าฟอสฟอรัสละลายรวมทั้งค่าพีเอชในคอนกรีตของชั้นคอนกรีตแอโรบิกพบว่าค่าอัตราส่วนของฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยกับค่าวีเอฟเอและซีไอของทุกชุดการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือค่าอัตราส่วนของฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยต่อค่าวีเอฟเอจะมากกว่าค่าอัตราส่วนของฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยต่อค่าซีไอเล็กน้อย ประมาณ 0.02-0.05 โดยที่ค่าอัตราส่วนของชุดการทดลองที่ 2 จะมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 และมากกว่าชุดการทดลองที่ 3 และ 4

จากผลงานวิจัยของ Smolder และคณะ (1994) พบว่าที่พีเอชสูงขึ้น ต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการขนส่งอะซิเตดไปเก็บสำรองไว้ ซึ่งทำให้มีอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสต่อซีไอที่ใช้ไปมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.24-0.73 มก.ฟอสฟอรัส/มก.ซีไอ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในชุดที่ 1 และ 2

ส่วนผลการทดลองในชุดที่ 3 และ 4 สามารถอธิบายได้โดยงานวิจัยของ Kuba และคณะ (1997) ที่กล่าวว่าที่พีเอชสูงจะทำให้อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสต่อซีไอที่ใช้ไปมากกว่าที่พีเอชต่ำ แต่เมื่อพีเอชในชั้นคอนกรีตแอโรบิกสูงกว่า 7.5 แล้ว จะทำให้เกิดผลกลับกัน คืออัตราส่วนนี้มีค่าลดลง ซึ่งในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 มีค่าพีเอช 7.66 และ 7.98 ตามลำดับ จึงน่าจะมีเหตุผลสอดคล้องกัน

สำหรับความสัมพันธ์ของค่าพีเอชที่เกิดขึ้นต่อซีไอที่ใช้ไปกับค่าพีเอชในสภาวะแอโรบิกและค่าฟอสฟอรัสละลายในสภาวะแอโรบิก ที่แสดงในรูปที่ 4.30 โดยชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของอาร์บีซีไอคือฟอสฟอรัสต่ำก็จะมีค่าอัตราส่วนนี้สูง ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอัตราส่วนนี้เท่ากับ 1.22, 1.11, 0.76 และ 0.46 ตามลำดับ เห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสูงถึง 1.22 ซึ่งแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตพีเอชเอแค้ใช้ซีไออย่างจำกัด เนื่องจากชุดการทดลองนี้มีค่าซีไอต่ำ ระบบจึงคุ้นเคยกับการที่จะสร้างพีเอชเอให้มากที่สุดภายใต้สภาวะที่มีการจำกัดการใช้ซีไอ

ส่วนค่าฟอสฟอรัสละลายที่ชุดการทดลองที่ 1 มีค่ามากที่สุด แม้จะมีอัตราส่วนของพีเอชที่ผลิตได้ต่อซีไอที่ใช้ไปสูง เพราะว่ามีชุดการทดลองที่ 1 มีจำนวนจุลชีพน้อยกว่า ทำให้มีพีเอชเอที่ผลิตได้โดยรวมแล้วน้อยกว่าจึงไม่พอที่จะจับใช้ฟอสฟอรัสได้หมด



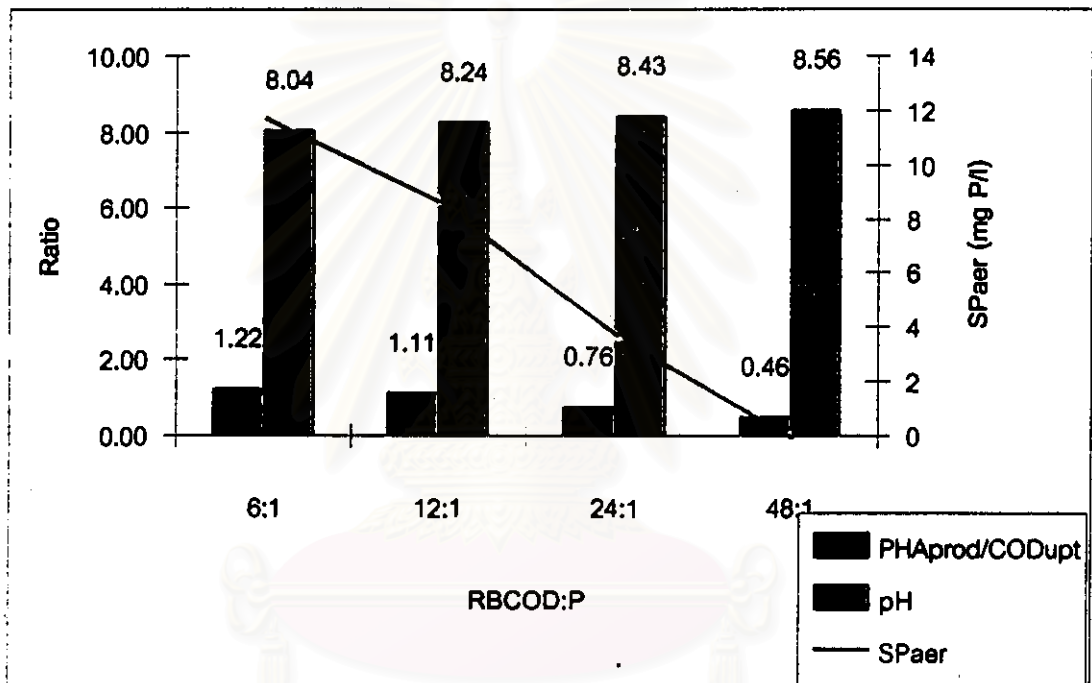
รูปที่ 4.29 ค่าฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยต่อซีโอดีและวิเอฟเอทีใช้พร้อมค่าพีเอชและฟอสฟอรัสละลายในชั้นคอนแอนแอโรบิก

จากงานวิจัยของ Smolder และคณะ (1994) ซึ่งได้ทำการทดลองที่ระบบแอสบิอาร์ ขนาด 2 ลิตร ที่ 20°C โดยควบคุมให้พีเอชเท่ากับ 7 ใช้อะซิเตดเป็นแหล่งสับสเตรค 400 มก.ซีโอดี/ล. และฟอสฟอรัส 15 มก./ล. พอเข้าสภาวะคงตัว ได้ทดลองวัดโพธิไฟต์ของพีเอชบี (ประมาณค่าพีเอชเอเนื่องจากใช้กรโคอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอน) และฟอสฟอรัส ได้ค่าอัตราส่วนพีเอชบีที่ผลิตได้ต่อกรโคอะซิติกที่ใช้ไปเท่ากับ 0.77 โมลคาร์บอน/โมลคาร์บอน นอกจากนี้ยังได้กล่าวว่า ผลของพีเอชที่สภาวะแอนแอโรบิกมีความสำคัญต่อระบบมาก เนื่องจากที่พีเอชต่ำจะมีการย่อยสลายโพธิฟอสเฟตในเซลล์ของจุลินทรีย์น้อยกว่า เพราะความต้องการพลังงานในการขนส่งอะซิเตดเข้าสู่เซลล์น้อยกว่า ดังนั้นระบบก็จะใช้อะซิเตดมากกว่า และจากการที่ระบบย่อยสลายโพธิฟอสเฟตต่ำกว่า ทำให้มีสัดส่วนของโพธิฟอสเฟตในเซลล์สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่นี้ ว่าที่พีเอชต่ำ (ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสต่ำกว่า) จะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นพีเอโอมากกว่า

สำหรับรูปที่ 4.31 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของการจับใช้ฟอสฟอรัสต่อค่าซีโอดีและวิเอฟเอทีใช้ในชั้นคอนแอนแอโรบิก และอัตราส่วนการจับใช้ฟอสฟอรัสต่อพีเอชเอที่ถูกออกซิไดส์ในชั้นคอนแอนแอโรบิก รวมทั้งค่าพีเอชและฟอสฟอรัสละลายในชั้นคอนแอนแอโรบิกด้วย โดยพบว่าชุดการทดลองที่อัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสในน้ำเสียบเข้ามีค่าต่ำกว่า จะมีค่าอัตราส่วนที่กล่าวไว้ข้างต้นสูงกว่า เนื่องจากที่กล่าวไว้แล้วว่าชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสในน้ำเสียบต่ำ จะมีจุลินทรีย์กลุ่มพีเอโอมากกว่า จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการจับใช้ฟอสฟอรัสต่อซีโอดีที่ใช้

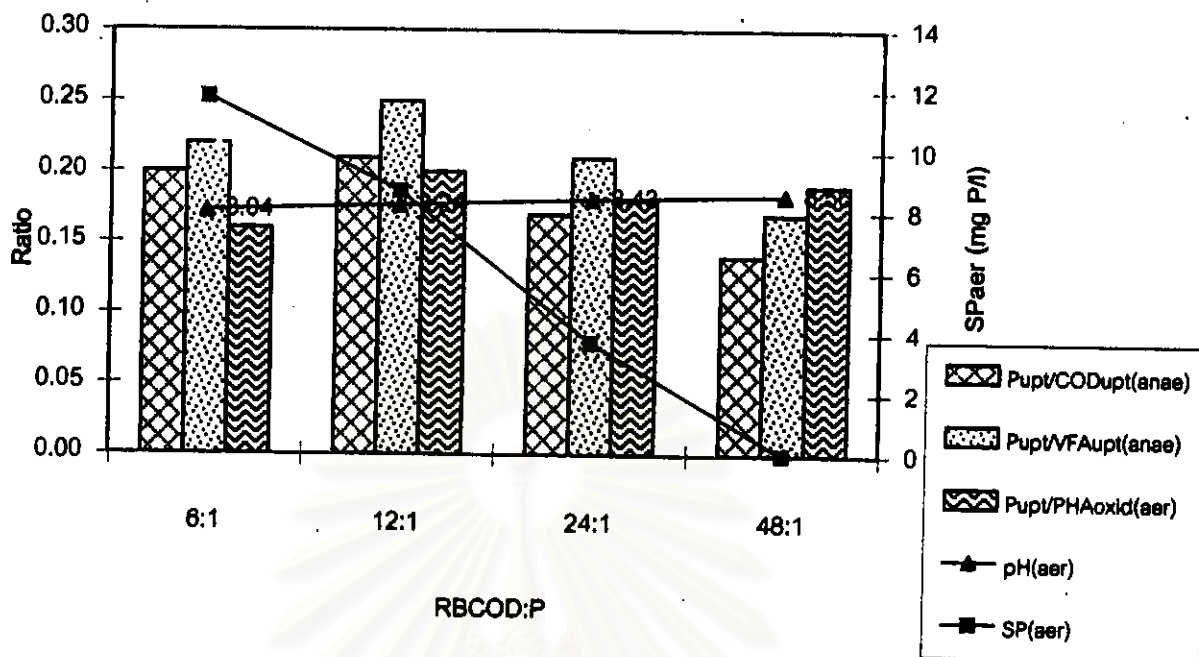
เท่าๆกันได้ดีกว่า และอีกปัจจัยหนึ่งคือจุดชีพในการทดลองนี้มีความคุ้นเคยกับการใช้ชีโอดีดำ จึงต้องใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด จึงมีอัตราส่วนของการจับใช้ฟอสฟอรัสต่อค่าซีโอดีและวีโอพีเอทีใช้ในขั้นตอนแอนแอโรบิกมากกว่า สำหรับอัตราส่วนการจับใช้ฟอสฟอรัสต่อพีเอชเอทีถูกออกซิไดส์ในขั้นตอนแอนโรบิกนั้น ก็สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของชีโอดีที่ถูกใช้ไป เพราะพีเอชเอทีถูกออกซิไดส์ก็ถูกสร้างมาจากชีโอดีที่ใช้ในขั้นตอนแอนโรบิกนั่นเอง

สำหรับค่าฟอสฟอรัสละลายก็เป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว คือ ถึงแม้ว่าการทดลองที่มีสปีสเทรคต่ำจะมีประสิทธิภาพของจุดชีพสูง แต่จะทำให้สร้างพีเอชเอชของทั้งระบบได้น้อยกว่า จึงไม่พอเพียงที่จะจับใช้ฟอสฟอรัสได้หมด



รูปที่ 4.30 อัตราส่วนของพีเอชเอทีผลิตได้และชีโอดีที่ใช้ไปของชุดการทดลองควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.31 อัตราส่วนระหว่างฟอสฟอรัสที่ถูกจับใช้กับการใช้สารอาหารและพีเอชเอที่ใช้ไปของชุดควบคุม

4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของชุดการทดลองแบบแบคทีเรีย

เมื่อพิจารณาชุดการทดลองแบบแบคทีเรีย ซึ่งนำสัณฐานจากปลายชั้นคอนแอนแอโรบิกของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มาเติมฟอสฟอรัสเพื่อศึกษาว่าแต่ละชุดการทดลองยังสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มอีกได้ไหมถ้ามีการเติมฟอสฟอรัสเพิ่มเข้าไปที่ปลายชั้นคอนแอนแอโรบิก โดยแต่ละชุดการทดลองเติมฟอสฟอรัสเป็นปริมาณ 0, 22.5 และ 67.5 มก./ก. และนำมาเติมอากาศต่อ เพื่อศึกษาการจับใช้ฟอสฟอรัสและปริมาณพีเอชเอที่ถูกออกซิไดส์ในระหว่างนี้ อนึ่งในการทดลองชุดควบคุมได้มีการเติมฟอสฟอรัสในน้ำเข้า 15 มก./ก. ที่เทียบกับปริมาณน้ำเข้า ดังนั้นในชุดการทดลองแบบแบคทีเรียสามารถกล่าวได้ว่ามีการเติมฟอสฟอรัส 2 ตำแหน่ง ซึ่งจะเรียกชุดการทดลองที่มีการเติมฟอสฟอรัส 0, 22.5 และ 67.5 ว่า 15+0, 15+22.5 และ 15+67.5 ตามลำดับ

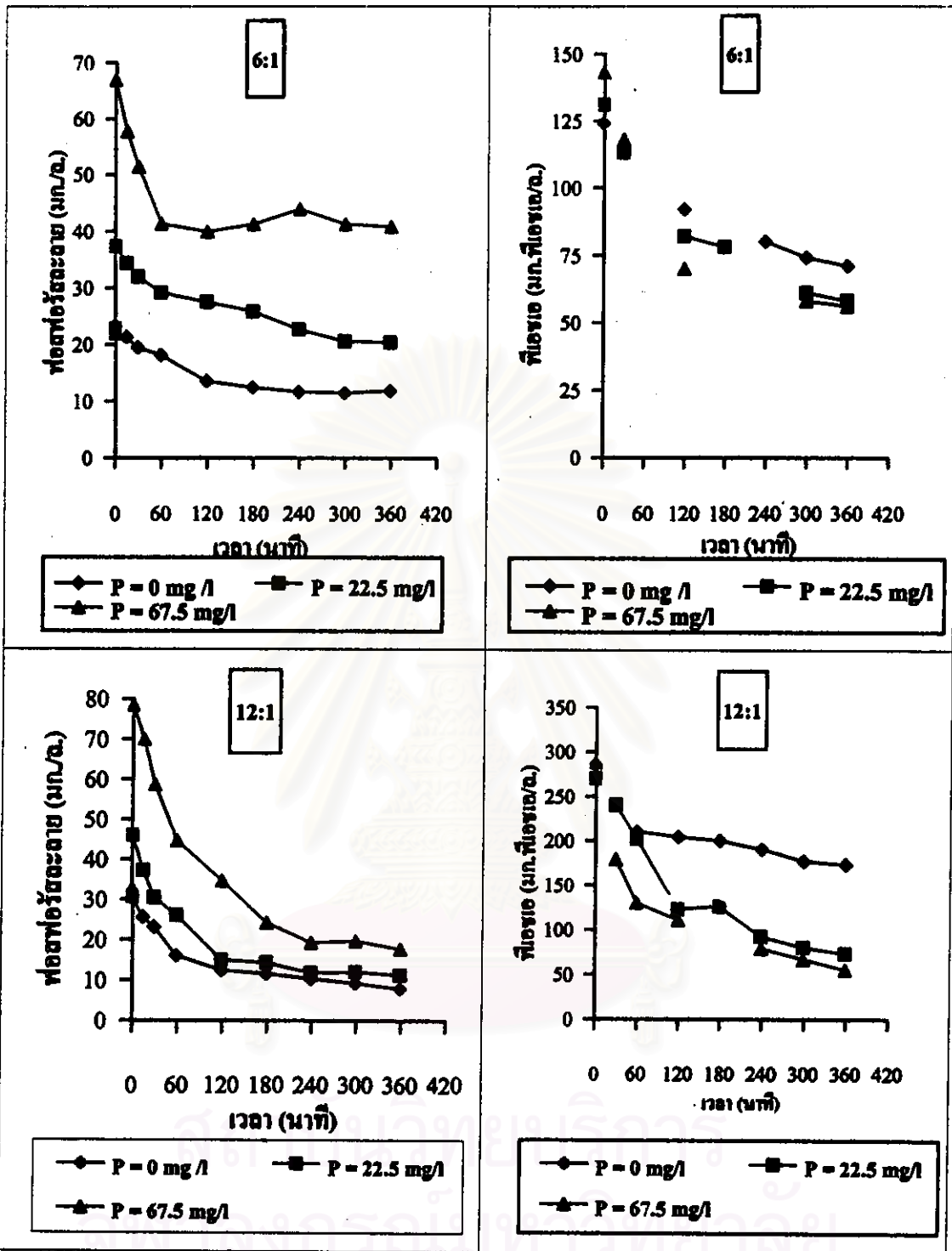
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.32 โดยในชุดแบคทีเรียที่นำสัณฐานมาจากการทดลองที่ 1 พบว่าในกรณีที่ไม่มีเติมฟอสฟอรัสเพิ่มเลยมีการจับใช้ฟอสฟอรัสประมาณ 11.4 มก./ก. ส่วนในการทดลองที่เติมฟอสฟอรัสมากขึ้นคือเติม 22.5 และ 67.5 มก./ก. จะจับใช้ฟอสฟอรัสได้ประมาณ 17.0 และ 26.0 มก./ก. ตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อเติมฟอสฟอรัสลงไปมาก ก็จะจับใช้ได้มากเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ต้นนิมฐาน

ว่าเนื่องจากในชุดการทดลองที่มีการเติมฟอสฟอรัสลงไปมาก แม้ว่าจะมีพีเอชเอเหลืออยู่น้อยเท่าๆกัน หลังจากเติมฟอสฟอรัสเพิ่มลงไป ภายนอกเซลล์จุลินทรีย์จะมีฟอสฟอรัสเข้มข้นมากขึ้น จุลินทรีย์จึงต้องใช้พีเอชเอที่มีสถานะไว้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเมื่อพิจารณากราฟของพีเอชเอประกอบกันจะเห็นว่าไม่ได้ลดลงไปมากนัก (อาจถูกจำกัดโดยปริมาณพีเอชเอชิ้นค่าที่ต้องมีภายในเซลล์)

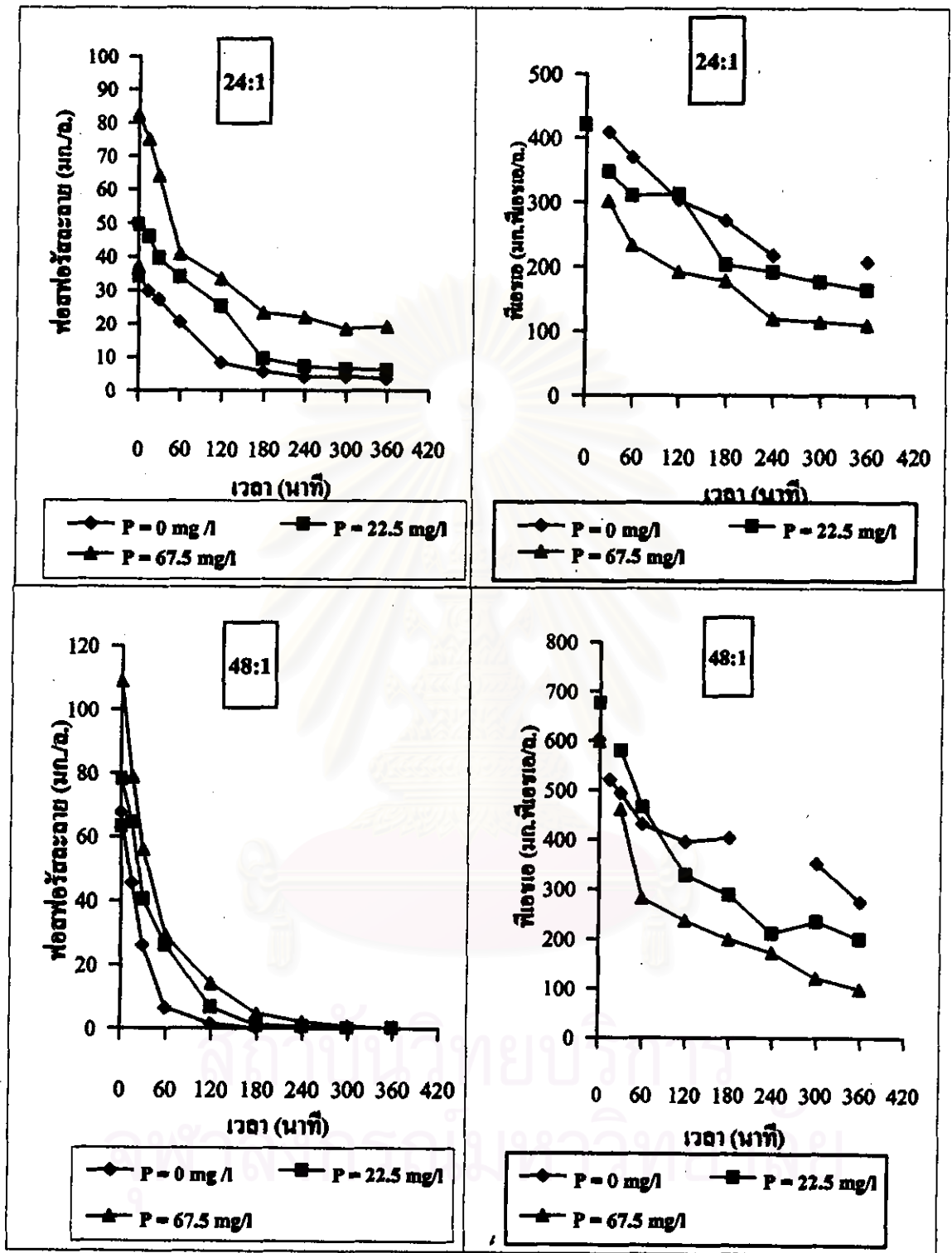
สำหรับกรณีชุดการทดลองแบบแบบครซ์ของชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ก็สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน คือ ยิ่งเติมฟอสฟอรัสมากยิ่งขึ้น ก็จะสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้เพิ่มมากขึ้น และมีข้อสังเกตคือ ถ้ามีฟอสฟอรัสละลายอยู่ภายนอกเซลล์มากขึ้น จะมีอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสเริ่มต้นเพิ่มตามไปด้วย

ต่อมาเมื่อพิจารณารูปที่ 4.33 ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เติมเพิ่มเท่าๆกันในชุดการทดลองแบบแบบครซ์ของแต่ละชุดการทดลอง โดยเมื่อพิจารณารูป 15+0 ซึ่งคือชุดที่ไม่มีการเติมฟอสฟอรัสเพิ่มเลย พบว่าชุดแบบครซ์จากการทดลองชุดที่ 4 สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้หมดภายในเพียง 2 ชั่วโมง สำหรับชุดแบบครซ์อื่น ที่นำมาจากชุดการทดลองที่มีสารอาหารน้อยก็จะมีจับใช้ฟอสฟอรัสไม่หมดและมีอัตราการจับใช้ที่ช้าลงไปตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณากราฟของพีเอชเอประกอบกัน จะเห็นว่าชุดแบบครซ์จากการทดลองชุดที่ 4 มีพีเอชเอลดน้อยลงมากที่สุด ดังนั้นปรากฏการณ์ที่ฟอสฟอรัสถูกจับใช้อย่างรวดเร็วนี้ น่าจะเกี่ยวข้องกับปริมาณพีเอชเอเริ่มต้นที่มีอยู่ ต่อมาเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชเอ ก็พบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งมากกว่าชุดแบบครซ์จากการทดลองที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อย้อนกลับไปดูรูปที่ 4.31 ก็พบว่าในชุดที่ 4 นี้มีอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสต่อค่าพีเอชเอที่ถูกออกซิไดส์ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องในชุดแบบครซ์ที่นำมาจากชุดการทดลองชุดที่ 4 นี้ก็จะต้องใช้พีเอชเอมากกว่าจึงจะจับใช้ฟอสฟอรัสได้เท่าๆกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีการใช้พีเอชเออย่างไม่มีประสิทธิภาพในการจับใช้ฟอสฟอรัส ในการทดลองชุดแบบครซ์ 15+0 นี้สามารถเปรียบเทียบได้กับชุดการทดลองควบคุม ซึ่งพบว่ามีความคล้ายคลึงกันมากทั้งลักษณะการจับใช้ฟอสฟอรัสและปริมาณพีเอชเอที่ลดลง

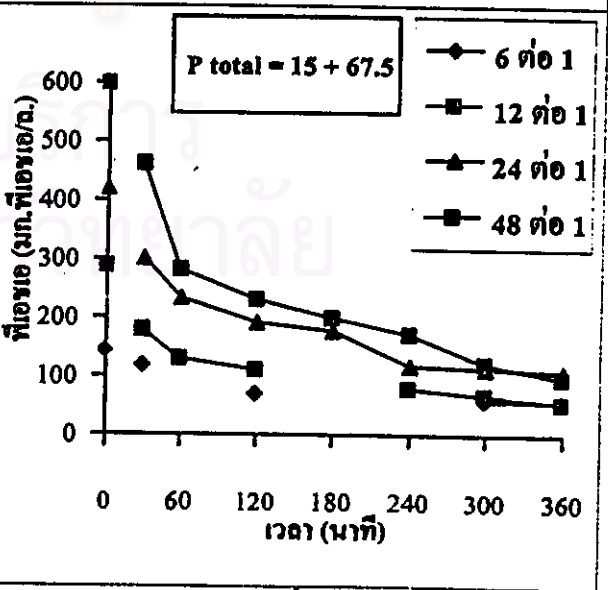
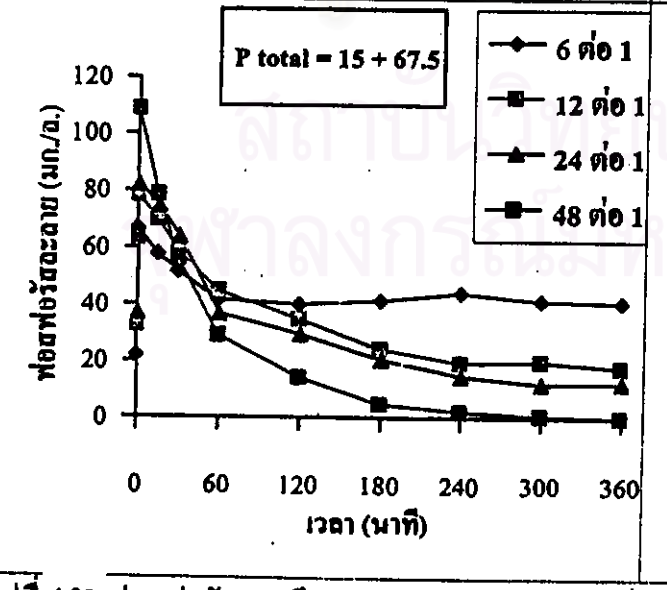
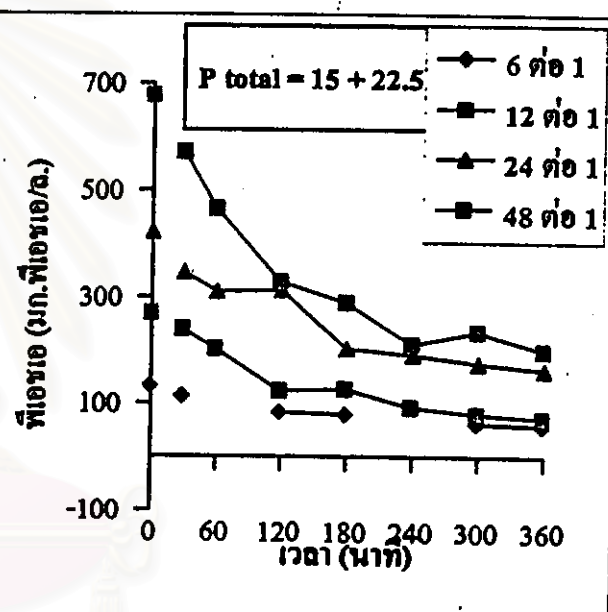
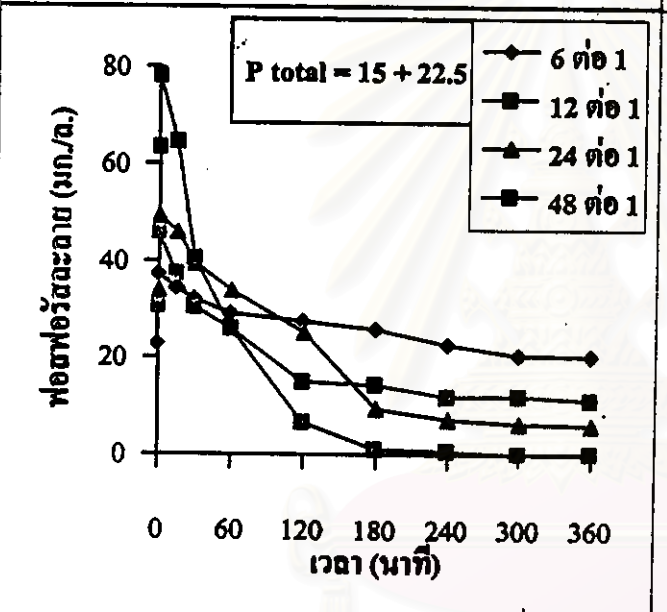
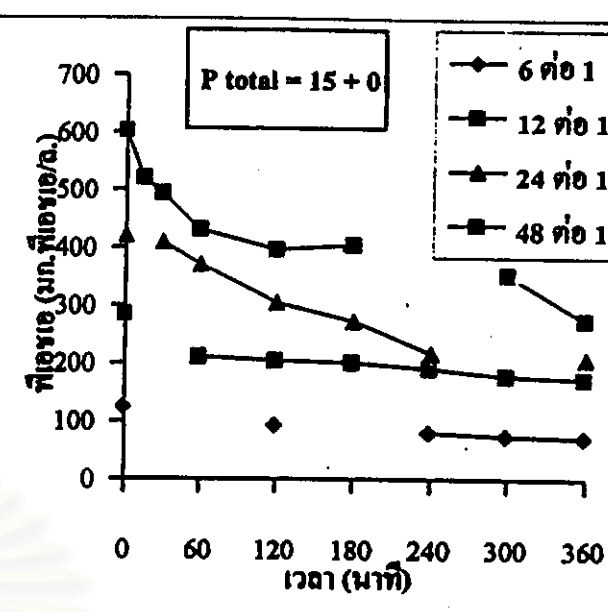
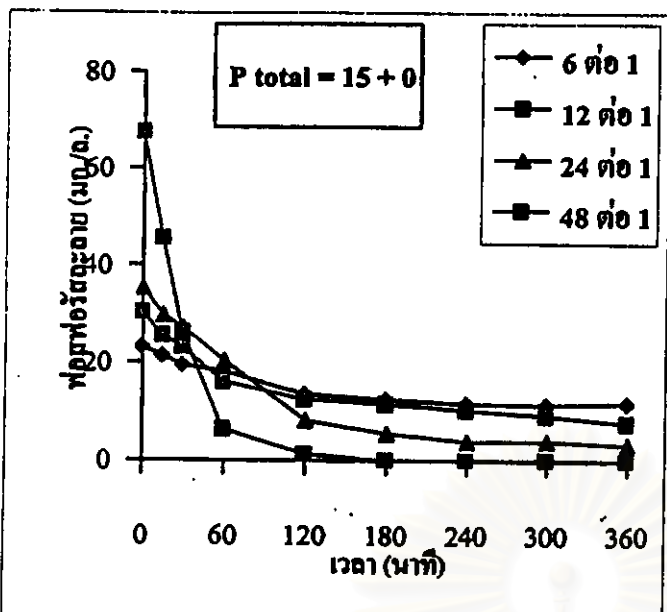
สำหรับในชุดการทดลองที่เติมฟอสฟอรัส 22.5 และ 67.5 มก./ล. หรือ 15+22.5 และ 15+67.5 นั้น ก็มีความสอดคล้องกับชุดการทดลอง 15+0 คือ ชุดแบบครซ์ที่นำสัลดิจมาจากการทดลองที่ 4 จะมีการจับใช้ฟอสฟอรัสได้หมดเนื่องจากมีพีเอชเอที่มากเกินไป มีอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสเริ่มต้นสูงกว่า และมีค่าพีเอชเอที่ใช้ไปในการจับใช้ฟอสฟอรัสมากที่สุด และเมื่อพิจารณากราฟพีเอชเอของการทดลอง 15+67.5 พบว่ายังมีพีเอชเอเหลืออยู่แต่สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้หมดแล้ว ดังนั้นถ้าทำการทดลองต่อไปโดยเติมฟอสฟอรัสมากกว่านี้ ก็ยังน่าจะจับใช้ฟอสฟอรัสได้อีก



รูปที่ 4.32ก. ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนของชุดการทดลองแบบตรี (แยกตามชุดการทดลอง)



รูปที่ 4.32ข. พอลฟอรัสและทีเอชแอลของชุดการทดลองแบบตรี (แยกตามชุดการทดลอง)



รูปที่ 4.33 ฟอสฟอรัสและพีเอชของชุดการทดลองแบคทีเรีย (แยกตามปริมาณฟอสฟอรัสที่เติม)

4.3 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ

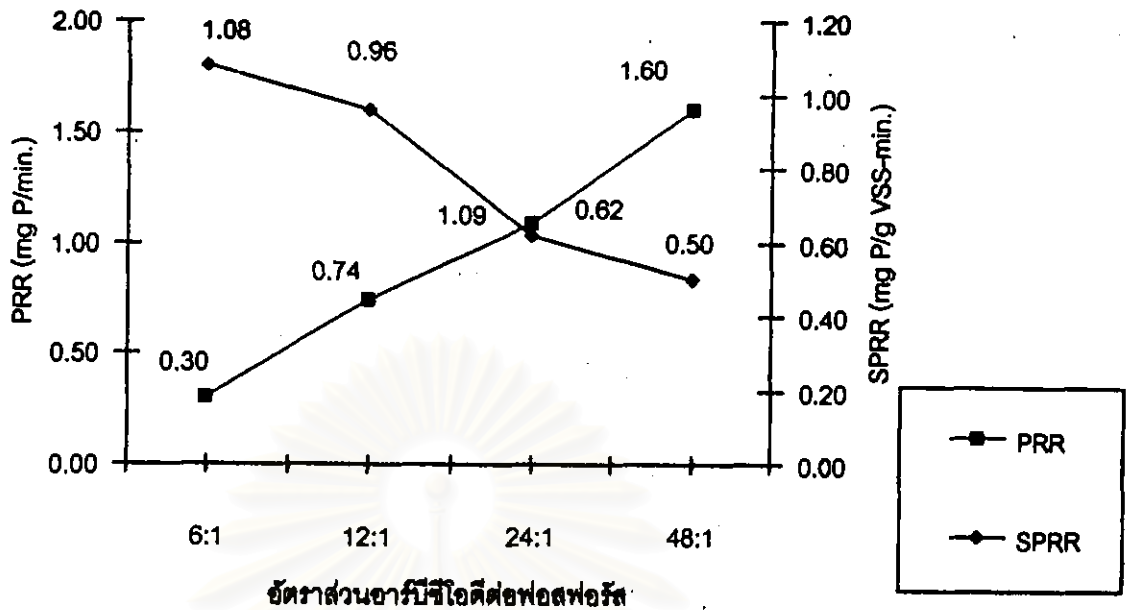
การหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะทำในการทดลองแบบแบตช์ ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองแสดงภาคผนวก โดยในการทดลองใช้สลัดจ์ที่สถานะคงตัวของชุดการทดลองนั้นๆมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์นี้ การหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะจะทำในสภาพแอนแอโรบิก ส่วนการหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะทำในสภาพแอโรบิก สำหรับผลของอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะแสดงในตารางที่ 4.10 ส่วนผลของอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสแสดงในตารางที่ 4.11

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าดังต่อไปนี้ 1.08, 0.96, 0.62 และ 0.50 คมลำดับ ส่วนอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะได้ค่า 0.30, 0.74, 1.09 และ 1.60 คมลำดับ โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 4.34 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะแปรผกผันกับค่าอัตราส่วนอาร์มีซีโอคือต่อฟอสฟอรัส คือชุดการทดลองที่ 1 มีค่านี้มากที่สุดเนื่องจากในชุดการทดลองที่ 1 มีกลุ่มจุลชีพที่เป็นพีเอโอมากที่สุด และในการหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะนี้จะขึ้นกับลักษณะของจุลชีพเท่านั้น ทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด รวมทั้งในชุดการทดลองนี้มีเซลล์น้อย ซึ่งในการหา อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะจะต้องหาต่อมวลด้วย ทำให้ได้ค่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะสูงที่สุด

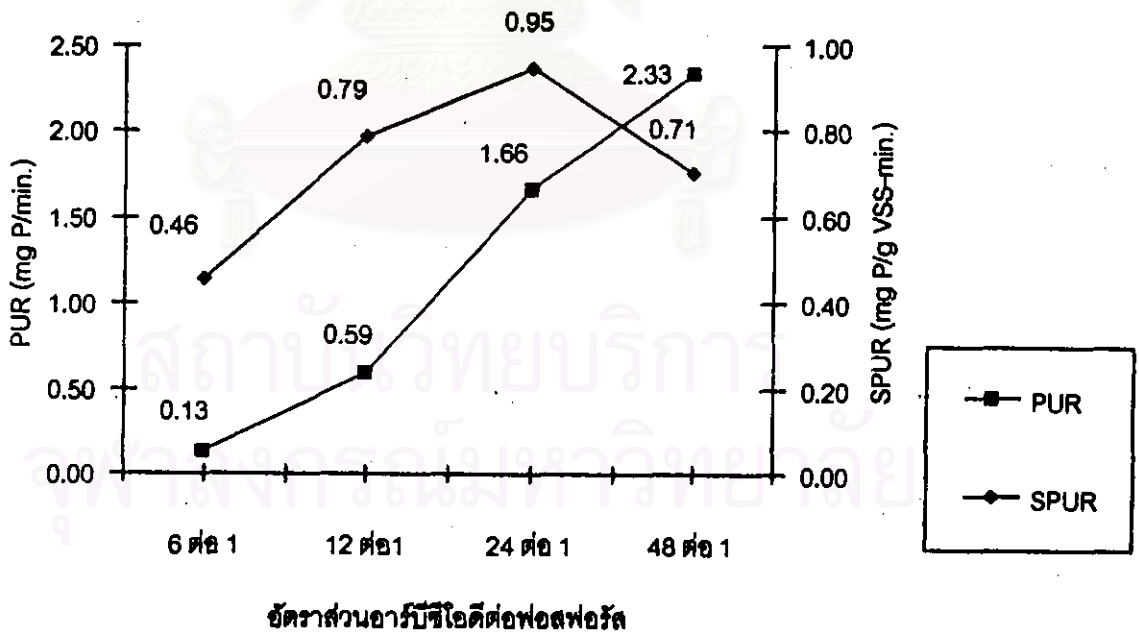
สำหรับผลการทดลองการหาค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็นดังนี้ 0.46, 0.79, 0.95 และ 0.71 คมลำดับ และค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจะได้ค่า 0.13, 0.59, 1.66 และ 2.33 คมลำดับ ดังรูปที่ 4.35

ตารางที่ 4.10 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองต่างๆ

ชุดการทดลองที่	อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส (มก.ฟอสฟอรัส/นาท)	อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก.ฟอสฟอรัส/ก.MLVSS-นาท)
1(6:1/15+0)	0.30	1.08
2(12:1/15+0)	0.74	0.96
3(24:1/15+0)	1.09	0.62
4(48:1/15+0)	1.60	0.50



รูปที่ 4.34 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดควบคุม



รูปที่ 4.35 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดควบคุม

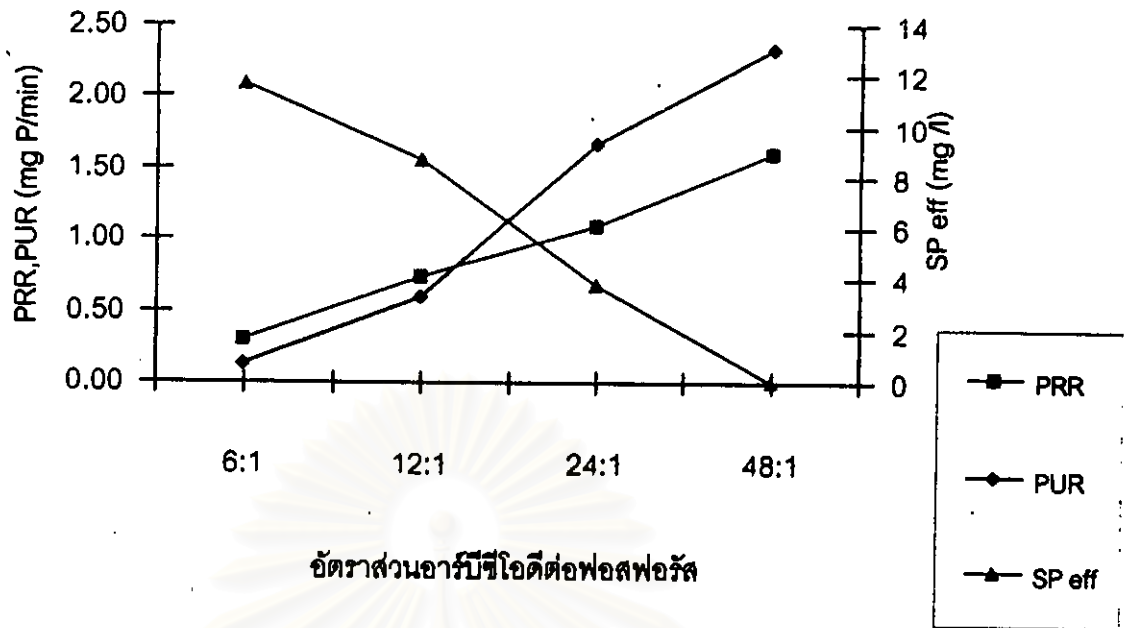
สำหรับอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะพบว่าไม่เป็นเช่นเดียวกับอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ โดยจะแปรตามค่าอัตราส่วนอาร์บีซีโอคิต่อฟอสฟอรัส โดยชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนอาร์บีซีโอคิต่อฟอสฟอรัสมากกว่าจะมีค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะมากกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการทดลองหาค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะนั้นจะทำภายหลังขึ้นคอนแอนแอโรบิก ซึ่งแบกที่เรียได้จับใช้สับสเตรคไปสร้างเป็นพีเอชเอแล้ว โดยในชุดการทดลองที่มีอาหารที่เคิมเข้าไปมากกว่าทำให้สร้างเป็นพีเอชเอได้มากกว่า จึงสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสคอนที่หาค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะได้มากกว่า สำหรับค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 4 อาจมีความผิดพลาดในขึ้นคอนการวิเคราะห์หรือการเลือกช่วงกราฟที่จะหาเป็นค่าเริ่มต้น ทำให้ได้ค่าที่ต่ำกว่าของชุดการทดลองที่ 3

อย่างไรก็ตามในการทดลองหาค่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ จะเป็นค่าตอนเวลาเริ่มต้นเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้เป็นคว้งชี้สภาพของระบบได้มากนัก

ตารางที่ 4.11 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองต่างๆ

ชุดการทดลองที่	อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส (มก.ฟอสฟอรัส/นาท)	อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก.ฟอสฟอรัส/ก.MLVSS-นาท)
1(6:1/15+0)	0.13	0.46
2(12:1/15+0)	0.59	0.79
3(24:1/15+0)	1.66	0.95
4(48:1/15+0)	2.33	0.71

สำหรับรูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสกับค่าฟอสฟอรัสละลายในน้ำออก โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อมีอัตราส่วนอาร์บีซีโอคิต่อฟอสฟอรัสในน้ำเข้ามากขึ้น จะมีอัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และฟอสฟอรัสในน้ำออกมีค่าลดลง โดยต้องมีการจับใช้ฟอสฟอรัสมากกว่าการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจึงจะทำให้มีการกำจัดฟอสฟอรัสได้ ส่วนที่เห็นในรูปว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสมากกว่าการจับใช้ฟอสฟอรัส ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากค่าดังกล่าวมีหน่วยเป็นอัตราที่คิดต่อนาท ซึ่งหาได้จากการเลือกความชันเริ่มต้นของกราฟที่อาจมีข้อผิดพลาดได้ ดังนั้นหากต้องการบอกระสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสควรใช้ในรูปแบบของปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยและจับใช้จะดีกว่า



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสของหูดควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย