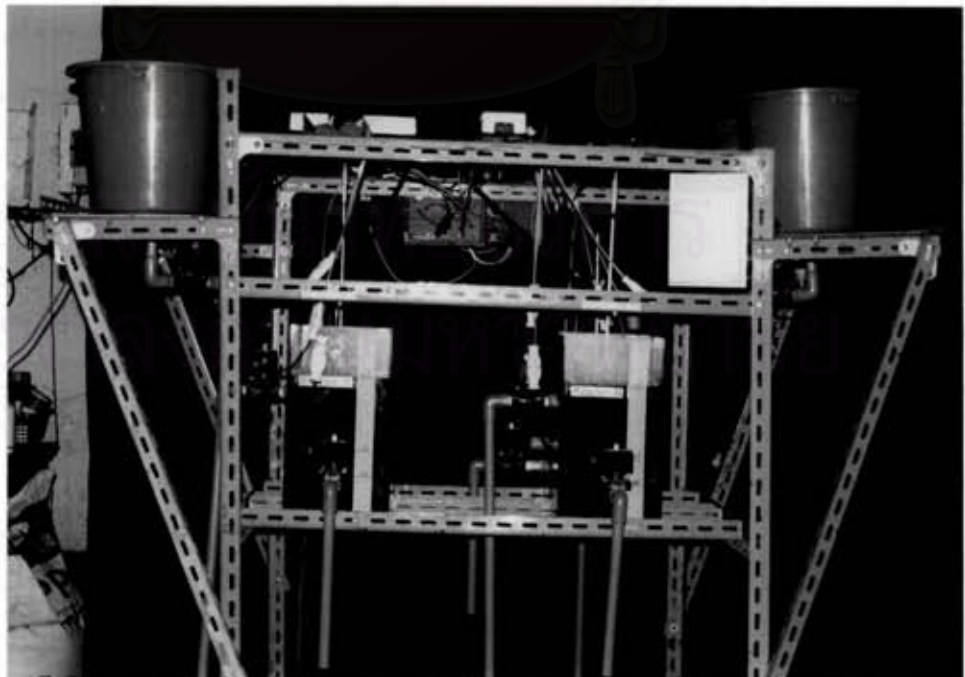


บทที่ 4

ผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดดี สารคาร์บอนอินทรีย์ และฟอสฟอรัส โคไลซ์กระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก ซึ่งมีและไม่มีอาหารที่ส่งเสริมกระบวนการอีปีอาร์ และเพื่อเปรียบเทียบผลการกำจัดดีรีแอกทีฟของ PAOs และ GAOs ว่ามีความสามารถในการกำจัดดีแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งผลการวิจัยที่ได้นี้จะนำมาปรับปรุงและพัฒนาในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับน้ำเสียชุมชนต่อไป โดยการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองเป็นดังภาพที่ 4.1 โคไลซ์ในการทดลองนี้ใช้ NB+NaAc เป็นอาหารที่ส่งเสริมกระบวนการอีปีอาร์หรือส่งเสริมการโคไลซ์ของ PAOs นั้นเอง โดยแปรผันความเข้มข้นในรูปซีไอซีที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 มก./ล. และใช้กลูโคสซึ่งเป็นสารอาหารที่ส่งเสริมการโคไลซ์ของ GAOs ที่ 500 มก./ล.ซีไอซี เช่นกัน เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ โคไลซ์ดี Remazol Black B(ดีรีแอกทีฟชนิดโคไลซ์)ที่ 10 มก./ล. ตลอดจนการทดลอง นอกจากนี้ยังมีการแปรผันช่วงเวลาแอนแอโรบิก เพื่อศึกษาถึงผลที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดดี และเมื่อแต่ละชุดทดลองเข้าสู่สถานะคงตัว ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยเป็นเวลา 5 วัน



ภาพที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

ในการวิจัยนี้ได้เริ่มการทดลองตั้งแต่ต้นเดือนมกราคม 2541 และสิ้นสุดการทดลองในเดือนกันยายนปีเดียวกัน รวมระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 9 เดือน โดยในการทดลอง 2 จุดแรก (จุดทดลองNB+NaAcที่ 500+0 และ 350+150) มีการใช้เวลาในการทดลองนานที่สุด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงการเดินระบบ โดยใน 39 วันแรกของการทดลองมีการเดินระบบแบบแอนเอโรบิก-แอโรบิก-แอน็อกซิก และจมตัว ซึ่งใช้เวลาแต่ละขั้นตอนนี้เท่ากับ 16, 5, 2 และ 1 ชม. ตามลำดับ แต่เห็นว่าช่วงเวลาแอน็อกซิกสุดท้ายไม่น่าเกิดประโยชน์ในการกำจัดไนโตรเจนมากนัก เนื่องจากสารคาร์บอนอินทรีย์ในช่วงนั้นถูกกำจัดหมดแล้ว การเกิดปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันจึงเป็นแบบใช้แหล่งคาร์บอนจากภายในเซลล์(เอนโดจีนัส) ซึ่งมีอัตราการกำจัดไนเตรตช้า จึงตัดขั้นตอนนี้แอน็อกซิกนี้ออกแล้วเดินระบบเป็นแอนเอโรบิก-แอโรบิก และจมตัว ใช้เวลาแต่ละขั้นตอนนี้เท่ากับ 18, 5 และ 1 ชม. ตามลำดับ ต่อจากนั้นจึงรอผลช่วงสถานะคงตัวอีกทีหนึ่ง ส่วนในการทดลองชุดอื่นๆ ใช้เวลาการเดินระบบสั้นลง เนื่องจากไม่มีกำรเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานของระบบและมีความชำนาญในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆมากขึ้น โดยตารางแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

จุดทดลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
NB+NaAc = 500+0	←————→								
NB+NaAc = 350+150	←————→								
NB+NaAc = 250+250						←————→			
NB+NaAc = 0+500						←————→			
G1								←————→	
G2								←————→	
G3								←————→	

4.1 ผลการทดลองโดยทั่วไป

ผลการทดลองได้แสดงค่าเฉลี่ยของควมแปรต่างๆ ในช่วงสถานะคงตัวของแต่ละชุดทดลอง โดยดูจากพารามิเตอร์ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.2 – 4.8 มีรายละเอียดพารามิเตอร์ทั่วไปดังนี้

4.1.1 อุณหภูมิ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองในช่วงเดือนมกราคมถึงกันยายน 2541 ซึ่งผลของอุณหภูมิจะแปรผันตามฤดูกาลหรืออากาศภายนอกถึงปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิน้ำเสียเข้าระบบในช่วงสถานะคงตัวแปรผันอยู่ในช่วง 27.5 – 31.4 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.1 และจากรูปนี้เห็นได้ว่าอุณหภูมิในถังปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 27.5 – 30.7 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานทั้งปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน(Wild et al., 1971) ดีไนทริฟิเคชัน(US.EPA., 1975) และการกำจัดฟอสฟอรัส(Mamais and Jenkins, 1992) ดังนั้นอุณหภูมิจึงไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบแต่อย่างใด

4.1.2 ออกซิเจนละลาย

ค่าออกซิเจนละลายเป็นควมบอกริมาณของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งแสดงถึงสภาวะการทำงานของระบบว่าอยู่ในสภาวะแอนแอโรบิกหรือแอโรบิก ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 จากรูปค่าออกซิเจนละลายช่วงปลายแอนแอโรบิกในช่วงสถานะคงตัวอยู่ระหว่าง 0.04 – 0.05 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถวัดได้ โดยเห็นว่าค่าออกซิเจนในช่วงปลายแอนแอโรบิกนี้มีค่าน้อยกว่า 0.2 มก./ล. จึงไม่ส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชัน(Lie and Welender, 1994) ส่วนค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยช่วงปลายแอโรบิกในช่วงสถานะคงตัวมีค่าอยู่ระหว่าง 5.29 – 6.14 มก./ล. ซึ่งสูงเพียงพอสำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน แม้ว่าค่าดีไอในช่วงปลายแอโรบิกนี้จะสูง ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อช่วงเวลามาแอนแอโรบิกในวัฏจักรถัดไป เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยภายในเวลา 30 นาที ค่าออกซิเจนละลายจะตกลงมาอยู่ระหว่าง 0.02 – 0.07 มก./ล. ดังโพรไฟล์รูปที่ 4.3 ที่แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแอนแอโรบิกนี้ค่าออกซิเจนละลายน้อยกว่า 0.2 มก./ล. ทุกชุดทดลอง แล้วค่าออกซิเจนละลายนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมอากาศในช่วงแอโรบิก และจากโพรไฟล์เห็นได้ว่า ค่าออกซิเจนละลายในน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.38 – 2.51 มก./ล. ซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำในงานจริง

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุดNB+NaAC = 500+0
(N = 70 มก./ก., P = 15 มก./ก. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 18/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ t = 0	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.4	-	30.5	30.7	30.8
ดีไอ (มก./ก.)	-	-	0.05	5.29	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-241	130	-
พีเอช	7.5	-	7.4	8.0	8.1
สภาพค่าง (มก./ก. CaCO ₃)	503	479	659	428	431
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ก.)	-	-	-	1589	-
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ก.)	-	-	-	1364	-
เอ็มแอลวีเอสเอส / เอ็มแอลเอสเอส (f)	-	-	-	0.86	-
เอสวี 30 (มก./ก.)	-	-	-	100	-
เอสวี ไอ (มก./ก.)	-	-	-	63	-
เอสเอส (มก./ก.)	-	-	-	-	18
ซีไอดีกรอง (มก./ก.)	542**	376	45	46	45
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ก.)	72.3**	48.8	34.6	1.9	1.7
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ก.)	14.9**	10.0	44.2	0.2	0.1
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)	-	-	-	7.0	-
ซี (หน่วย SU)	47.2	-	13.8	12.7	12.6
(หน่วย ADMI)	804	-	222	194	187

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ :

- t = 0 หมายถึง ผลจากการคำนวณโดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถึง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสาร
ในน้ำที่จะเติมเข้าถึง 8 ลิตร แล้วหารด้วยปริมาตรทั้งหมดคือ 12 ลิตร

- ทีเคเอ็นน้ำเข้าสูงกว่าชุดทดลองอื่น เนื่องจากเป็นทีเคเอ็นที่มาจากกาใช้นิวเทรียนคัมบรอสอย่าง
เคียวที่ 500 มก./ก.ซีไอดี

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุดNB+NaAC = 350+150
(N = 50 มก./ถ., P = 15 มก./ถ. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 18/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ t = 0	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.3	-	30.5	30.6	30.7
ดีโอ (มก./ถ.)	-	-	0.04	5.75	-
ไออาร์ที (มิลลิวัตต์)	-	-	-221	134	-
พีเอช	7.5	-	7.8	8.4	8.4
สภาพค่าง (มก./ถ. CaCO ₃)	604	606	731	607	609
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1562	-
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1326	-
เอ็มแอลวีเอสเอส / เอ็มแอลเอสเอส (f)	-	-	-	0.85	-
เอสวี 30 (มก./ถ.)	-	-	-	108	-
เอสวีไอ (มก./ถ.)	-	-	-	69	-
เอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	-	15
ซีไอคิรอง (มก./ถ.)	552**	380	34	30	37
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ถ.)	51.8**	35.2	21.8	2.0	1.9
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ถ.)	14.9**	9.9	39.7	0.1	0
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)	-	-	-	6.6	-
ซี (หน่วย SU)	46.7	-	13.8	13.3	13.2
(หน่วย ADMI)	801	-	231	215	213

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ : t=0 หมายถึง ผลจากการคำนวณโดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถึง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสารในน้ำที่จะเติมเข้าถึง 8 ลิตร แล้วหารด้วยปริมาตรทั้งหมดคือ 12 ลิตร

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุดNB+NaAC = 250+250
(N = 50 มก./ถ., P = 15 มก./ถ. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 18/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ $t = 0$	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.2	-	28.9	29.4	29.5
ดีไอ (มก./ถ.)	-	-	0.04	5.88	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-257	51	-
พีเอช	7.4	-	7.7	8.4	8.4
สภาพค่าง (มก./ถ. CaCO_3)	610	600	730	582	580
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1644	-
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1432	-
เอ็มแอลวีเอสเอส / เอ็มแอลเอสเอส (f)	-	-	-	0.87	-
เอสวี 30 (มก./ถ.)	-	-	-	110	-
เอสวีไอ (มก./ถ.)	-	-	-	67	-
เอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	-	15
ซีไอเคีกรอง (มก./ถ.)	499**	339	21	17	20
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ถ.)	49.6**	33.6	23.2	1.7	1.6
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ถ.)	15**	11.1	28.6	3.3	3.2
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)	-	-	-	4.6	-
ลี (หน่วย SU)	45.3	-	12.9	12.7	12.8
(หน่วย ADMI)	772	-	219	208	208

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ : $t=0$ หมายถึง ผลจากการคำนวณโดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถึง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสารในน้ำที่จะเติมเข้าถึง 8 ลิตร แล้วหารด้วยปริมาตรทั้งหมดคือ 12 ลิตร

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุดNB+NaAC = 0+500
(N = 50 มก./ถ., P = 15 มก./ถ. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 18/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ t = 0	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.3	-	28.6	29.2	29.5
ดีไอ (มก./ถ.)	-	-	0.04	6.04	-
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-	-	-296	33	-
พีเอช	7.5	-	8.5	8.5	8.5
สภาพค่าง (มก./ถ. CaCO ₃)	762	824	950	946	947
เอ็มแอตเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	877	-
เอ็มแอตวีเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	698	-
เอ็มแอตวีเอสเอส / เอ็มแอตเอสเอส (f)	-	-	-	0.80	-
เอสวี 30 (มก./ถ.)	-	-	-	110	-
เอสวีไอ (มก./ถ.)	-	-	-	125	-
เอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	-	57
ซีไอคิกรอง (มก./ถ.)	492**	336	225	24	24
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ถ.)	49.8**	42.7	40.6	28.7	28.6
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ถ.)	14.8**	12.5	11.1	8.2	8.0
ฟอสฟอรัสในเซดจ์ (%)	-	-	-	4.0	-
สี (หน่วย SU)	44.9	-	14.3	13.8	13.2
(หน่วย ADMI)	775	-	252	243	240

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ : t = 0 หมายถึง ผลจากการคำนวณโดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถึง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสารในน้ำที่จะเติมเข้าถึง 8 ลิตร แล้วหารด้วยปริมาตรทั้งหมดคือ 12 ลิตร

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุด G1

(N = 50 มก./ถ., P = 15 มก./ถ. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 18/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ $t = 0$	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	-	27.5	28.0	28.4
ดีไอ (มก./ถ.)	-	-	0.05	6.14	-
ไออาร์พี (มิลลิวัตต์)	-	-	-306	118	-
พีเอช	7.4	-	7.4	8.4	8.4
สภาพด่าง (มก./ถ. CaCO_3)	444	435	594	423	416
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1300	-
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1110	-
เอ็มแอลวีเอสเอส / - เอ็มแอลเอสเอส (f)	-	-	-	0.85	-
เอสวี 30 (มล./ถ.)	-	-	-	96	-
เอสวีไอ (มล./ถ.)	-	-	-	74	-
เอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	-	21
ซีไอดีกรอง (มก./ถ.)	510**	346	54	19	18
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ถ.)	48.4**	33.6	30.1	3.2	3.6
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ถ.)	15.5**	12	25.4	5.0	5.0
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)	-	-	-	4.4	-
ดี (หน่วย SU)	45.9	-	17.0	15.2	14.8
(หน่วย ADMI)	778	-	291	266	263

* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ : $t = 0$ หมายถึง ผลจากการคำนวณ โดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถึง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสารในน้ำที่จะเติมเข้าถึง 8 ลิตร แล้วหารด้วยปริมาตรทั้งหมดคือ 12 ลิตร

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าน้ำหนักของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุด G2

(N = 25 มก./ถ., P = 5 มก./ถ. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 18/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ $t = 0$	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.1	-	27.5	28.1	28.4
ดีไอ (มก./ถ.)	-	-	0.04	6	-
ไออาร์พี (มิลลิวัตต์)	-	-	-286	88	-
ทีเอช	7.5	-	7.3	8.4	8.4
สภาพค่าง (มก./ถ. CaCO_3)	446	447	496	451	448
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1231	-
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	1104	-
เอ็มแอลวีเอสเอส / เอ็มแอลเอสเอส (f)	-	-	-	0.90	-
เอสวี 30 (มก./ถ.)	-	-	-	100	-
เอสวีไอ (มก./ถ.)	-	-	-	81	-
เอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	-	27
ซีไอเคีกรอง (มก./ถ.)	512**	348	27	21	21
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ถ.)	24.8**	17.3	3.0	2.4	2.3
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ถ.)	5.3**	3.6	5.7	0.1	0.1
ฟอสฟอรัสในเซลล์ (%)	-	-	-	2.6	-
ซี (หน่วย SU)	45.7	-	17.0	15.6	15.4
(หน่วย ADMI)	776	-	308	278	277

* ค่าน้ำหนักของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ: $t = 0$ หมายถึง ผลจากการคำนวณโดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถึง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสารในน้ำที่จะเติมเข้าถึง 8 ลิตร แล้วหารด้วยปริมาตรทั้งหมดคือ 12 ลิตร

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆในช่วงสถานะคงตัวของชุด G3

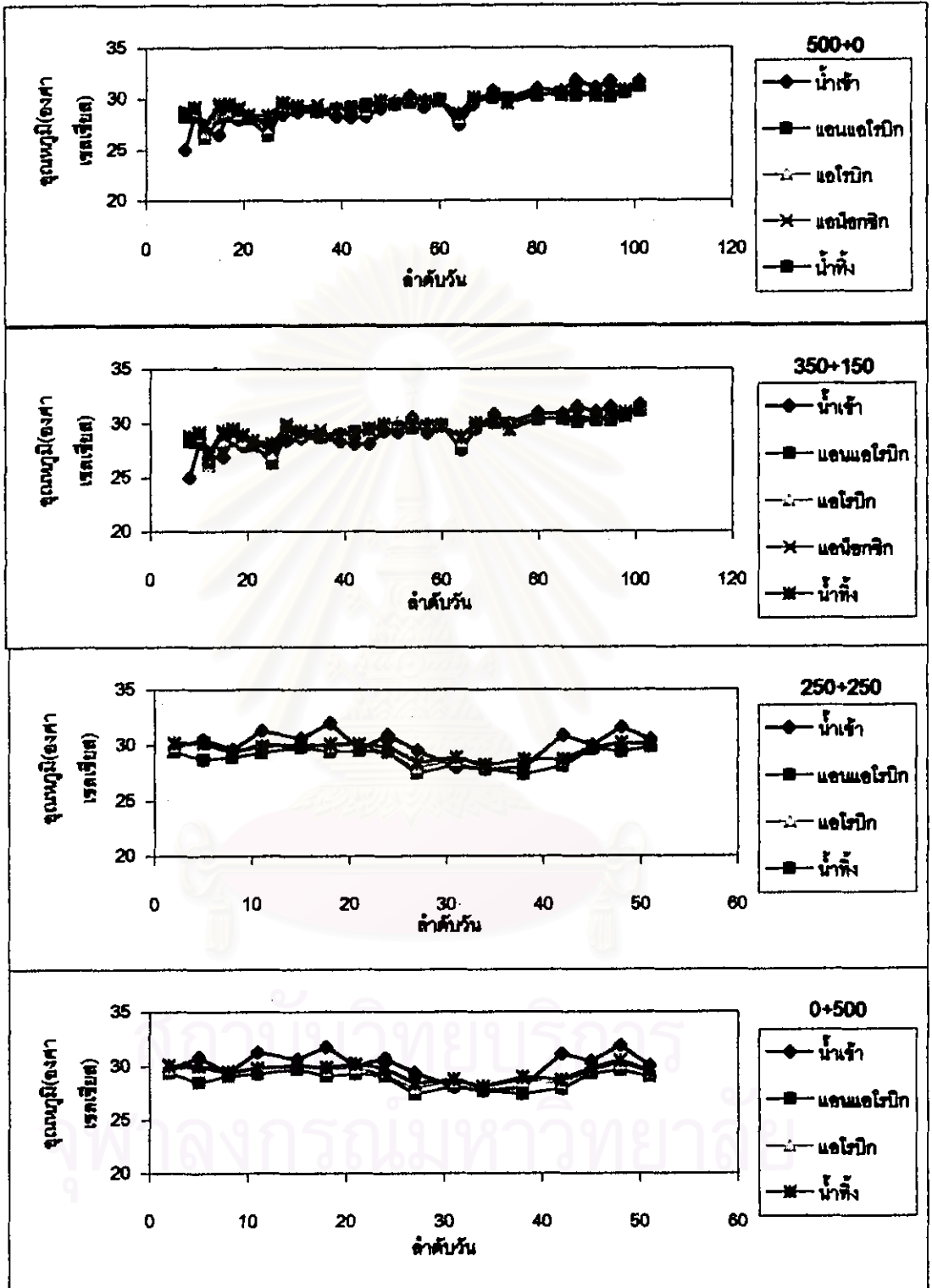
(N = 50 มก./ถ., P = 15 มก./ถ. และช่วงเวลาแอนแอโรบิก/แอโรบิก = 6/5)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	เมื่อ t = 0	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำออก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	-	28.6	27.5	27.9
ดีไอ (มก./ถ.)	-	-	0.05	6.13	-
ไออาร์พี (มิลลิวัตต์)	-	-	-232	139	-
พีเอช	7.4	-	7.2	8.2	8.2
สภาพค่าง (มก./ถ. CaCO ₃)	446	425	538	383	382
เอ็มแอลเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	2257	-
เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	2005	-
เอ็มแอลวีเอสเอส / เอ็มแอลเอสเอส (f)	-	-	-	0.89	-
เอสวี 30 (มล./ถ.)	-	-	-	96	-
เอสวีไอ (มล./ถ.)	-	-	-	43	-
เอสเอส (มก./ถ.)	-	-	-	-	12
ซีไอดีกรอง (มก./ถ.)	510**	345	19	19	14
ทีเคเอ็นกรอง (มก./ถ.)	48**	32.7	25.2	2.2	2.1
ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ถ.)	15.5**	13.5	24.9	9.4	9.5
ฟอสฟอรัสในเซดจ์ (%)	-	-	-	3.2	-
ซี (หน่วย SU)	45.8	-	18.6	16.7	16.9
(หน่วย ADMI)	778	-	368	318	319

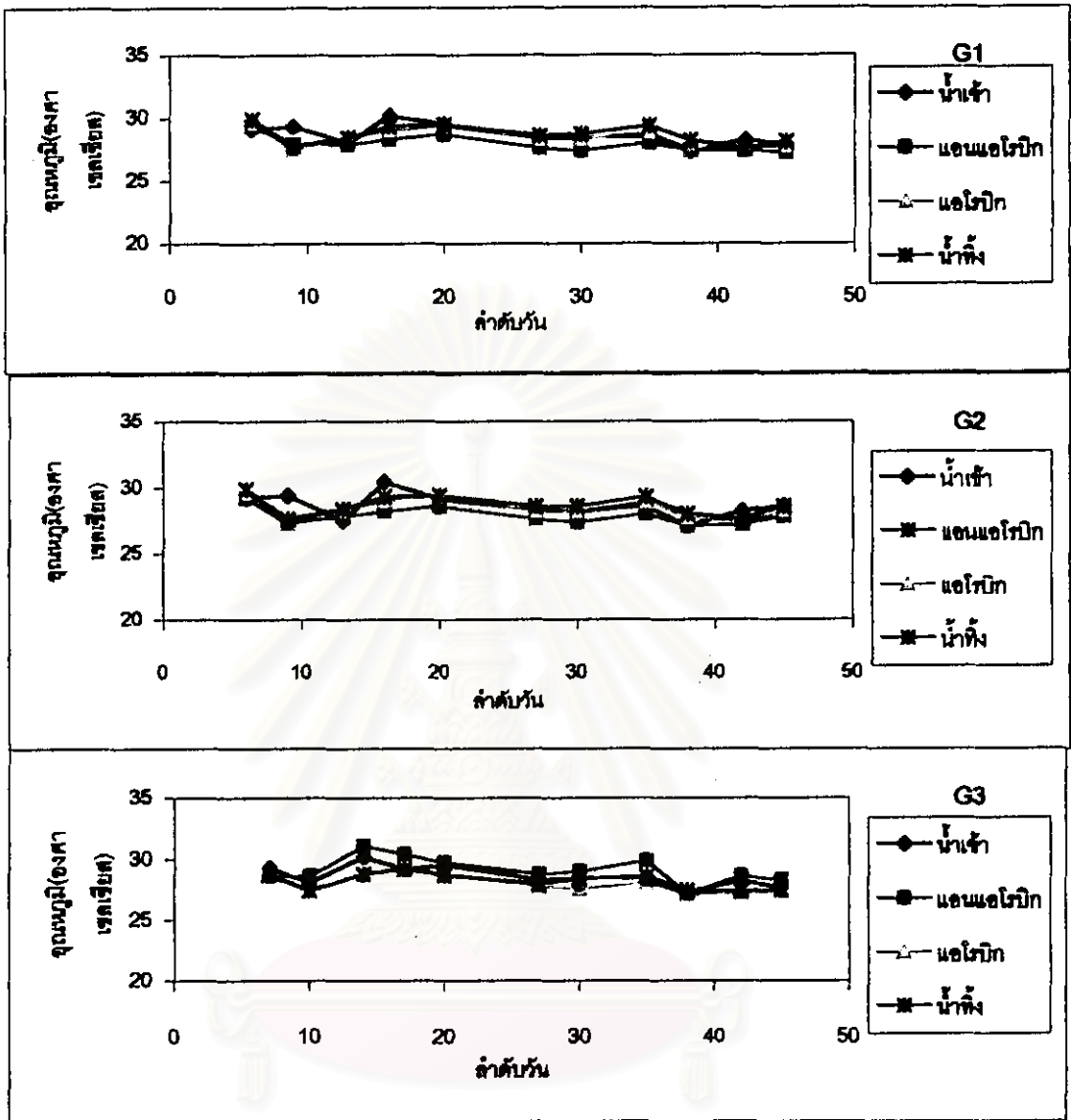
* ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 5 วัน ที่สถานะคงตัว

** ค่าตัวอย่างน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง(ค่าทั้งหมด)

หมายเหตุ: t=0 หมายถึง ผลจากการคำนวณโดยนำปริมาณสารที่มีในน้ำที่ค้างถัง 4 ลิตร รวมกับปริมาณสารในน้ำที่จะเติมเข้าถัง 8 ลิตร แต่อาหารด้วยปริมาณทั้งหมดคือ 12 ลิตร

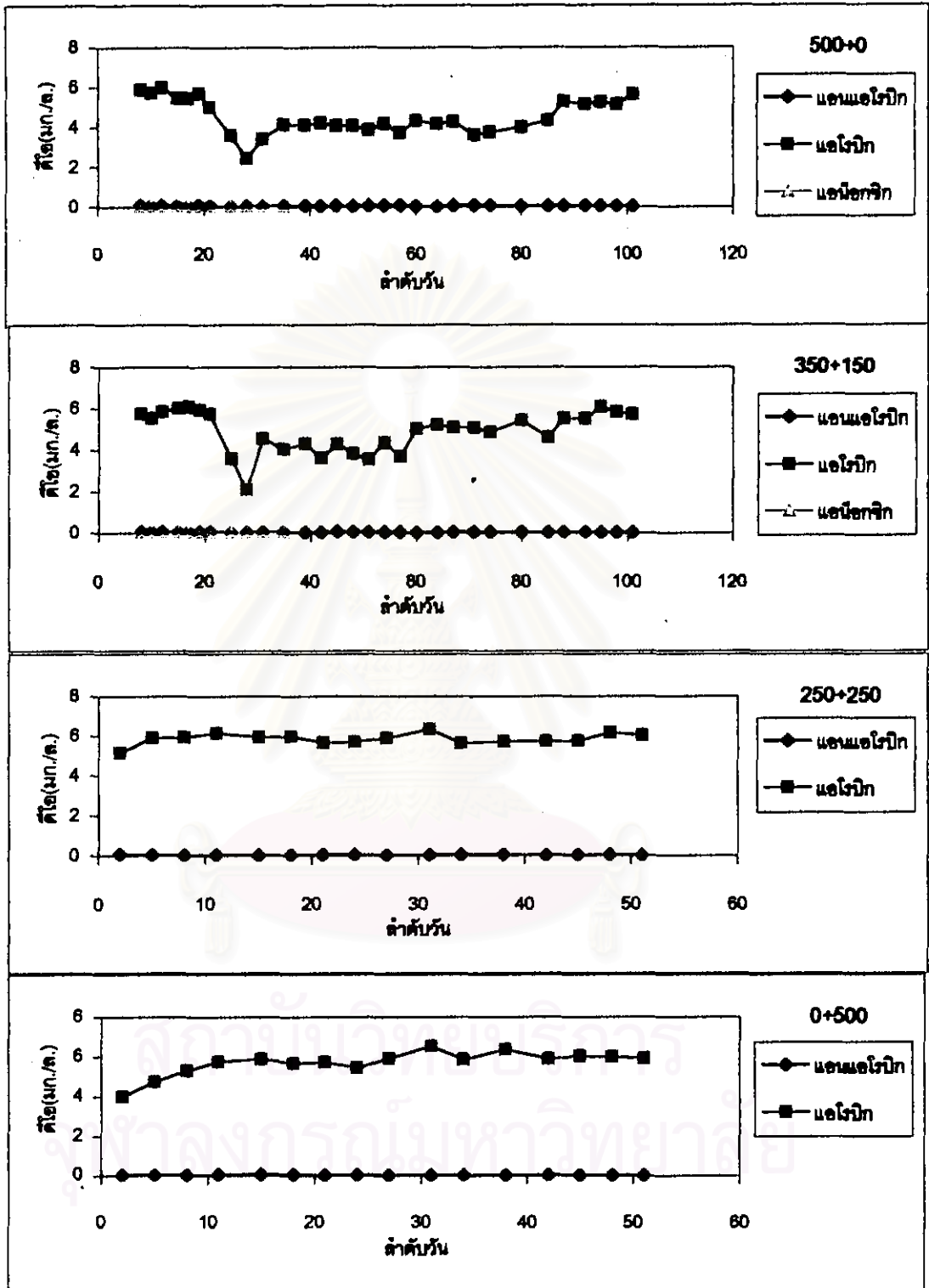


รูปที่ 4.1 จุดหนุมิในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง

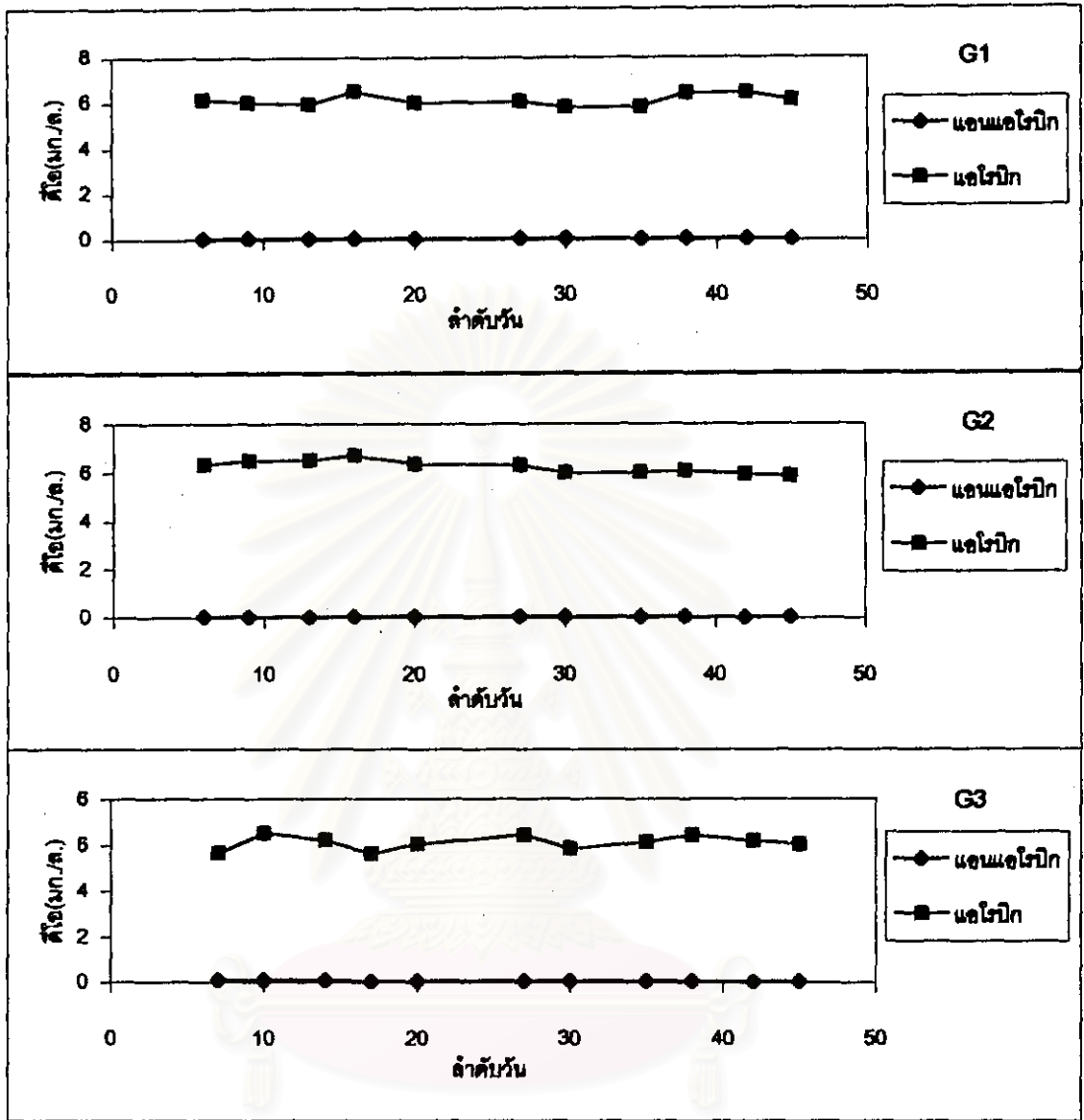


รูปที่ 4.1 อุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(คือ)

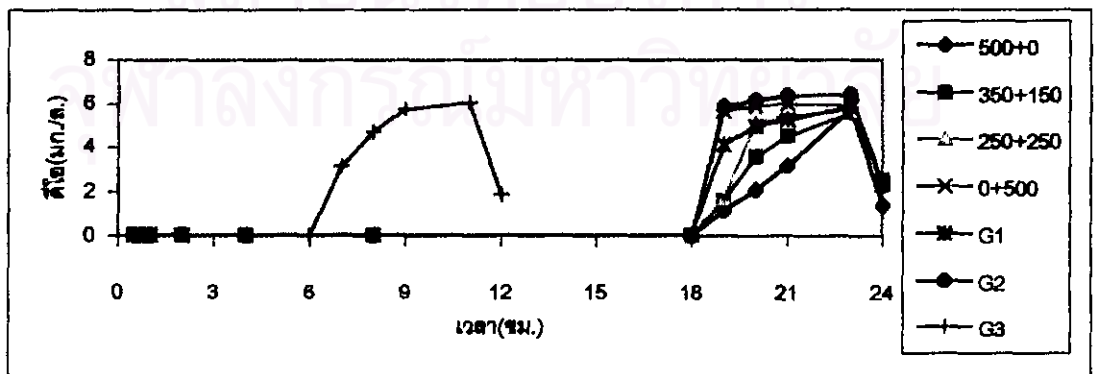
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ออกซิเจนละลายในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.2 ออกซิเจนละลายในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)



รูปที่ 4.3 โพรไฟล์ของออกซิเจนละลายในแต่ละชุดทดลอง

4.1.3 ไออาร์พี

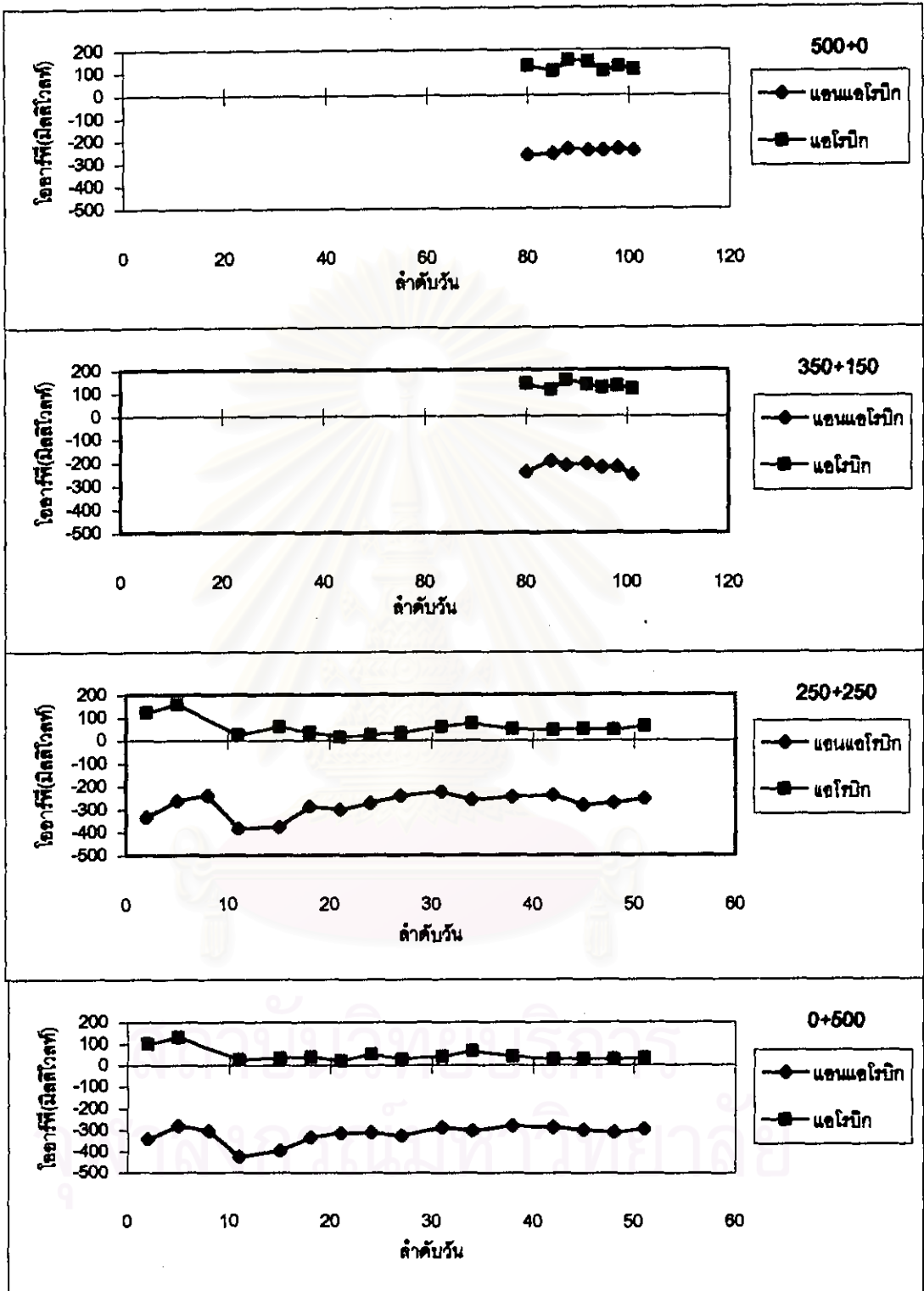
ค่าไออาร์พีเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้บอกถึงสภาวะการทำงานของระบบ จากรูปที่ 4.4 ที่สถานะคงตัว ค่าไออาร์พีในช่วงปลายแอนแอโรบิกมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง -306 ถึง -221 มิลลิโวลต์ ซึ่งแสดงว่าเป็นสภาวะแอนแอโรบิกจริง และช่วงแอโรบิกมีค่าไออาร์พีอยู่ในช่วง 33 ถึง 139 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ แต่ก็แสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะแอโรบิก โดยค่าไออาร์พีนี้เป็นค่าที่แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารรีดิวซ์กับสารให้อิเล็กตรอนในระบบเท่านั้น หรือแสดงถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าในระบบนั่นเอง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พีตามช่วงเวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5

4.1.4 พีเอช

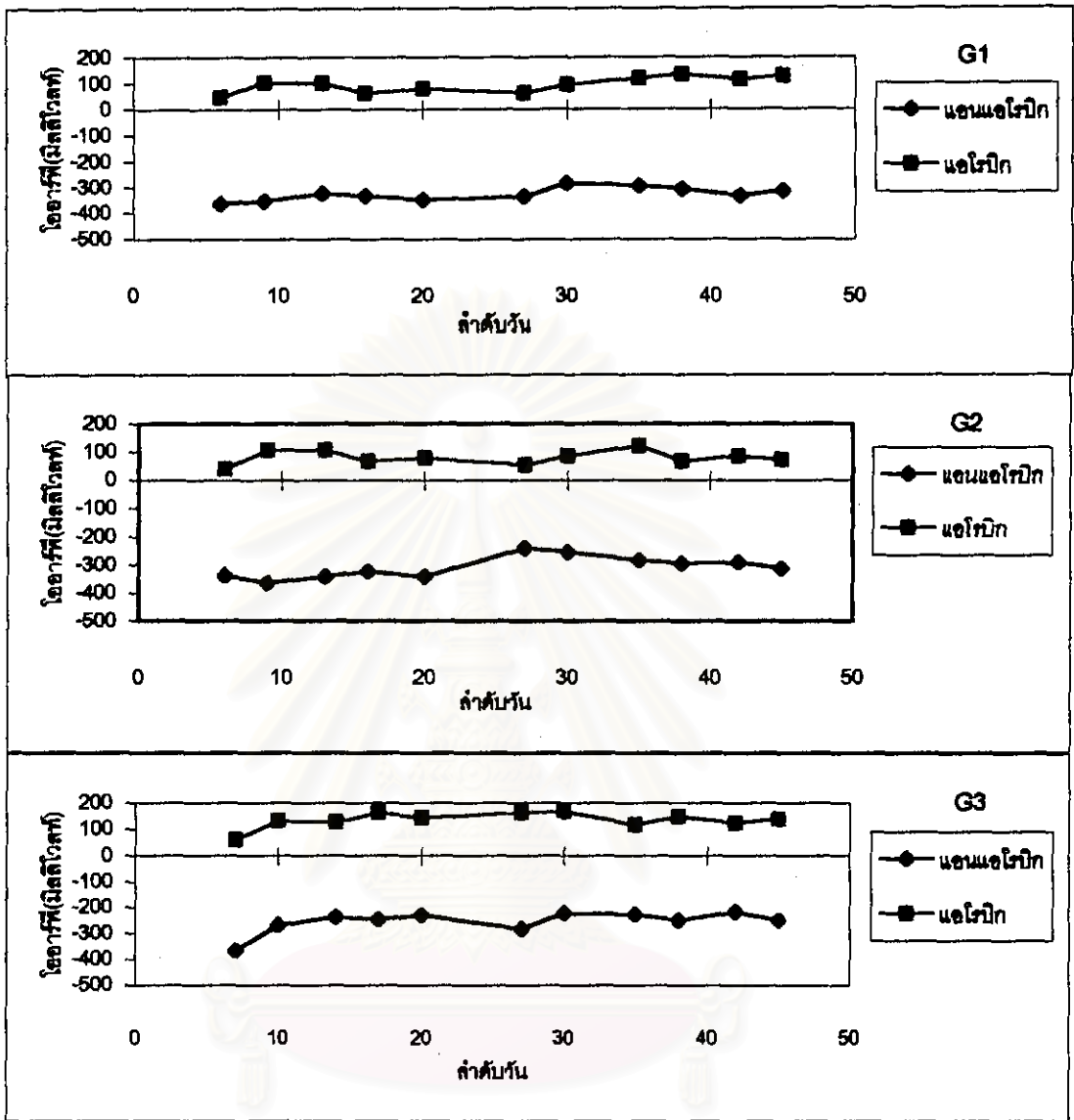
ค่าพีเอชสำหรับทุกชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 ในช่วงสถานะคงตัวนั้นพีเอชในระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.4 - 7.5 ใกล้เคียงกันทุกชุดทดลอง เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้มีการเติมบัฟเฟอร์ที่มากเกินไป โดยพีเอชน้ำเสียที่เข้าระบบนี้มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับกระบวนการคิโนทรีฟิเคชันซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 - 7.5 (Metcalf and Eddy, 1973 อ้างอิงโดย Benefield and Randall, 1980) หรืออยู่ระหว่าง 7 - 8 (Nommik, 1956 ; Wiljel and Delwiche, 1954 อ้างอิงโดย Randall, 1992) นอกจากนี้ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการกำจัดฟอสฟอรัสซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5 - 8 (Tracy and Flammino, 1985 อ้างอิงโดย Sedlak, 1991) และเมื่อน้ำเสียที่สังเคราะห์นี้ผ่านชั้นคอนแอนแอโรบิกชุดทดลองที่ใช้เกลือโคสทั้งหมดและชุด NB+NaAc ที่ 500+0 มีค่าพีเอชช่วงปลายแอนแอโรบิกคงเดิมหรือลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการหมักเปลี่ยนเป็นกรดระเหยบางส่วน ส่วนในชุดทดลองที่ใช้ NB+NaAc ที่ 350+150, 250+250 และ 0+500 พบว่า มีค่าพีเอชช่วงปลายแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 7.8, 7.7 และ 8.5 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นผลของโซเดียมอะซิเตตที่เติมลงไปเกิดการแตกตัวได้ดังนี้



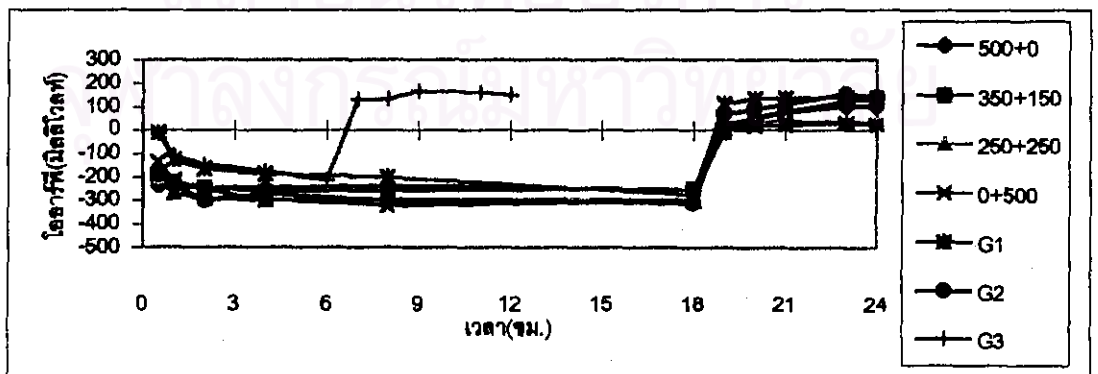
ดังนั้นเมื่อมีการใส่อะซิติกในชั้นคอนแอนแอโรบิกนี้ ก็ทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางด้านขวาเพื่อเข้าสู่สมดุล ทำให้มีไฮดรอกไซด์สูงขึ้น พีเอชจึงสูงขึ้นตามไปด้วยโดยเฉพาะในชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตตอย่างเฉยเป็นแหล่งคาร์บอนจะมีพีเอชสูงขึ้นถึง 8.5 ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อค่ากำจัด



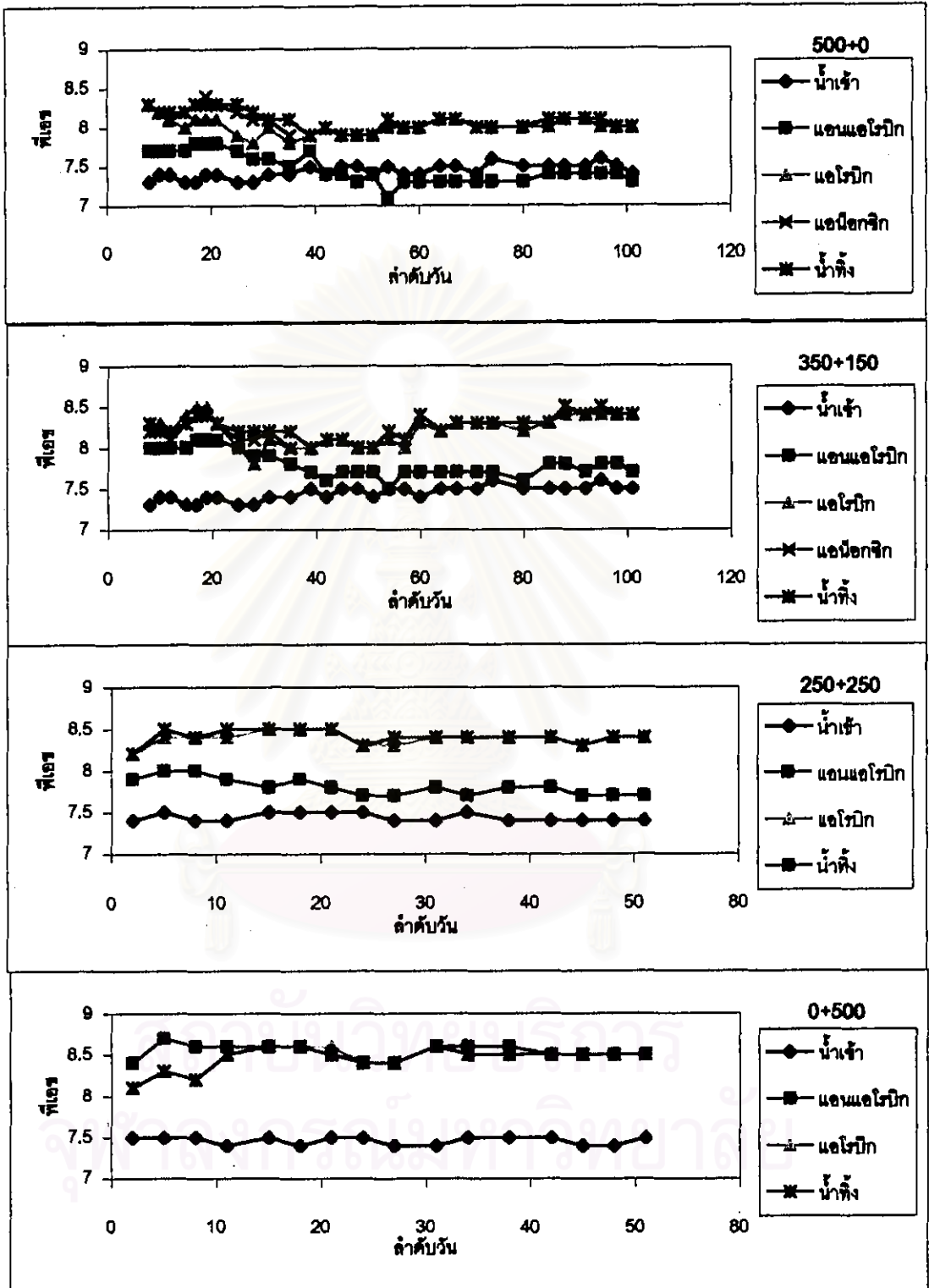
รูปที่ 4.4 ไออาร์พีในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง



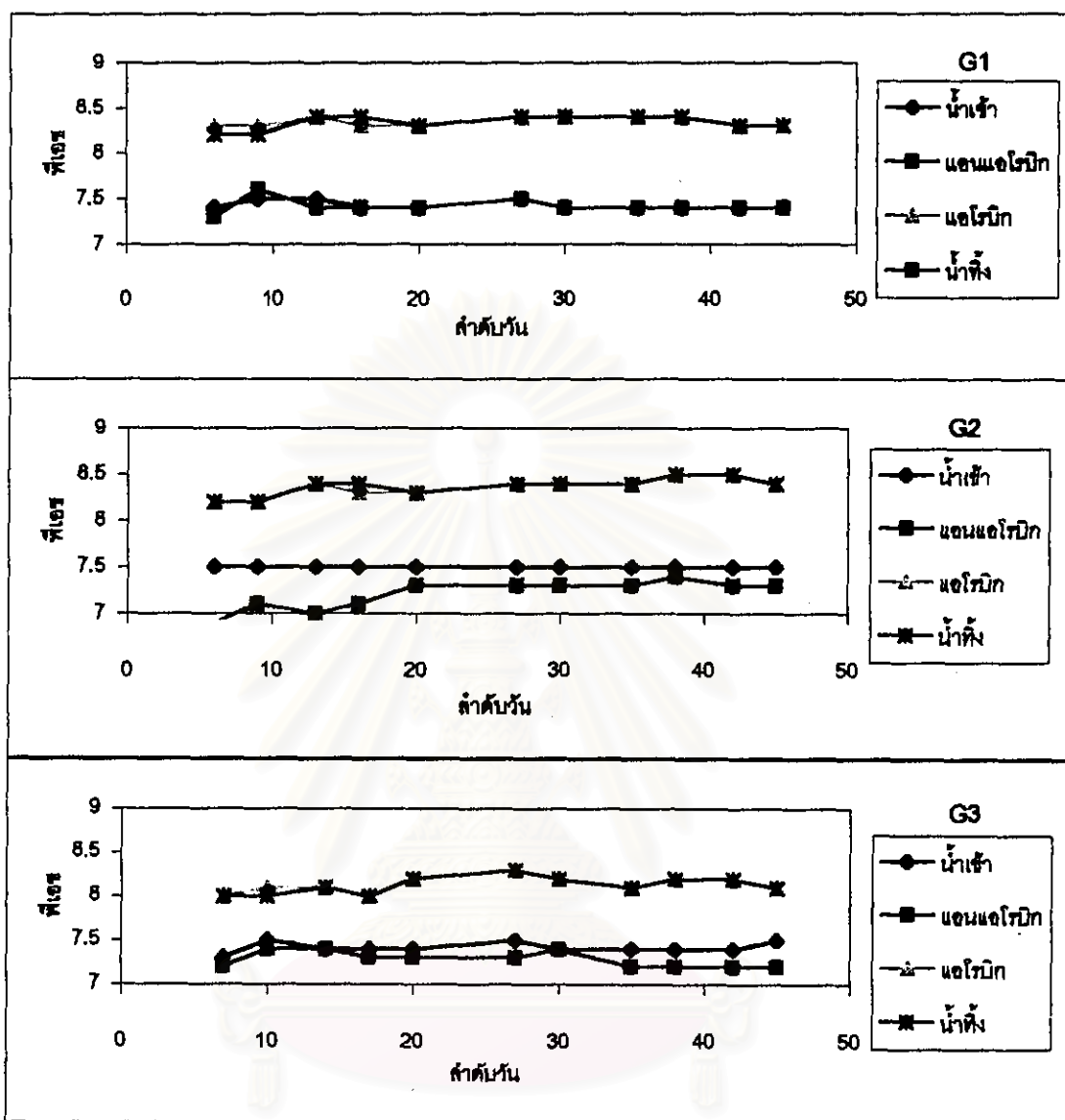
รูปที่ 4.4 โออาร์พีในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)



รูปที่ 4.5 โพรไฟล์โออาร์พีในแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.6 ฟิเธอร์ในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.6 พีเอชในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฟอสฟอรัส เนื่องจากในการส่งถ่ายอะซิเตตผ่านชั้นซลต์เพื่อนำไปสร้างพีเอชเอต้องใช้พลังงานมากขึ้น (Smolders et al., 1995) และที่พีเอช 8.5 นี้ก็ไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาเคมีในทรินิเคชันด้วย ส่วนค่าพีเอชที่ปลายชั้นคอนแอนโรบิกและน้ำทิ้งที่เป็นผลมาจากการทำงานของระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 8 - 8.5 เป็นค่าที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเกิดปฏิกิริยาในทรินิเคชัน (Wild et al., 1971)

4.1.5 สภาพค่าง

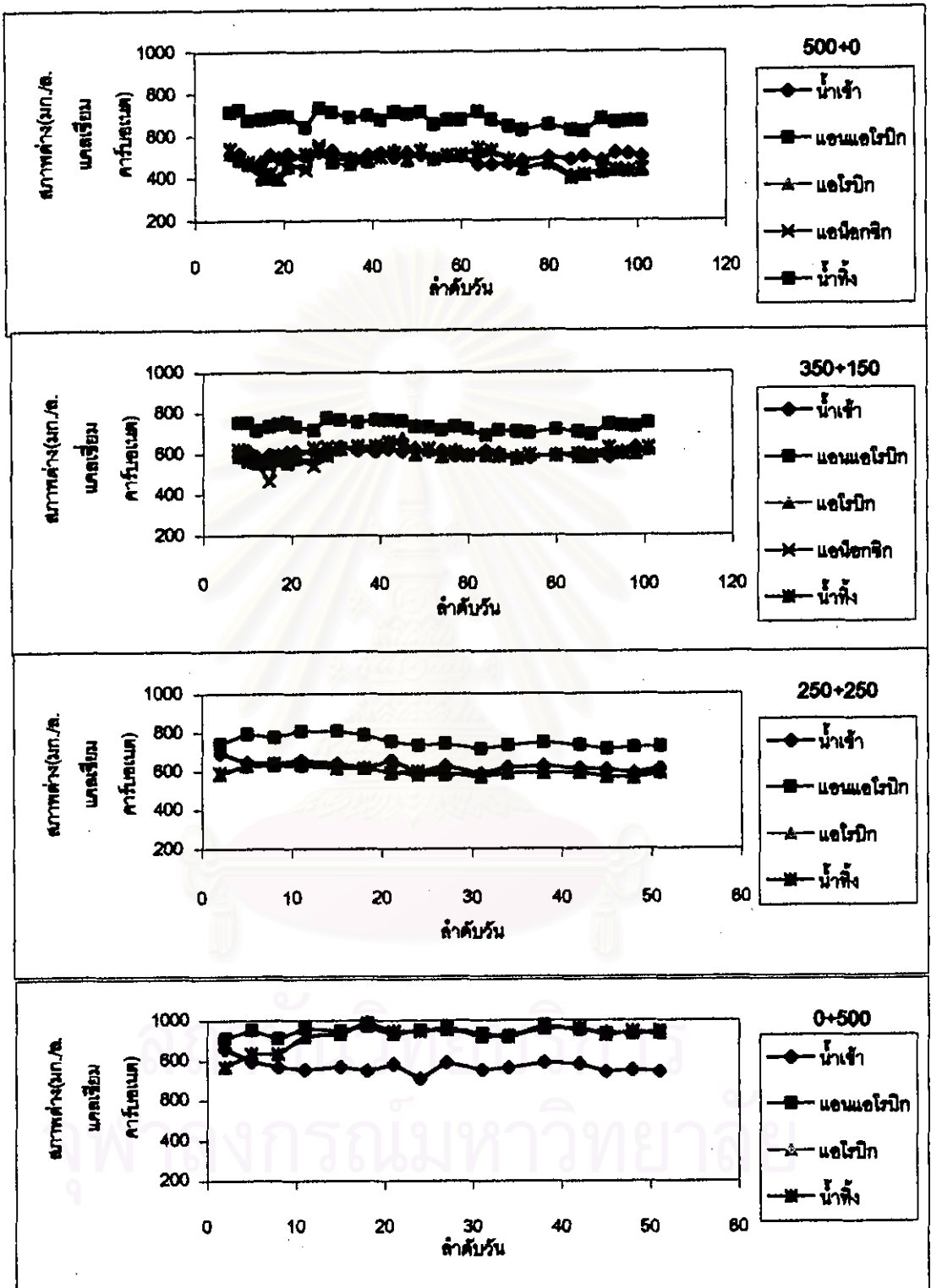
ในการวิจัยนี้จะมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำเสียที่เข้าระบบ เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบโดยจะเติมที่ปริมาณเท่ากันทุกชุดทดลอง ดังนั้นในชุดทดลองที่มีการเติมโซเดียมอะซิเตตที่เป็นสารทำให้เกิดสภาพค่างอีกชนิดหนึ่ง จะมีค่าสภาพค่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณโซเดียมอะซิเตตที่เติมลงไป โดยค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสภาพค่างในชั้นคอนค่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.7 เห็นได้ว่าสภาพค่างเมื่อผ่านชั้นคอนแอนโรบิกจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีในทรินิเคชัน (สร้างสภาพค่าง 3.57 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต ต่อการรีดิวซ์ 1 กรัมไนเตรด-ไนโตรเจน ; Sedlak, 1991) และค่าสภาพค่างนี้จะลดลงเมื่อผ่านชั้นคอนการเติมอากาศ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาในทรินิเคชัน (ใช้สภาพค่าง 7.14 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต ต่อการรีดิวซ์ 1 กรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ; Sedlak, 1991) ค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพค่างในชั้นคอนแอนโรบิกและแอโรบิกในช่วงสถานะคงตัว แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การสร้างและการใช้สภาพค่างในชั้นคอนแอนโรบิกและแอโรบิกช่วงสถานะคงตัว

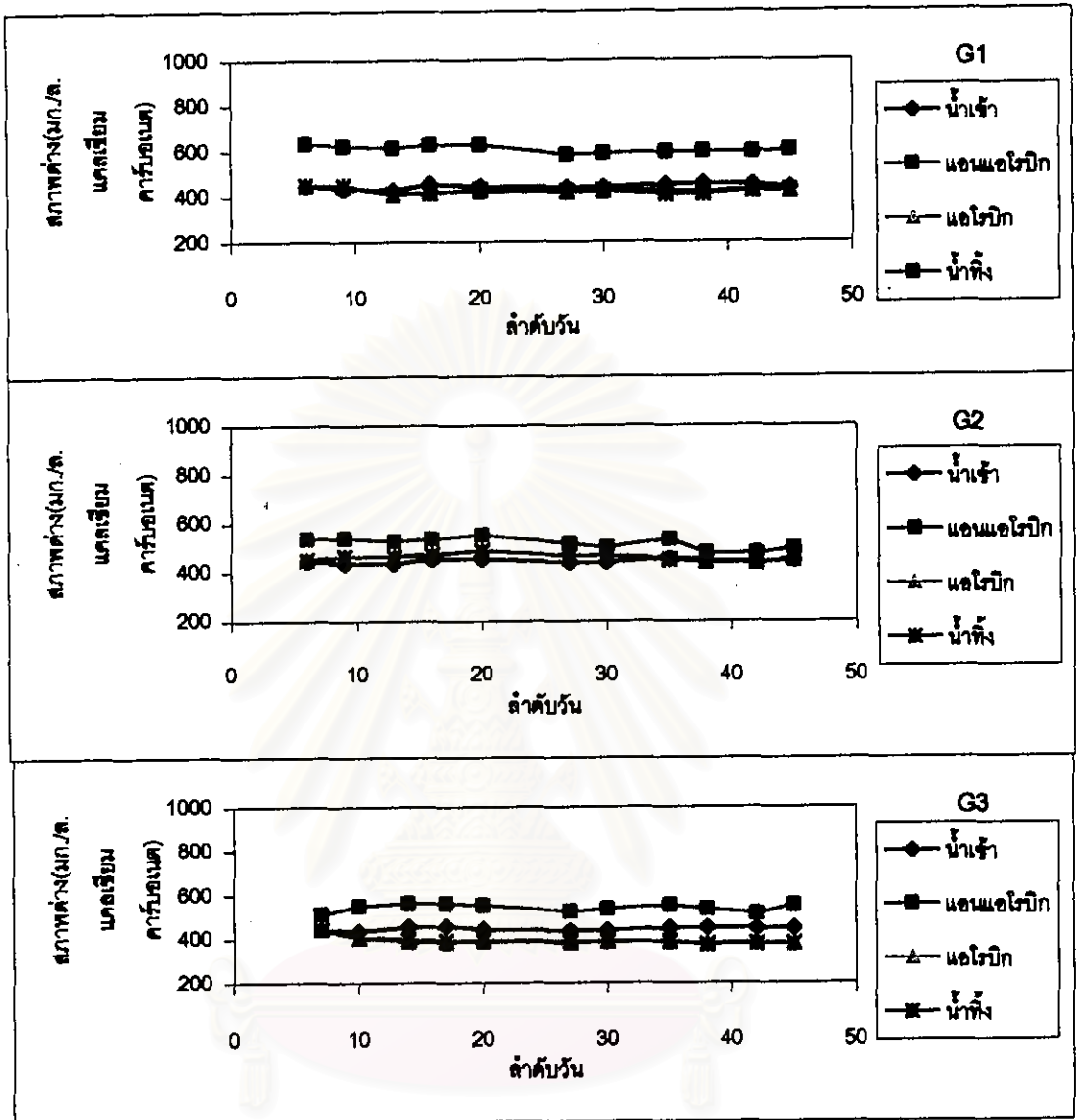
ช่วงเวลา	NB+NaAc				กฏโศก		
	500+0	350+150	250+250	0+500	G1	G2	G3
แอนแอโรบิก	+180	+125	+130	+126	+159	+49	+113
แอโรบิก	-231	-124	-148	-4	-171	-45	-151

+ สร้างสภาพค่าง, - ใช้สภาพค่าง (หน่วยเป็น มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)

จากตารางที่ 4.9 เห็นได้ว่า ในชุด NB+NaAc ที่ 500+0 มีการสร้างและการใช้สภาพค่างสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ เพราะในชุดทดลองนี้มีค่าไนโตรเจนในน้ำเข้ามากกว่าชุดทดลองอื่น ดังนั้นในการเกิดปฏิกิริยาเคมีในทรินิเคชันและในทรินิเคชัน จึงเกิดการสร้างและการใช้สภาพค่างมากขึ้น และ



รูปที่ 4.7 สภาพต่างช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง



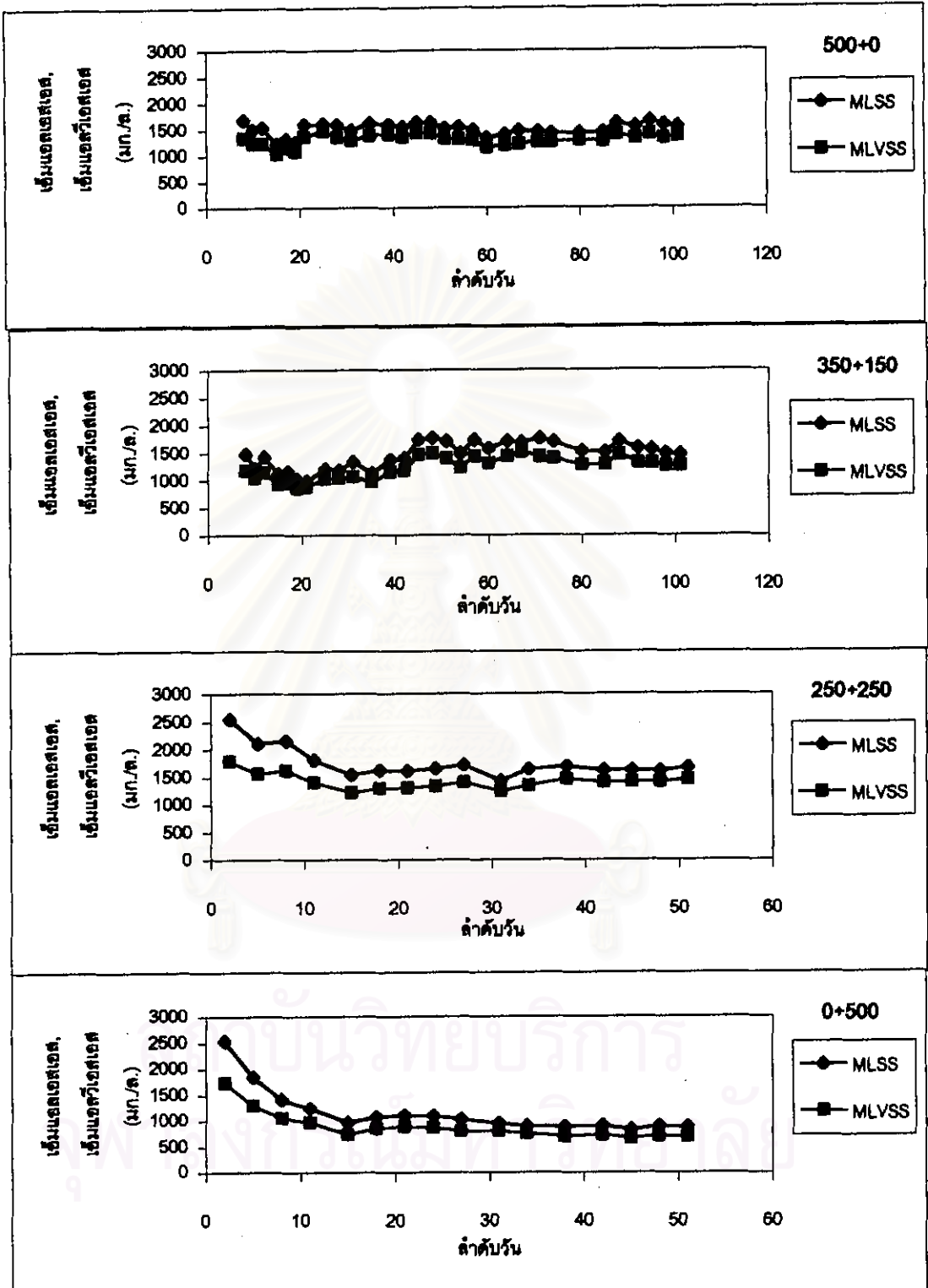
รูปที่ 4.7 สภาพต่างในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

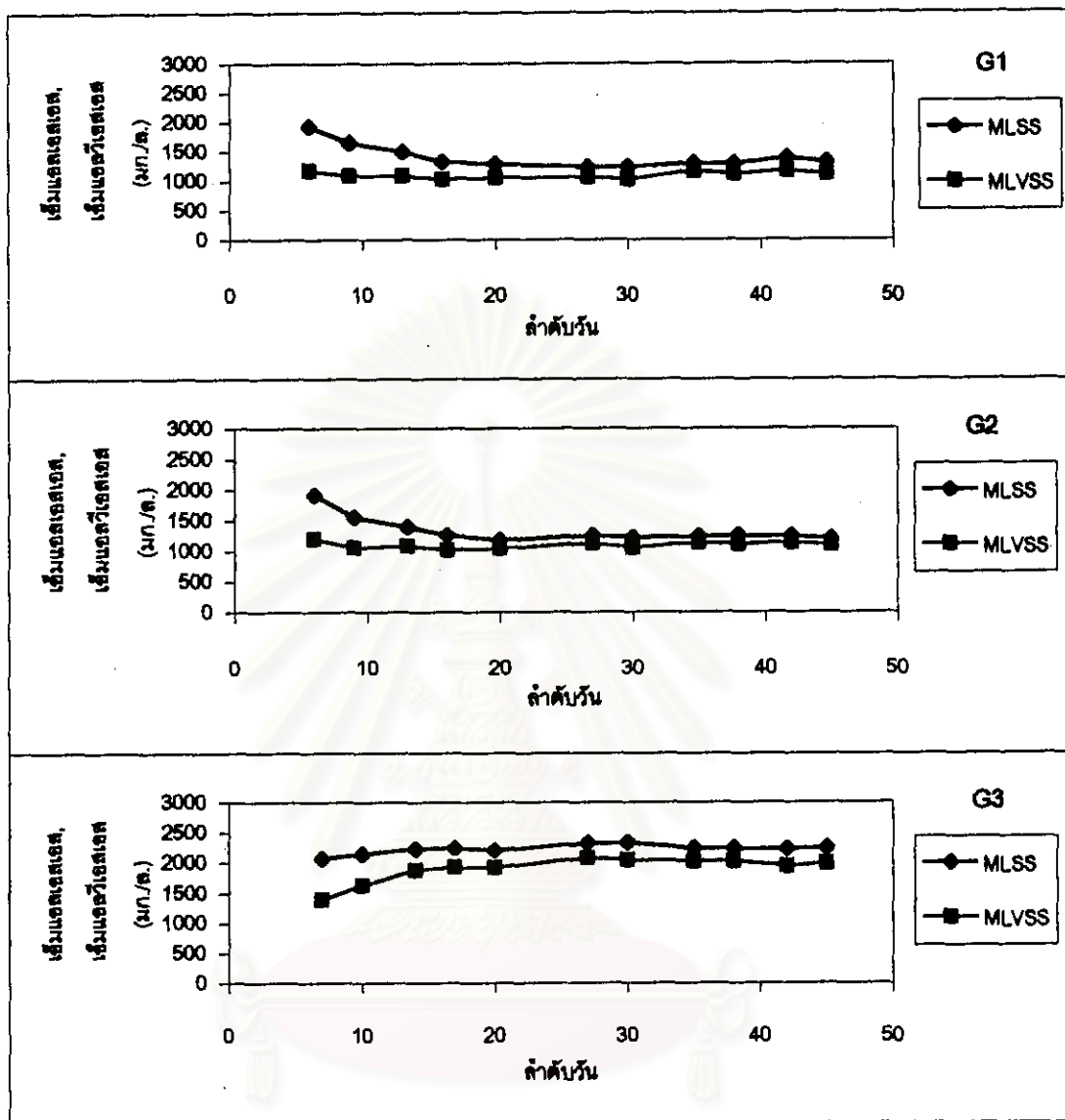
นิเวทรียนต์บรอร์นี้ย่อยง่ายและเอาไปใช้งานด้วยจึงมีผลเด่นชัด แต่ในชุด NB+NaAc ที่ 0+500 กลับไม่เกิดการใช้สภาพค่างในช่วงแอโรบิก(ใช้น้อยมาก) ซึ่งแสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาในทรินิเคชัน เนื่องจากซีไอดีที่เข้าสู่ชั้นคอนแอโรบิกสูง ทำให้ในทรินิฟายอิงค์แบกที่เร็วโตไม่ทันนั่นเอง น้ำทิ้งจึงมีค่าไนโตรเจนสูง โดยมีค่าไออาร์ทีในช่วงปลายชั้นคอนแอโรบิกต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.3 ต่อไป ส่วนในชุด G2 นั้นมีการสร้างและการใช้สภาพค่างน้อยกว่าชุดทดลองอื่น เนื่องจากในชุดทดลองนี้มีการเติมไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าระบบแค่พอดีกับความต้องการในการสร้างเซลล์เท่านั้น จึงเกิดปฏิกิริยาดีในทรินิเคชันและในทรินิเคชันในระบบเพียงเล็กน้อยนั่นเอง

4.1.6 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และของแข็งแขวนลอย

ในการเริ่มเดินระบบนั้น ทุกชุดทดลองถูกควบคุมความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอสเริ่มต้นที่ 2500 มก./ล. หลังจากเดินระบบจนถึงสถานะคงตัว ที่ปลายแอโรบิกในชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 มีค่าเอ็มแอลเอสเอสเฉลี่ยเท่ากับ 1589, 1562, 1644, 877, 1300, 1231 และ 2257 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสเฉลี่ยเท่ากับ 1364, 1326, 1432, 698, 1110, 1104 และ 2005 มก./ล. ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนถึงสถานะคงตัวแสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเห็นได้ว่าเอ็มแอลเอสเอสที่สถานะคงตัวของแต่ละชุดทดลองมีค่าแตกต่างกัน อันมีผลมาจากชนิดของสารอาหารที่แตกต่างกันและปริมาณสารอาหารที่เติมให้ในแต่ละวัน โดยในชุด G3 มีการเติมสารอาหารมากกว่าชุดทดลองอื่น 2 เท่า จึงทำให้มีความเข้มข้นของเซลล์ในระบบสูงที่สุด ส่วนในชุดทดลองที่ใช้ NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150 และ 250+250 จะให้ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสสูงกว่าชุดทดลอง G1 และ G2 เนื่องจากการใช้ NB+NaAc มีไมโครนิเวทรียนต์ที่ได้มาจากนิเวทรียนต์บรอร์จึงทำให้แบกที่เร็วโตเร็วกว่า โดยในชุดทดลองที่ใช้ไซเคิลอะซิเตดอย่างเดียวนั้นให้ค่าความเข้มข้นของเซลล์ในระบบต่ำที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากในชุดทดลองนี้จะมีค่าพีเอชสูงในช่วงแอนแอโรบิกและมีแหล่งคาร์บอนเพียงแหล่งเดียว รวมทั้งมีระยะเวลาแอนแอโรบิกนาน ซึ่งแบกที่เร็วโตทั่วไปที่ไม่ใช่แบกที่เร็วที่สร้างทีเอชเอ(PAOs และ GAOs) และดีไนโตรฟายอิงแบกที่เร็ว ไม่สามารถจับใช้(uptake)อะซิเตดได้ในช่วงแอนแอโรบิกที่ยาวนานนี้ และในการกินอะซิเตดของแบกที่เร็วที่สร้างทีเอชเอนั้นก็ต้องใช้พลังงานมากในการดึงอะซิเตดเข้าเซลล์ จึงเป็นผลทำให้การสร้างเซลล์ในชุดทดลองนี้เกิดขึ้นน้อยกว่าชุดทดลองอื่นที่มีการใช้นิเวทรียนต์บรอร์หรือกลูโคส ซึ่งแบกที่เร็วโตทั่วไปสามารถกินได้ง่ายตั้งแต่ชั้นคอนแอนแอโรบิก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ



รูปที่ 4.8 เอ็มแอลเอชเอชเอสและเอ็มแอลวีเอสในช่วงทำขบวนการของแบริกของแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.8 เอ็มแอลเอสและเอ็มแอลวีเอสในช่วงทำแอโรบิกของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)

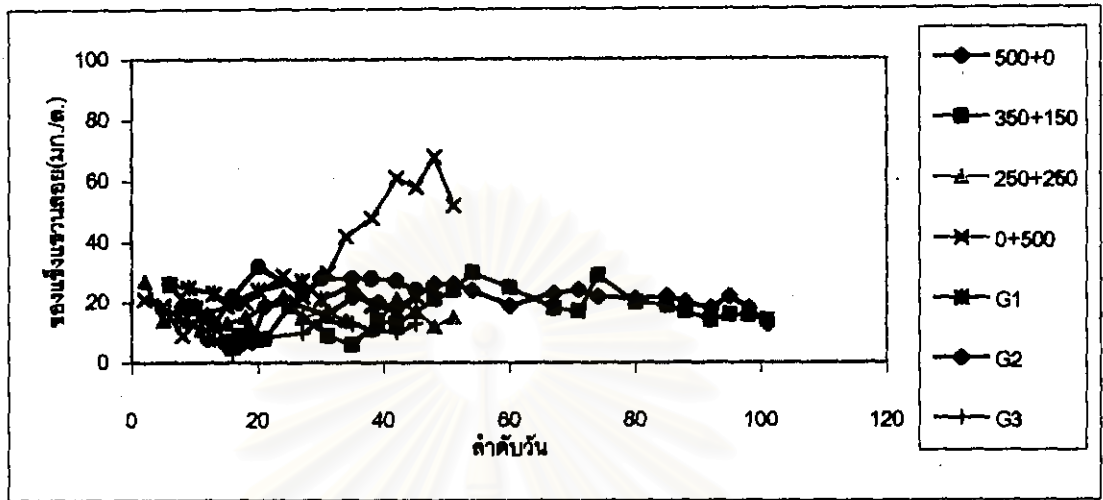
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราส่วนระหว่างเอ็มแอลเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส(น)ของแต่ละชุดทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86, 0.85, 0.87, 0.80, 0.85, 0.90 และ 0.89 ตามลำดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยในชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 0+500 มีค่า f ต่ำที่สุด เนื่องจากในชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตดอย่างเดียวนี้อาศัยพลังงานในการดึงอะซิเตดเข้าภายในเซลล์สูงคั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้มีส่วนที่เป็น fixed solids ที่เกิดจากการเผาผลาญภายในเพื่อให้เกิดพลังงานมากกว่าชุดทดลองอื่นๆ

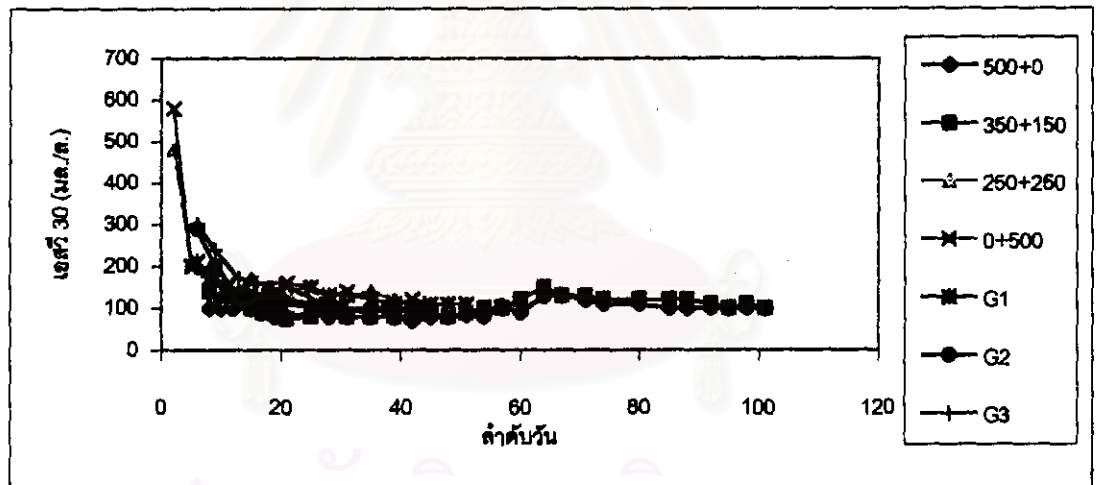
ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่าในช่วงสถานะคงตัว ทุกชุดทดลองมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งต่ำกว่า 30 มก./ล. ยกเว้นชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตดเพียงอย่างเดียวที่มีของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเท่ากับ 57 มก./ล. ซึ่งเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่า การจับเป็นฟล็อกของการทดลองชุดนี้เกิดได้ไม่ดี มีอนุภาคเล็กๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำมาก ซึ่งเมื่อทำการกรองก็จะทำได้ช้ามากและเกิดการอุดตันอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลมาจากอนุภาคเล็กๆ ที่จับตัวเป็นฟล็อกที่ไม่ดีเหล่านั้น ซึ่งตรงกับงานจริงของโรงงานผลิตยางช็อค (ปัญญารัตน์ ผลพฤษา, 2540) และงานทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้โซเดียมอะซิเตดสูงถึง 5000 มก./ล. (อาญาสิทธิ์ ถ่มเรืองรอง และคณะ, 2539)

4.1.7 เอสวี30 และเอสวีไอ

เอสวี30และเอสวีไอเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคู่กันในการบอกถึงความสามารถในการจมตัวของฟล็อกในระบบ โดยค่าเอสวี30ในการทดลองของแต่ละชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 96 - 110 มล./ล. ส่วนค่าเอสวีไอในชุดทดลองNB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63, 69, 67, 125, 74, 81 และ 43 มล./ก. ซึ่งจากพารามิเตอร์ทั้งสองนี้แสดงให้เห็นว่า ฟล็อกของแบคทีเรียสามารถเกาะกันได้แน่นและจมตัวได้ดี และเมื่อสังเกตด้วยตาจะเห็นการแยกชั้นของฟล็อกและน้ำใสอย่างชัดเจนเกิดขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าทุกชุดทดลองมีอนุภาคแขวนลอยเล็กๆ ที่ลอยปะปนกับน้ำใสส่วนบนเพียงเล็กน้อย ยกเว้นชุดทดลองNB+NaAcที่0+500ที่มีอนุภาคแขวนลอยเล็กๆ อยู่มากจนทำให้ น้ำใสส่วนบนค่อนข้างขุ่นและมีของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งสูงคั้งที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งก็เนื่องมาจากในชุดทดลองนี้มีค่าเอสวี30 เท่ากับ 110 มล./ล. แต่กลับมีค่าเอสวีไอสูงถึง 125 มล./ก.(เอ็มแอลเอสเอสในระบบนี้คือ) เห็นได้ว่าฟล็อกที่เกิดขึ้นนั้นจับตัวกันไม่แน่น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้โซเดียมอะซิเตดเป็นสารอาหาร



รูปที่ 4.9 ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.10 เอสวี 30 ช่วงทำขบวนการของน้ำทิ้งของแต่ละชุดทดลอง

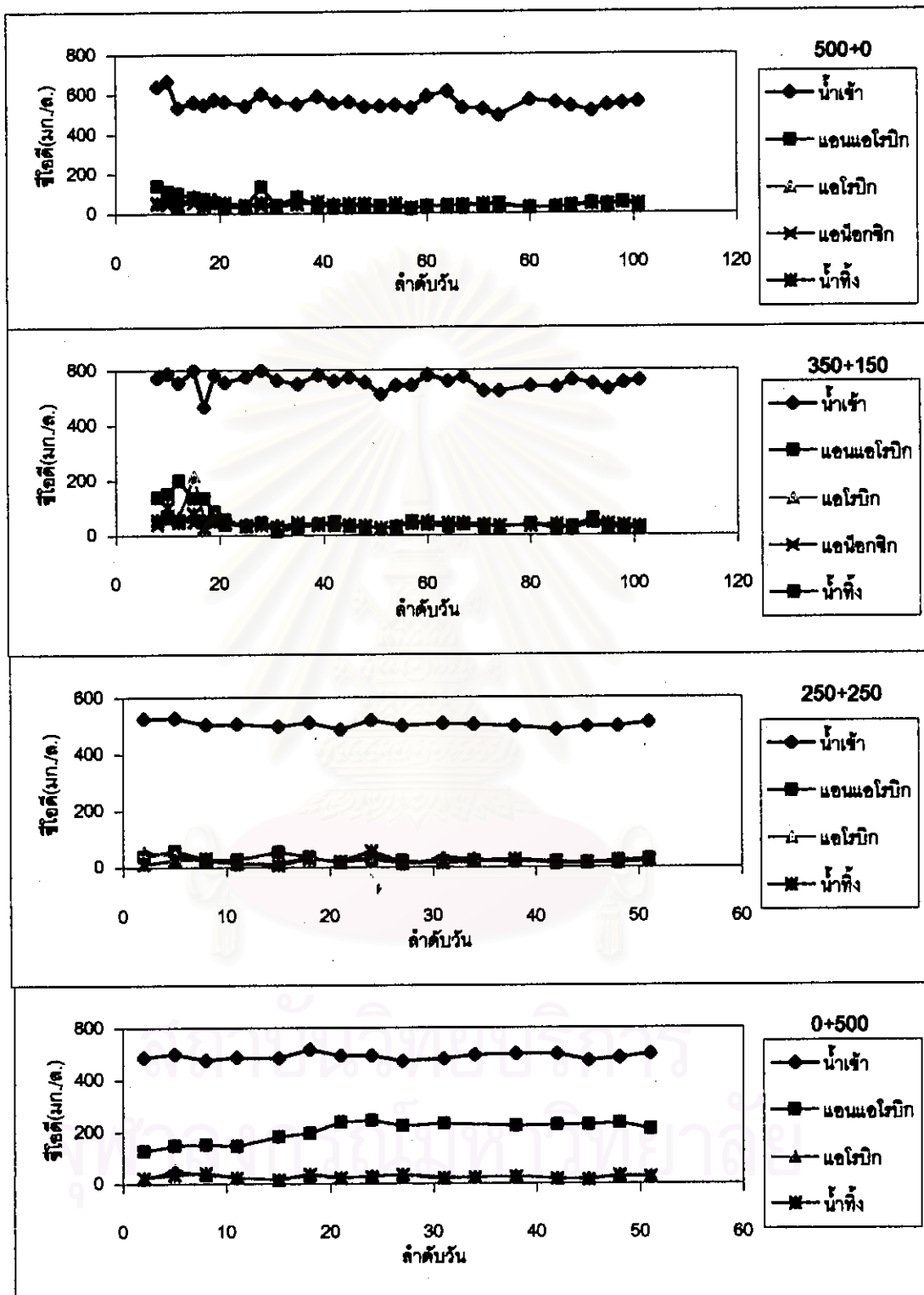
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

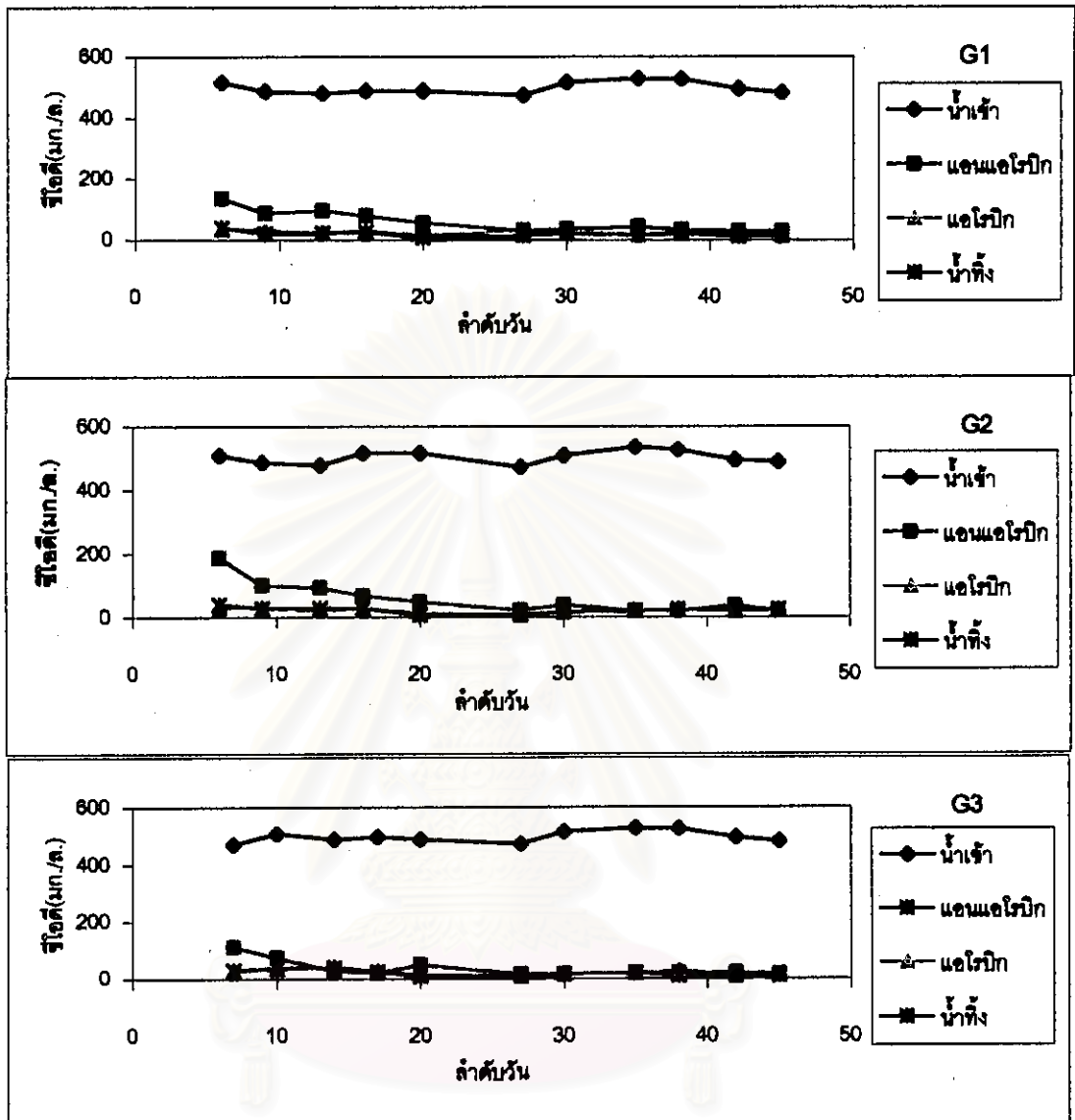
ค่าซีไอดีตลอดการทดลองของแต่ละชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งจากรูปพบว่าค่าซีไอดีทั้งหมดของน้ำเสียเข้าระบบของทุกชุดทดลองในช่วงสถานะคงตัวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 492 – 552 มก./ล. และในช่วงสถานะคงตัวนี้ในชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 มีค่าซีไอดีช่วงปลายแอนแอโรบิกเฉลี่ยเท่ากับ 45, 64, 21, 225, 54, 27 และ 19 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าซีไอดีช่วงปลายแอโรบิกเฉลี่ยเท่ากับ 46, 30, 17, 24, 19, 21 และ 19 มก./ล. ตามลำดับ จากผลดังกล่าวเห็นได้ว่า ค่าซีไอดีเกือบทั้งหมดลดลงในช่วงแอนแอโรบิก ยกเว้นชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตดอย่างเคียวที่ซีไอดีส่วนใหญ่ลดลงในช่วงแอโรบิก โดยกราฟแสดงการลดลงของซีไอดีตามเวลาแสดงดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าการใช้โซเดียมอะซิเตดเป็นสารอาหารเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดซีไอดีให้ต่ำได้ในช่วงแอนแอโรบิก อาจเกิดจากมีการสะสมพีเอชของอินทรีย์ตัวแล้ว(หรือ Glycogen exhaust)(Mimo et al., 1998) แม้จะใช้เวลาช่วงแอนแอโรบิกนานถึง 18 ชม. แต่ในชุด NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150 และ 250+250 นั้น ซีไอดีส่วนใหญ่สามารถลดได้ภายใน 4 ชม.แรกๆของช่วงแอนแอโรบิก ส่วนชุดทดลองที่ใช้กลูโคส ทั้งสามชุดนั้นสามารถลดซีไอดีได้ภายใน 2 ชม.แรกๆของช่วงแอนแอโรบิกเท่านั้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า กลูโคสถูกเปลี่ยนรูปและจับใช้ได้เร็วกว่า NB+NaAc

4.2.1 ผลของสารอาหารต่อการกำจัดซีไอดี

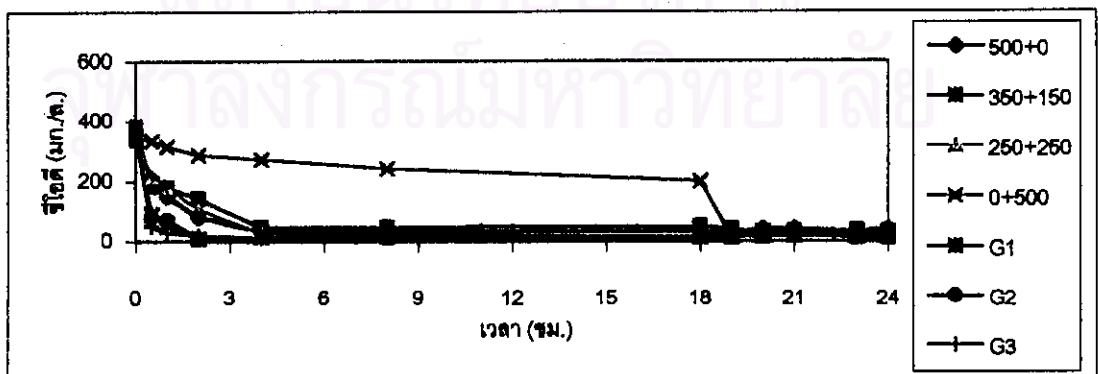
รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบในชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.7, 93.3, 96.0, 95.1, 96.5, 95.9 และ 97.3 ตามลำดับ เห็นได้ว่าทุกชุดทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูง เนื่องจากสารอาหารที่ใช้คือ นิวเทรียนต์บรอร์ โซเดียมอะซิเตด และกลูโคส เป็นสารอาหารที่แบคทีเรียสามารถใช้ได้ง่ายและรวดเร็ว รวมทั้งมีระยะเวลาที่สั้นและระยะเวลาที่กักเซลล์ที่นานพอ แต่ในการกำจัดนิวเทรียนต์บรอร์จะกำจัดได้ยากกว่าโซเดียมอะซิเตดและกลูโคสเล็กน้อย ซึ่งการลดซีไอดีในช่วงแอนแอโรบิกนั้นเห็นได้ว่าทุกชุดทดลองสามารถกำจัดได้ตั้งแต่ช่วงแอนแอโรบิกนี้ ยกเว้นชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตดเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดซีไอดีลงได้ค่าเหมือนชุดทดลองอื่น(ดังรูปที่ 4.12) เนื่องจากโคซปคิชั่นคอนแอนแอโรบิกนั้น แบคทีเรียที่สามารถใช้อะซิเตดนั้นมีเฉพาะแบคทีเรียที่สามารถสร้างพีเอชเอ(PAOs และ GAOs) คีโนทรินฟายอิงค์แบคทีเรีย และแบคทีเรียสร้างมีเทน(มีเฉพาะในระบบแอนแอโรบิกเท่านั้น) ดังนั้นซีไอดีที่



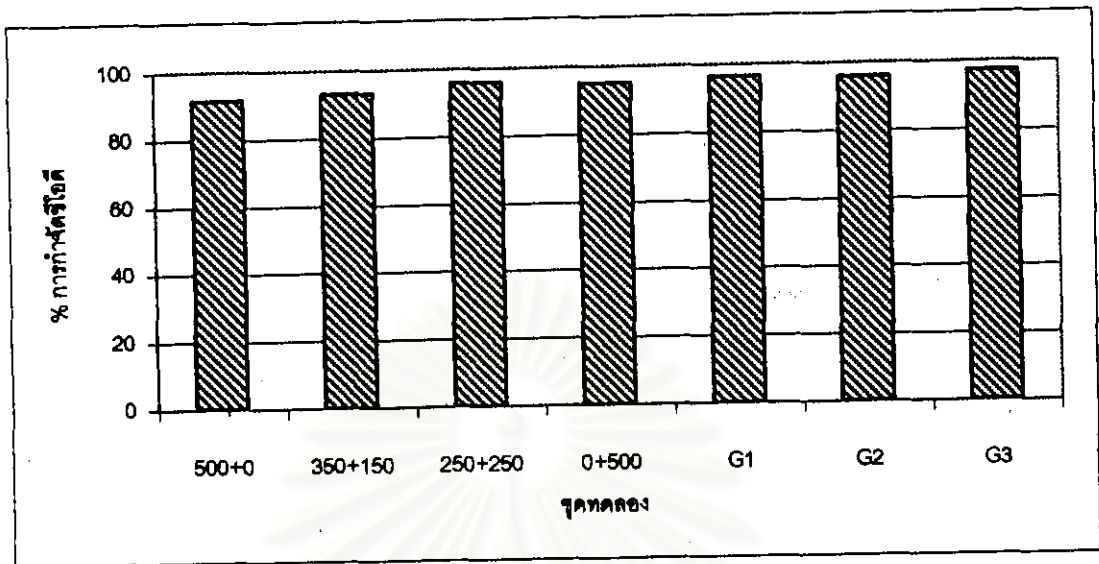
รูปที่ 4.11 ซีโอดีในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละจุดทดลอง



รูปที่ 4.11 ซีโอดีในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)



รูปที่ 4.12 ไพรไพล์การกำจัดซีโอดีในแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติของระบบในแต่ละชุดทดลอง

ทดลองจึงเกิดได้แค่นำไปเก็บสะสมในรูปของฟิเออซ และใช้เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรตเท่านั้น ดังนั้นซีโอติในชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตตอย่างเดียวยังมีค่าซีโอติปลายแอนแอโรบิกสูงอยู่นั่นเอง นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการหมดไปของกักตยโคเจน (glycogen exhaust) ทำให้ไม่มี reducing power ในการจับใช้อะซิเตต (Mimo et al., 1998) และซีโอติจากอะซิเตตที่เหลือนี้จะถูกออกซิไดส์ได้อย่างรวดเร็วในช่วงแอโรบิกโดย OHOs ซึ่งต่างจากชุดทดลองอื่นที่ใช้นิวเทรียนต์บรอร์และกลูโคสที่แบคทีเรียโคทัวไปสามารถจับใช้ได้ตั้งแต่ขั้นคอนแอนแอโรบิก

4.2.2 ผลของเวลาแอนแอโรบิกต่อการกำจัดซีโอติ

จากรูปที่ 4.13 เห็นได้ว่า ในชุดทดลอง G3 ซึ่งลดเวลาแอนแอโรบิกจาก 18 ชม. ลงเหลือแค่ 6 ชม. (แต่มีช่วงเวลาแอโรบิกเท่าเดิมคือ 5 ชม.) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติ เนื่องจากกลูโคสเป็นสารอาหารที่สามารถกำจัดได้ง่ายและรวดเร็ว และในระบบซึ่งลดเวลาแอนแอโรบิกนี้ก็ยังมีความกักน้ำและเวลาพักเซลล์ที่นานพอ และจากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลูโคสสามารถถูกกำจัดได้ภายในเวลาแค่ 2 ชม. แรกของช่วงแอนแอโรบิกเท่านั้น ซึ่งหากแม้ลดเวลาแอนแอโรบิกลงอีกจนไม่สามารถลดซีโอติให้ต่ำได้ในขั้นคอนแอนแอโรบิก ก็ยังมีขั้นคอนแอโรบิกต่อท้ายที่จะสามารถกำจัดซีโอติที่เหลือนี้ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการปรับค่านี้นับด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกนี้ จึงไม่มีปัญหาในเรื่องการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์แต่อย่างใด

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

ค่าทีเคเอ็นตลอดการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 โดยค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นช่วงสถานะคงตัวในช่วงเวลาต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.10

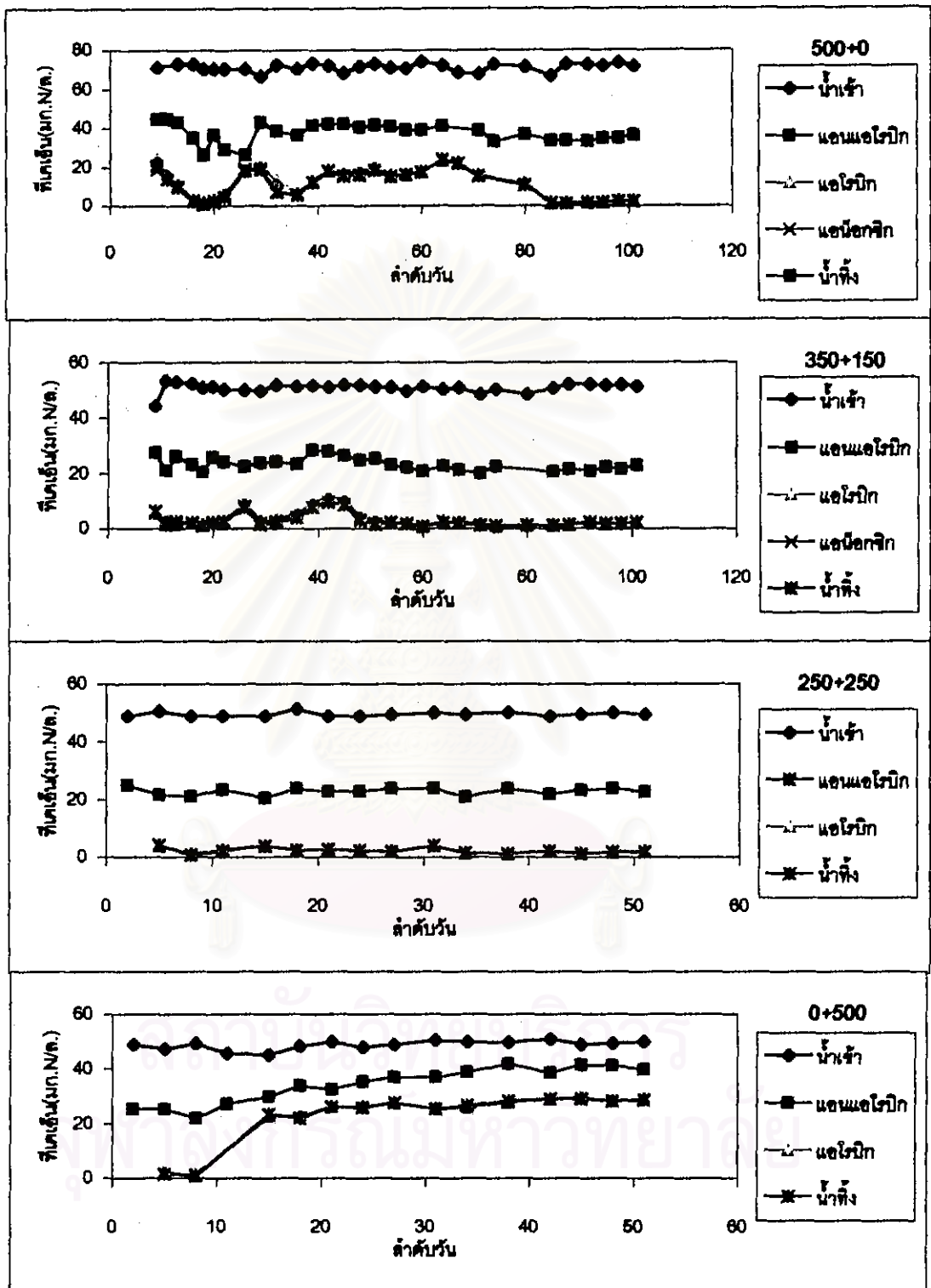
ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรอง(GF/C)ช่วงสถานะคงตัว (หน่วย มก. N/ก.)

ชุดทดลอง	น้ำเข้า*	เมื่อ $t = 0$	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
NB+NaAc = 500+0	72.3	48.8	34.6	1.9	1.7
NB+NaAc = 350+150	51.8	35.2	21.8	2.0	1.9
NB+NaAc = 250+250	49.6	33.6	23.2	1.7	1.6
NB+NaAc = 0+500	49.8	42.7	40.6	28.7	28.6
G1	48.4	33.6	30.1	3.2	3.6
G2	24.8	17.3	3.0	2.4	2.3
G3	48.0	32.7	25.2	2.2	2.1

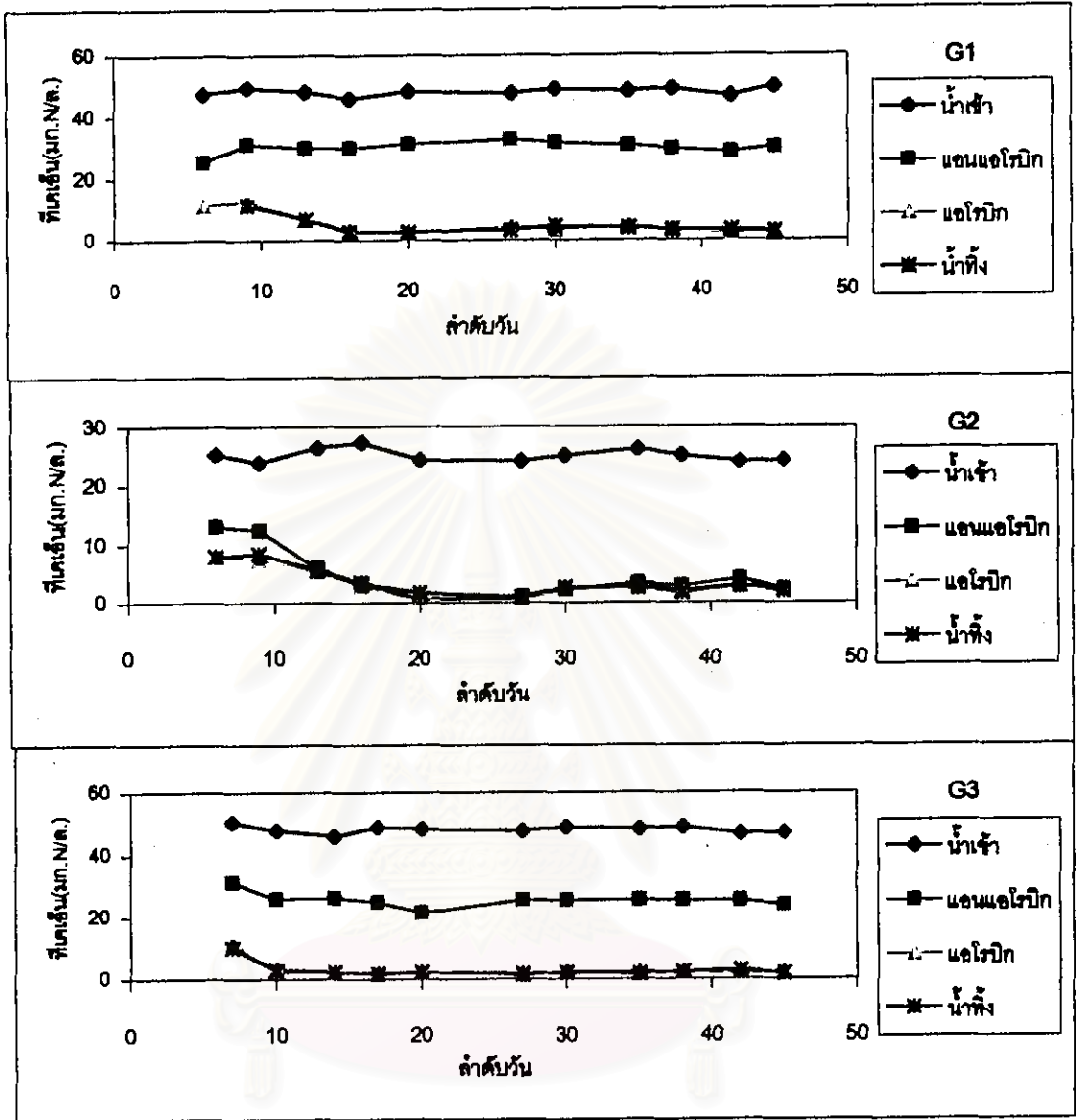
* ทีเคเอ็นทั้งหมด

4.3.1 ผลของสารอาหารต่อการกำจัดทีเคเอ็น

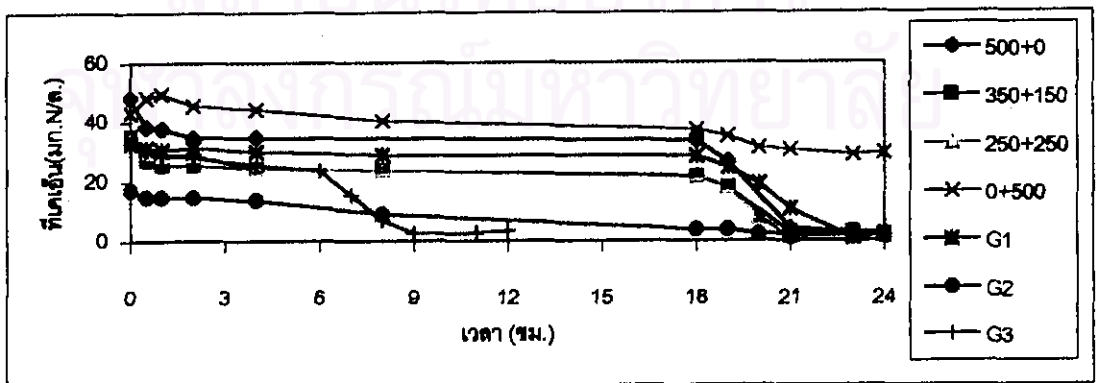
ในการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150 และ 250+250 และชุด G1 และ G3 เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นคอนแอนแอโรบิก โดยทีเคเอ็นที่ลดลงนี้ถูกแบกทีเรียดึงเข้าเซลล์ โดยเปลี่ยนเป็นกรดอัลฟาอะมิโนบิวทีริกและกรดอะมิโนอื่นที่ยังไม่ทราบแน่ชัด(Satoh et al., 1998) จากนั้นทีเคเอ็นจะลดลงอย่างรวดเร็วในขั้นคอนแอโรบิก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน ดังรูปที่ 4.15 น้ำทิ้งที่ออกมาจึงมีค่าทีเคเอ็นต่ำ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นสูงหรือเท่ากับร้อยละ 97.6, 96.3, 96.6, 92.6 และ 95.6 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งแม้ว่าในชุดNB+NaAcแรกหรือที่500+0 จะมีทีเคเอ็นน้ำเข้าสูงกว่าชุดทดลองอื่น เนื่องจากเป็นทีเคเอ็นที่มาจากนิเวทรินดัมบรอส แต่ระบบก็ยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นสูง ซึ่งต้องใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัวมากกว่าชุดทดลองอื่น และในชุดทดลองG2 แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นจะสูงถึงร้อยละ 90.7 มีทีเคเอ็นน้ำทิ้งต่ำ แต่การกำจัดทีเคเอ็นนี้ไม่ได้เกิดจากกระบวนการไนทริฟิเคชัน หากแต่อาจเกิดจากการนำทีเคเอ็นไปใช้ในการสร้างเซลล์ทั้งหมด เนื่องจากในชุดทดลองนี้มีการจำกัดไนโตรเจนในน้ำเข้าให้พอดีกับ



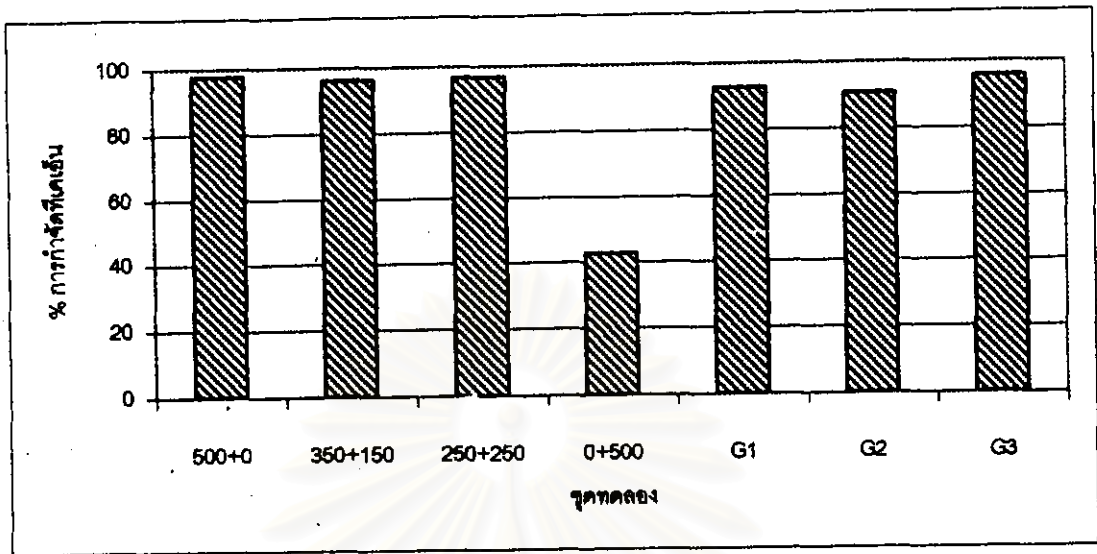
รูปที่ 4.14 ปริมาณไนโตรเจนในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.14 ทีเคเอ็นในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)



รูปที่ 4.15 โพรไฟล์การกำจัดทีเคเอ็นในแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบในแต่ละจุดทดลอง

ความต้องการของแบกที่เร็ว ส่วนในจุดทดลองที่ใช้ไซเคียมอะซิเตดอย่างเคียว(0+500)นั้นมี ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเพียงแค่ร้อยละ 42.6 และจากการคำนวณจะได้ว่าที่เอ็มแอลเอสเอส เฉลี่ยเท่ากับ 877 มก./ถ. ทั้งตัดครึ่งส่วนเกินวัฏจักรละ 1.5 ลิตร จะมีในโครเจนที่ถูกนำไปสร้างเซลล์ เท่ากับ $877 \times 1.5 \times 0.12 = 158$ มก.N/วัฏ-จักร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณไนโครเจนที่ตกลงในแต่ละ วัฏจักร(ความเข้มข้นเฉลี่ยในโครเจน ที่ $t=0$ เท่ากับ 42.7 มก./ถ. และเท่ากับ 28.7 มก./ถ.ที่ปลาย ชั้นคอนแอมโรบิก ดังนั้นมีปริมาณไนโครเจนตกลงเท่ากับ $(42.7-28.7) \times 12 = 168$ มก.N/วัฏจักร) เห็น ได้ว่าที่เคเอ็นที่ตกลงทั้งหมดนั้นใกล้เคียงกับที่ต้องการในการสร้างเซลล์ ดังนั้นที่เคเอ็นที่ตกลงจึง ไม่ใช่เกิดจากปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีค่าที่เคเอ็นสูง ซึ่งการที่จุดทดลองนี้ไม่ เกิดปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันมีผลมาจากการที่ซีโอดีถูกจับไว้ในช่วงแอนแอมโรบิกไม่หมดทำให้ยังเหลือ ซีโอดีที่เข้าสู่ชั้นคอนแอมโรบิกสูง ไนทริฟายอิงค์แบกที่เร็วจึงโคสู่ออกซิเจนไม่ได้นั่นเอง

4.3.2 ผลของเวลาแอนแอมโรบิกต่อการกำจัดที่เคเอ็น

แม้ว่าในจุดทดลอง G3 จะมีการตกลงของช่วงเวลาแอนแอมโรบิก แต่ช่วงเวลาแอนแอมโรบิกยังคง เท่าเดิม ทำให้ระบบรับภาระบรรทุกมากกว่าจุดทดลองอื่นๆ 2 เท่า แต่จากผลการทดลองยังพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นก็ยังคงสูง(รูปที่ 4.16) ซึ่งการกำจัดที่เคเอ็นส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยา ไนทริฟิเคชัน ก็เนื่องจากว่ามีเวลากักตักครึ่งในช่วงแอนแอมโรบิกที่นานเพียงพอ ดังนั้นเวลาแอนแอมโรบิก ที่เปลี่ยนไปจึงไม่มีผลต่อการกำจัดที่เคเอ็น

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

ในการศึกษานี้มีการแปรผันสารอาหารซึ่งมีทั้งที่ส่งเสริมและไม่ส่งเสริมกระบวนการอิปีทีอาร์ เพื่อที่ต้องการให้เกิดเป็น PAOs หรือ GAOs ขึ้นในระบบ แล้วดูผลของการกำจัดของแบกทีเรียทั้งสองชนิดนี้ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร โดยระบบบำบัดทางชีวภาพที่ใช้ก็เป็นระบบสำหรับกำจัดธาตุอาหารที่ใช้ในปัจจุบัน ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ควบคู่ไปกับการกำจัดดีดีว เพื่อที่จะบ่งบอกว่าระบบใดเกิดเป็น PAOs และระบบใดเกิดเป็น GAOs พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบรวมกับการกำจัดดีดีวพร้อมๆกัน จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการกำจัดฟอสฟอรัสในแต่ละชุดทดลองการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.17 ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในช่วงเวลาต่างๆ ตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนถึงสถานะคงตัว โดยค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสช่วงสถานะคงตัวแสดงดังตารางที่ 4.11

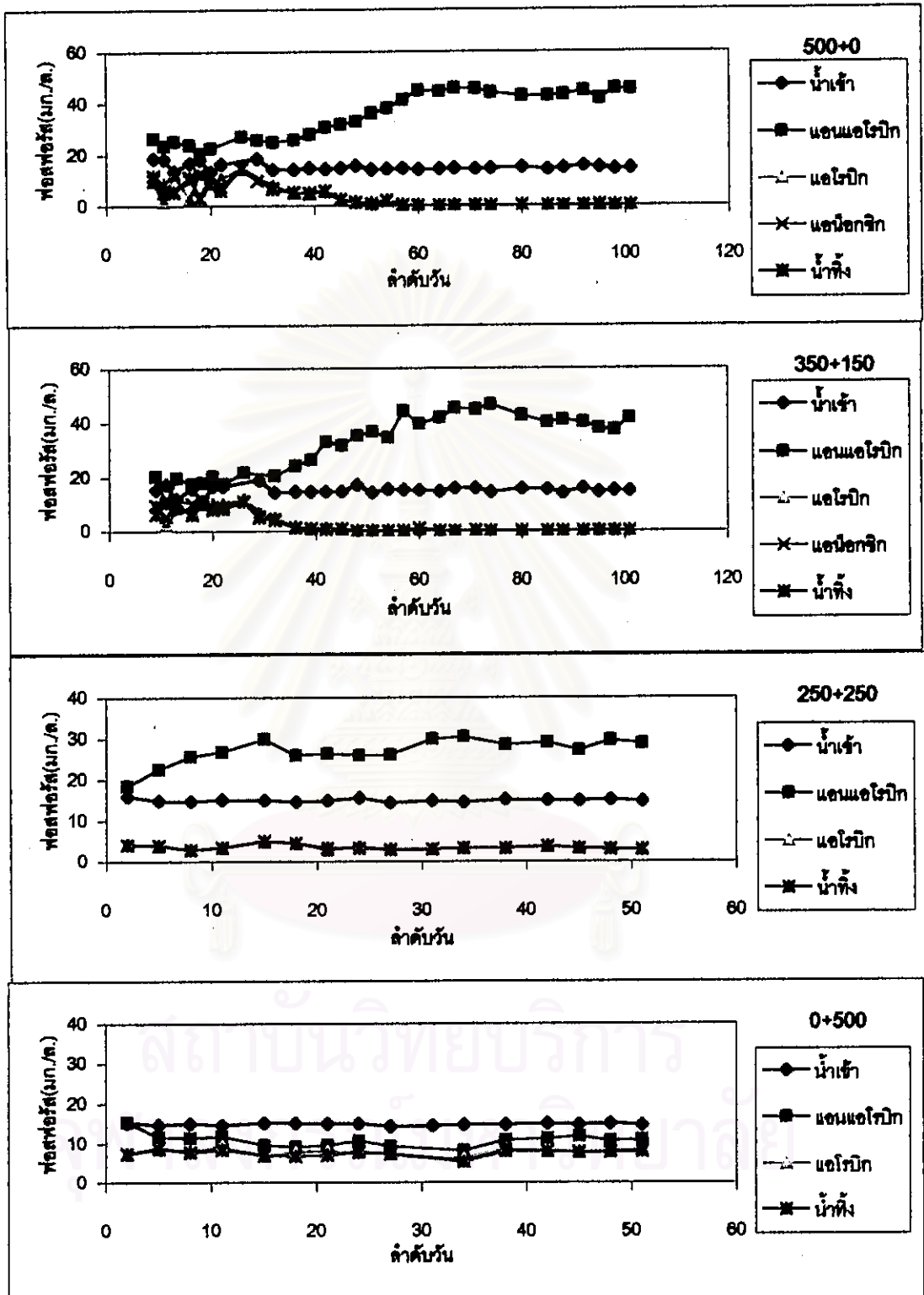
ตารางที่ 4.11 ค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยช่วงสถานะคงตัว (หน่วย มก.P/ล.)

ชุดทดลอง	น้ำเข้า*	เมื่อ $t = 0$	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
NB+NaAc = 500+0	14.9	10.0	44.2	0.2	0.1
NB+NaAc = 350+150	14.9	9.9	39.7	0.1	0
NB+NaAc = 250+250	15.0	11.1	28.6	3.3	3.2
NB+NaAc = 0+500	14.8	12.5	11.1	8.2	8.0
G1	15.5	12.0	25.4	5.0	5.0
G2	5.3	3.6	5.7	0.1	0.1
G3	15.5	13.5	24.9	9.4	9.5

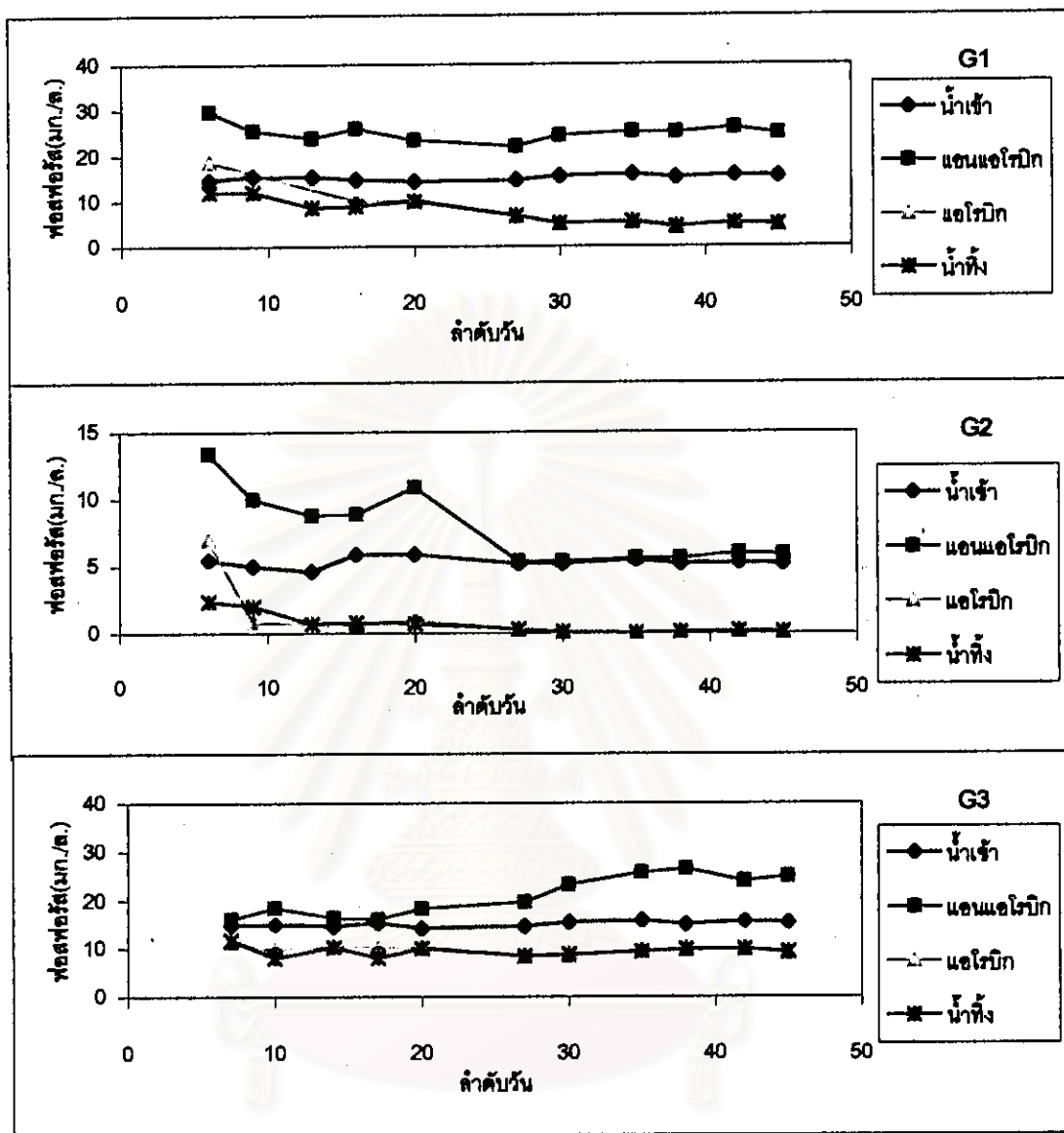
* ฟอสฟอรัสทั้งหมด

4.4.1 ผลของสารอาหารต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

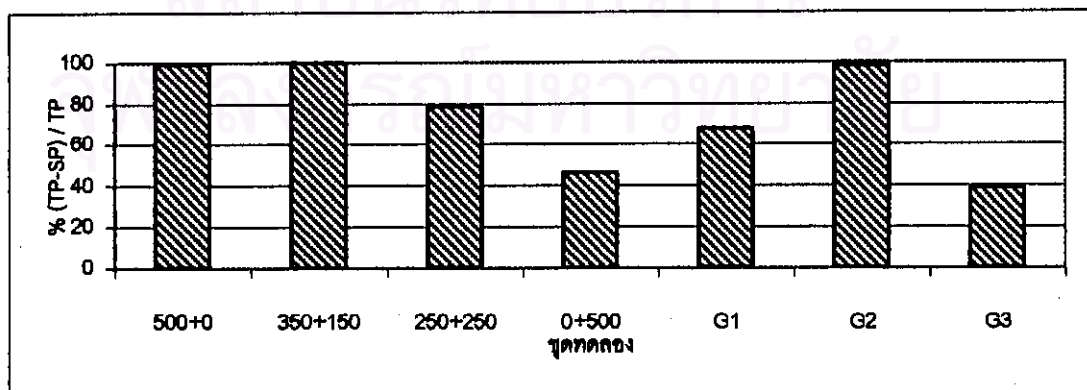
จากรูปที่ 4.18 ในชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 99.3, 100, 78.7, 45.9, 67.7, 98.1 และ 38.7 ตามลำดับ โดยในชุดทดลอง NB+NaAc ซึ่งเป็นสารอาหารที่ส่งเสริมกระบวนการ



รูปที่ 4.17 ฟอสฟอรัสในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.17 ฟอสฟอรัสในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)

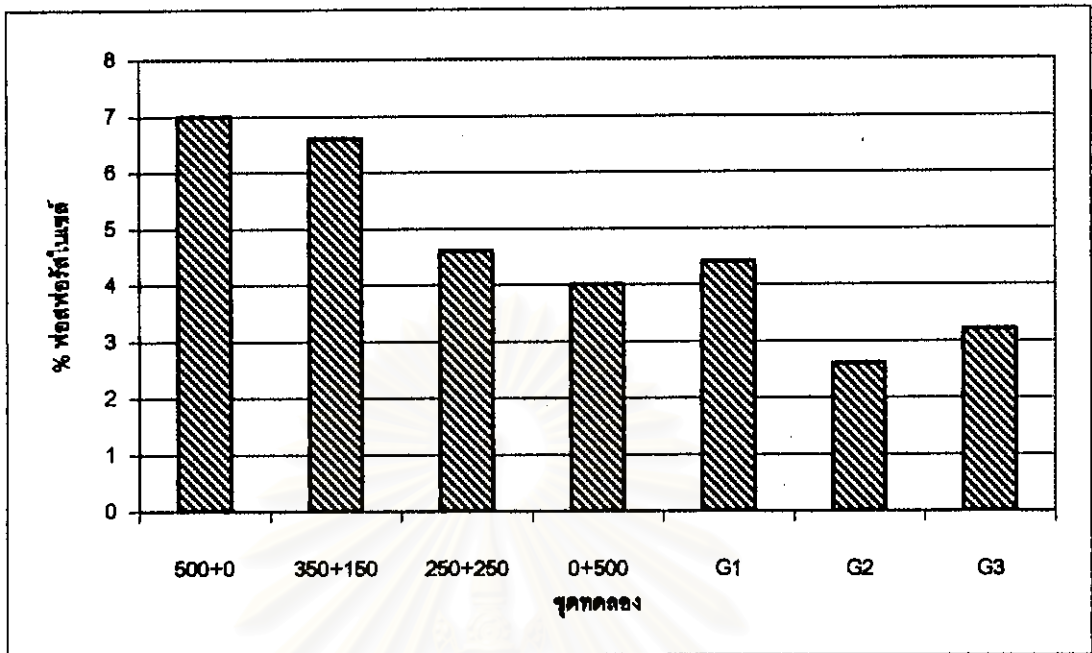


รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบในแต่ละชุดทดลอง

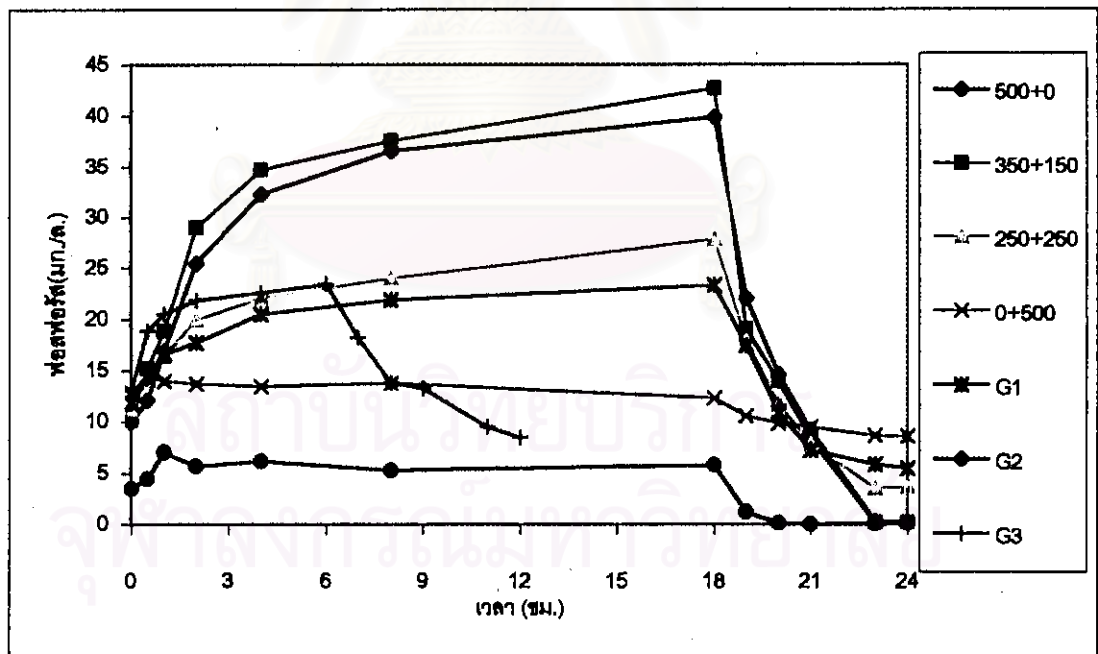
อิมปีทอร์ โดยมีการแปรผันสัดส่วนของนิวเทรียนด์บรอกและโซเดียมอะซิเตทพบว่าทำให้เกิดกระบวนการอิมปีทอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูง แต่ความเข้มข้นของอะซิเตทที่ใช้จะต้องไม่สูงเกินไปจนเป็นพิษต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส (Randall and Rodney, 1994) ซึ่งจากการทดลองนี้เห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มโซเดียมอะซิเตทมากกว่า 150 มก./ล.ซีไอดี (ชุด NB+NaAc = 350+150) ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง และในกรณี 0+500 นั้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลงอย่างมากเหลือแค่ร้อยละ 45.9 ซึ่งก็น่าจะมาจากความเป็นพิษของอะซิเตทที่เข้มข้นเกินไป

ส่วนในการทดลองที่ใช้กลูโคสซึ่งเป็นกรณีที่ตั้งใจที่ส่งเสริมให้เกิด GAOs ในระบบแทน PAOs พบว่า ในชุด G1 ซึ่งมีเวลาแอนแอโรบิกที่นานพอจะทำให้กลูโคสสามารถเปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่ายบางส่วนได้ จึงทำให้ชุด G1 ซึ่งต้องการให้เกิด GAOs กลับเกิดเป็น PAOs และมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงถึงร้อยละ 67.7 ส่วนในชุด G2 นั้นแม้ว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูง แต่ก็ไม่ใช่เป็นกระบวนการอิมปีทอร์ เนื่องจากมีการกำจัดฟอสฟอรัสแค่พอดีกับความต้องการของเซลล์โดยทั่วไป ดังนั้นฟอสฟอรัสที่เติมลงไปจึงถูกใช้สำหรับสร้างเซลล์ทั้งหมด ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของทุกชุดทดลองนี้สอดคล้องกับร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ ดังรูปที่ 4.19 โดยในชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 มีร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์เท่ากับ 7.0, 6.6, 4.6, 4.0, 4.4, 2.6 และ 3.2 หรือกล่าวได้ว่า เมื่อร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์สูง ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสด้วย ชก เว้นชุด G2 ที่ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ต่ำ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูง ซึ่งเกิดจากการกำจัดฟอสฟอรัสนั่นเอง

จากรูปที่ 4.20 แสดงโพรไฟล์การกำจัดฟอสฟอรัสในแต่ละชุดทดลอง ซึ่งเห็นได้ว่าการกำจัดฟอสฟอรัสของทุกชุดทดลองนั้นจะเกิดการปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกและจับไว้ในช่วงแอโรบิก ชก เว้นในชุดทดลองที่ใช้โซเดียมอะซิเตทอย่างเคียว (0+500) และชุด G2 ที่ไม่มีการปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก ก็เนื่องมาจากในชุดที่ใช้โซเดียมอะซิเตทอย่างเคียวมีความเข้มข้นของอะซิเตทสูงเกินไปจนเป็นพิษต่อ PAOs และอาจมีผลมาจากพีเอชในช่วงแอนแอโรบิกที่สูงถึง 8.5 แต่จากโมเดลของ Smolders (1995) ได้กล่าวถึงการดูดซึมของอะซิเตทผ่านเซลล์ที่จะขึ้นกับค่าพีเอช โดยที่ในช่วงที่พีเอชต่ำ การดูดซึมของอะซิเตทผ่านเซลล์ต้องการพลังงานเพียงเล็กน้อย แต่ในขณะที่พีเอชสูงนั้นทำให้การดูดซึมของอะซิเตทผ่านเซลล์ต้องการพลังงานเท่ากับ 0.5 โมล ATP/คาร์บอนโมลอะซิเตท และจะทำให้เกิดการปล่อยฟอสฟอรัสสูงขึ้นด้วยเพื่อให้ได้พลังงาน ซึ่ง



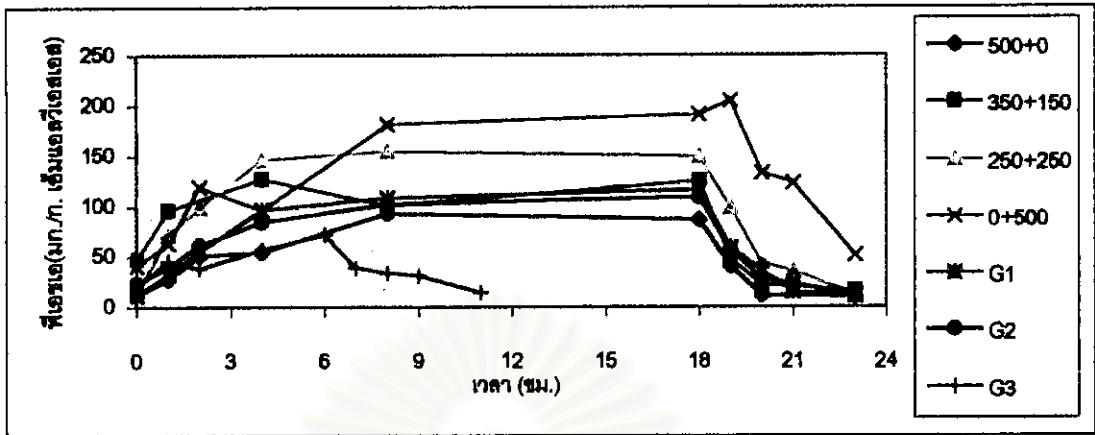
รูปที่ 4.19 ร้อยละของฟอสฟอรัสในดินในแต่ละจุดทดลอง



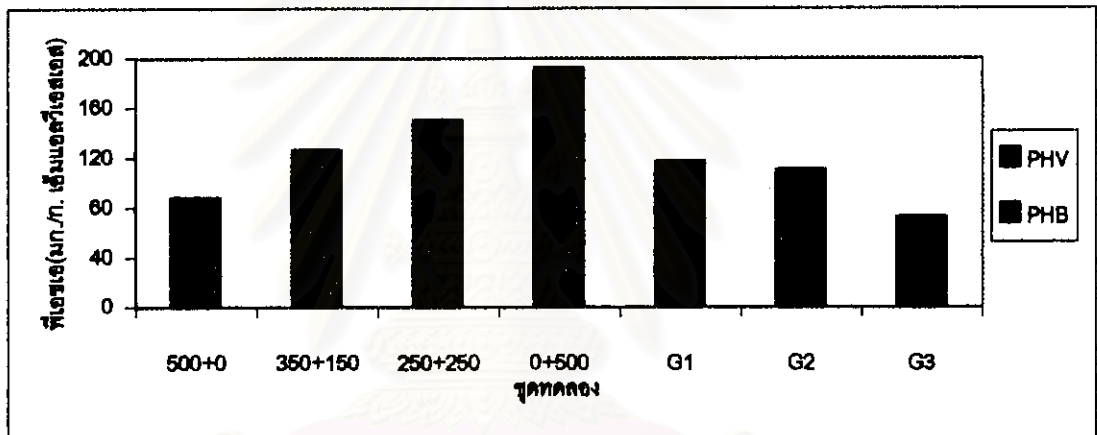
รูปที่ 4.20 โพรไฟล์การกำจัดฟอสฟอรัสในแต่ละจุดทดลอง

ขัดแย้งกับผลของชุด NB+NaAc ที่ 250+250 และ 0+500 ซึ่งมีพิษสูงกว่าชุดที่ใช้ปริมาณคาร์บอนอย่างเคียว แต่กลับมีการปล่อยฟอสฟอรัสน้อยกว่า และจากข้อขัดแย้งนี้ทำให้เชื่อว่าการปล่อยฟอสฟอรัสที่น้อยลงหรือไม่ปล่อยเลยในชุด NB+NaAc ที่ 250+250 และ 0+500 นี้ มีผลมาจากความเป็นพิษของอะซิเตดมากกว่าพิษอื่น ส่วนในชุด G2 มีการเติมฟอสฟอรัสที่พอดีกับความต้องการของเซลล์จึงไม่เกิดการปล่อยฟอสฟอรัสขึ้นหรือมีฟอสฟอรัสไม่พอที่จะเกิดเป็นกระบวนการอิมิพีอาร์ นอกจากนี้จากโพรไฟล์ยังสังเกตได้ว่า ถ้ามีการปล่อยฟอสฟอรัสมากขึ้นก็เกิดการจับไร้ฟอสฟอรัสมากขึ้นตามไปด้วย และทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูง และจากโพรไฟล์พิษเอเอในรูปที่ 4.21 เห็นได้ว่าทุกชุดทดลองมีการสร้างพิษเอเอในช่วงแอนแอโรบิก และออกซิไลซ์พิษเอเอในช่วงแอโรบิก แม้กระทั่งในชุด G2 ซึ่งเป็นชุดที่มีการจำกัดฟอสฟอรัส (P limiting) ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียในชุด G2 นี้เป็น GAOs นอกจากนี้ยังพบว่าในชุด NB+NaAc นั้น เมื่อมีการเพิ่มอะซิเตดจะทำให้พิษเอเอที่สร้างในช่วงแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี แต่ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสนั้นก็ลดลงเมื่ออะซิเตดเพิ่มมากกว่า 150 มก./ล.ซีไอดี (ชุด NB+NaAc = 350+150) โดยปริมาณการสร้างพิษเอเอแต่ละชุดทดลองช่วงปลายแอนแอโรบิกแสดงดังรูปที่ 4.22 ซึ่งในชุดทดลอง G1 และ G2 ก็มีการสร้างพิษเอเอได้ เนื่องจากมีเวลาแอนแอโรบิกที่นานพอ ทำให้มีการหมักเกิดเป็นกรดระเหยง่ายบางส่วน ซึ่งแบคทีเรียไม่ว่าจะเป็น PAOs หรือ GAOs สามารถนำไปสร้างเป็นพิษเอเอได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ในชุดทดลอง NB+NaAc นั้น ปริมาณพิษเอเอจะประกอบด้วยพิษเอบีมากกว่าพิษเอวี ซึ่งเกิดจากอะซิเตดถูกเปลี่ยนเป็น Acetyl-CoA แล้วจึงเปลี่ยนเป็นพิษเอบีในปริมาณที่สูงกว่า (Sudiana et al., 1997) แต่ในชุดกฏโคสทั้งหมดกลับพบว่าปริมาณพิษเอเอจะประกอบด้วยพิษเอวีมากกว่าพิษเอบี ซึ่งเกิดจากกฏโคสถูกเปลี่ยนเข้าวงจรเป็น Propionyl-CoA แล้วจึงเปลี่ยนเป็นพิษเอวีในปริมาณที่สูงกว่า (Sudiana et al., 1997) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณการจับไร้ฟอสฟอรัสในช่วงแอโรบิกพบว่า ขึ้นกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ปล่อยออกมาในช่วงแอนแอโรบิกมากกว่าปริมาณพิษเอเอที่สร้างขึ้น ในการดูฟอสฟอรัสในแต่ละวัฏจักรพบว่า ทุกชุดทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกนำไปสร้างเซลล์มากกว่าที่ต้องการ โดยเซลล์ทั่วไป (OHOs, Ordinary Heterotrophic Organism) หรือ GAOs (ซึ่งได้จากการคำนวณ $\Delta X \times 0.12/5$) ยกเว้นชุด G2 และ G3 ดังรูปที่ 4.23

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นเห็นได้ว่า ทุกชุดทดลองเกิดกระบวนการอิมิพีอาร์ ยกเว้นชุด NB+NaAc ที่ 0+500, ชุด G2 และ G3 โดยในการใช้ไซเคิลอะซิเตดเป็นสารอาหารทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น แต่ต้องมีความเข้มข้นที่เหมาะสม เพราะถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไปก็จะลดประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากเป็นพิษต่อ PAOs ในระบบ และในการใช้

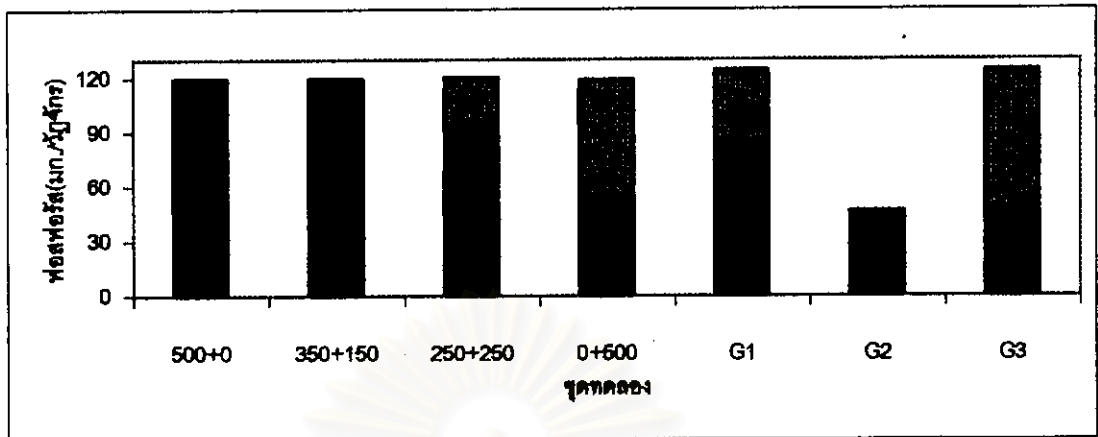


รูปที่ 4.21 โทรไฟต์ฟีนอลในแค้ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.22 ปริมาณฟีนอลช่วงปลายแอนแอโรบิกในแค้ละชุดทดลอง

นิวทริยอนค์บรอรสามารถทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงได้ แต่ต้องมีระยะเวลาอนแอโรบิกที่นานพอเพื่อให้เกิดการหมักเปลี่ยนรูปเป็นกรดระเหยง่าย ส่วนการใช้กลูโคสซึ่งเป็นสารอาหารที่เหนียวทำให้เกิด GAOs ขึ้นในระบบ แต่ถ้ามีระยะเวลาอนแอโรบิกนานเพียงพอที่จะเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดระเหยง่ายบางส่วน ก็ทำให้เกิด PAOs และกลายเป็นกระบวนการอิมปีฟิออร์ได้เช่นกัน แต่ทั้งนี้ในการใช้กลูโคสเป็นสารอาหารก็ยังไม่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่นิวทริยอนค์บรอรและการใช้โพรเซียมอะซิเตดในปริมาณที่เหมาะสมไม่ได้



- หมายเหตุ**
- หมายถึง ปริมาณ P ที่ออกไปกับน้ำทิ้ง
 - + ■ หมายถึง ปริมาณ P ที่ถูกนำไปสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบจริง
 - หมายถึง ปริมาณ P ในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของ PAOs
 - หมายถึง ปริมาณ P ที่ต้องการปกคิโดยเซลล์ทั่วไปหรือ GAOs (ได้จากการคำนวณ $\Delta X \times 0.12 / 5$)

รูปที่ 4.23 จุดฟอสฟอรัสในระบบ

4.4.2 ผลของเวลาอนแอโรบิกต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

จากจุดทดลอง G3 ที่ใช้กลูโคสซึ่งเป็นสารอาหารที่เหนียวทำให้เกิด GAOs ได้ทำการลดเวลาอนแอโรบิกลง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการหมักเพื่อเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดระเหยง่ายได้น้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลงด้วยเมื่อเทียบกับจุด G1 (รูปที่ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ที่ลดลง (รูปที่ 4.19) การสร้างฟิเอชเอที่ลดลง (รูปที่ 4.22) และการลดลงของฟอสฟอรัสในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของ PAOs (รูปที่ 4.23) ทำให้จุดทดลอง G3 ไม่เกิดเป็นกระบวนการฮิฟิอาร์ ดังนั้นจะเห็นว่าการใช้สารอาหารอื่นก็สามารถทำให้เกิดกระบวนการฮิฟิอาร์ได้ แต่ที่สำคัญต้องมีช่วงเวลาอนแอโรบิกที่นานพอเพื่อให้เกิดการหมักเป็นกรดระเหยง่าย ต่อจากนั้นจึงใช้เวลาเปลี่ยนกรดระเหยง่ายให้เป็นฟิเอชเอต่อไป ช่วงเวลาอนแอโรบิกที่ใช้ในระบบจึงมีความสำคัญต่อการกำจัดฟอสฟอรัสหากใช้สารอาหารอื่นที่ไม่ใช่กรดระเหยง่าย ส่วนการใช้กรดระเหยง่ายเป็นสารอาหาร โดยตรงก็ทำให้สามารถลดเวลาในช่วงที่ต้องการให้เกิดการหมักลงไปได้ เพราะ PAOs สามารถใช้กรดระเหยง่ายได้โดยตรงและทันที ดังนั้นช่วงเวลาอนแอโรบิกที่

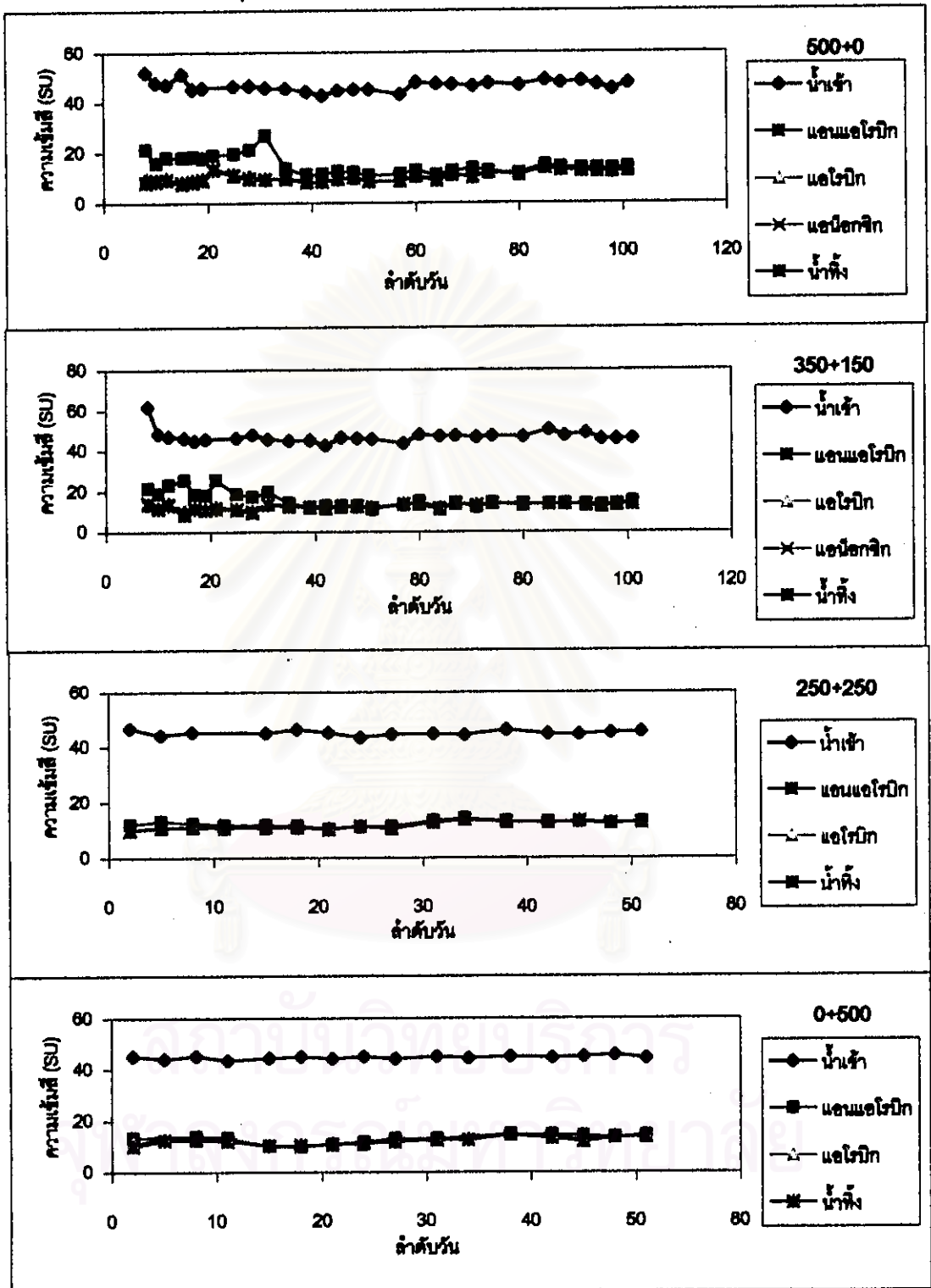
ใช้จึงต้องการให้นานพอสำหรับเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นฟิเอซอเทอานัน โดยจากการทดลองทั้งหมดพอสรุปชนิดของแบคทีเรียในระบบได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ชนิดของแบคทีเรียในแต่ละชุดทดลอง

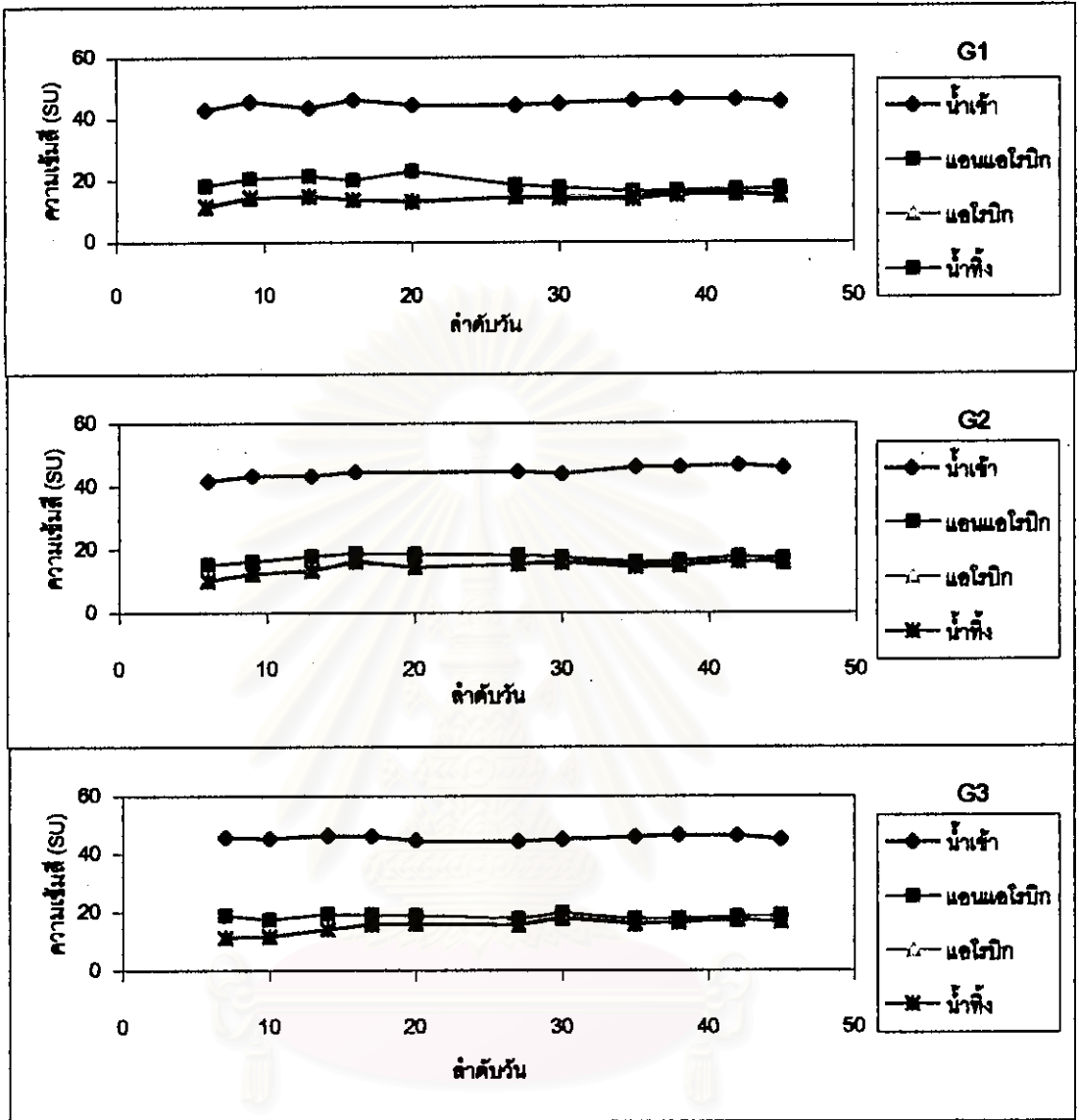
ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)	ฟอสฟอรัสในเซรุ่ม (%)	ชนิดของแบคทีเรีย
NB+NaAc = 500+0	99.3	7.0	PAOs
NB+NaAc = 350+150	100	6.6	PAOs
NB+NaAc = 250+250	78.7	4.6	PAOs
NB+NaAc = 0+500	45.9	4.0	non-active PAOs
G1	67.7	4.4	PAOs+ GAOs
G2	98.1	2.6	GAOs
G3	38.7	3.2	GAOs

4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดดี

การวิจัยนี้ทำการวัดความเข้มข้น 2 หน่วย คือ SU และ ADMI เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพการกำจัดดี โดยระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกที่มีและไม่มีอาหารที่ส่งเสริมกระบวนการอิมปีฟิเออร์ โดยรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงการกำจัดดีในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลองในหน่วย SU และ ADMI คมต่ำดับ ซึ่งจากรูปเห็นได้ว่าทุกชุดทดลองการกำจัดดีเกือบทั้งหมดเกิดในช่วงแอนแอโรบิก โดยค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนความเข้มข้นในแต่ละชุดทดลองช่วงสถานะคงตัวแสดงดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.26 และ 4.27

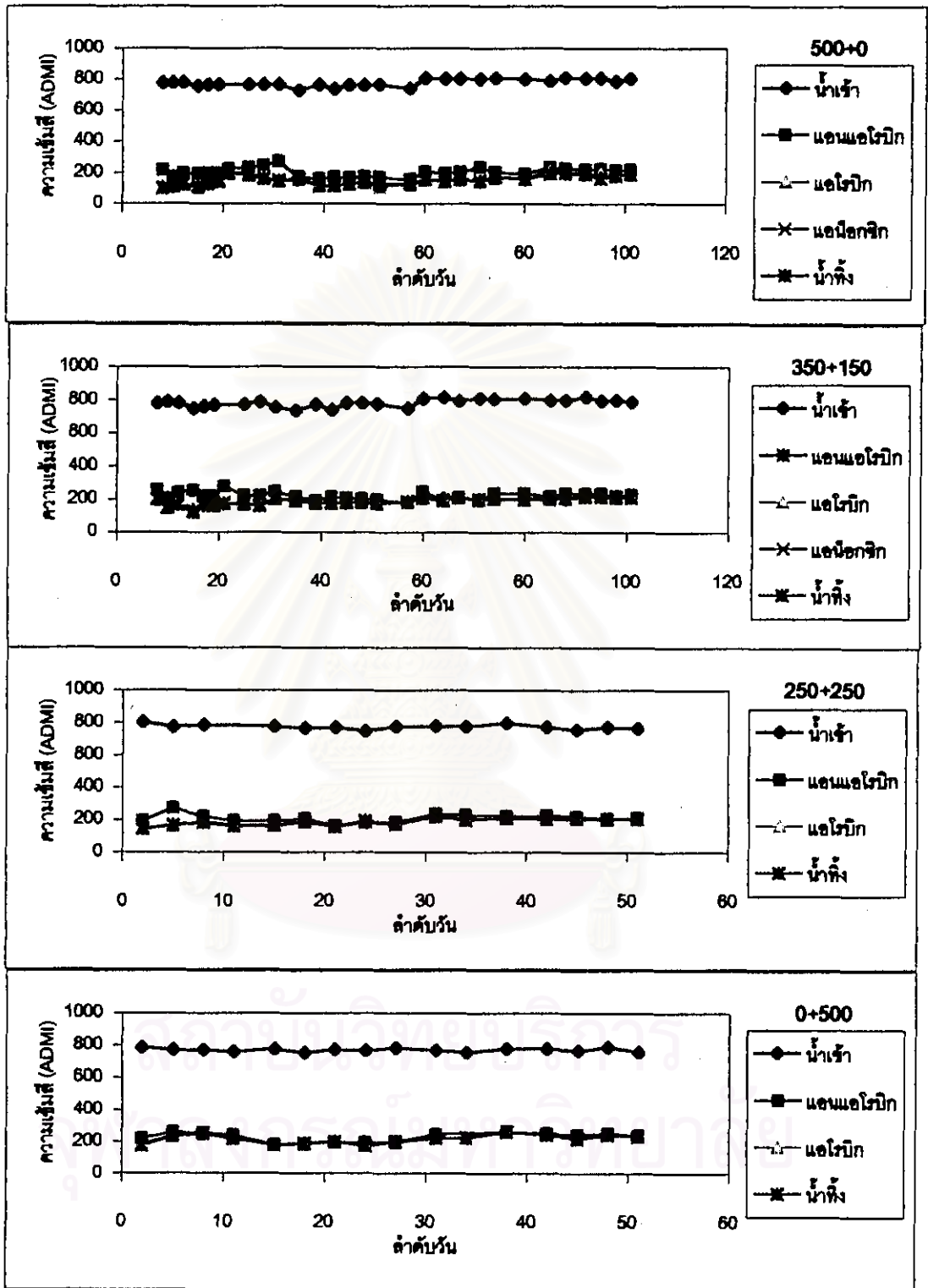


รูปที่ 4.24 ความชื้นดีในหน่วย SU ในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง

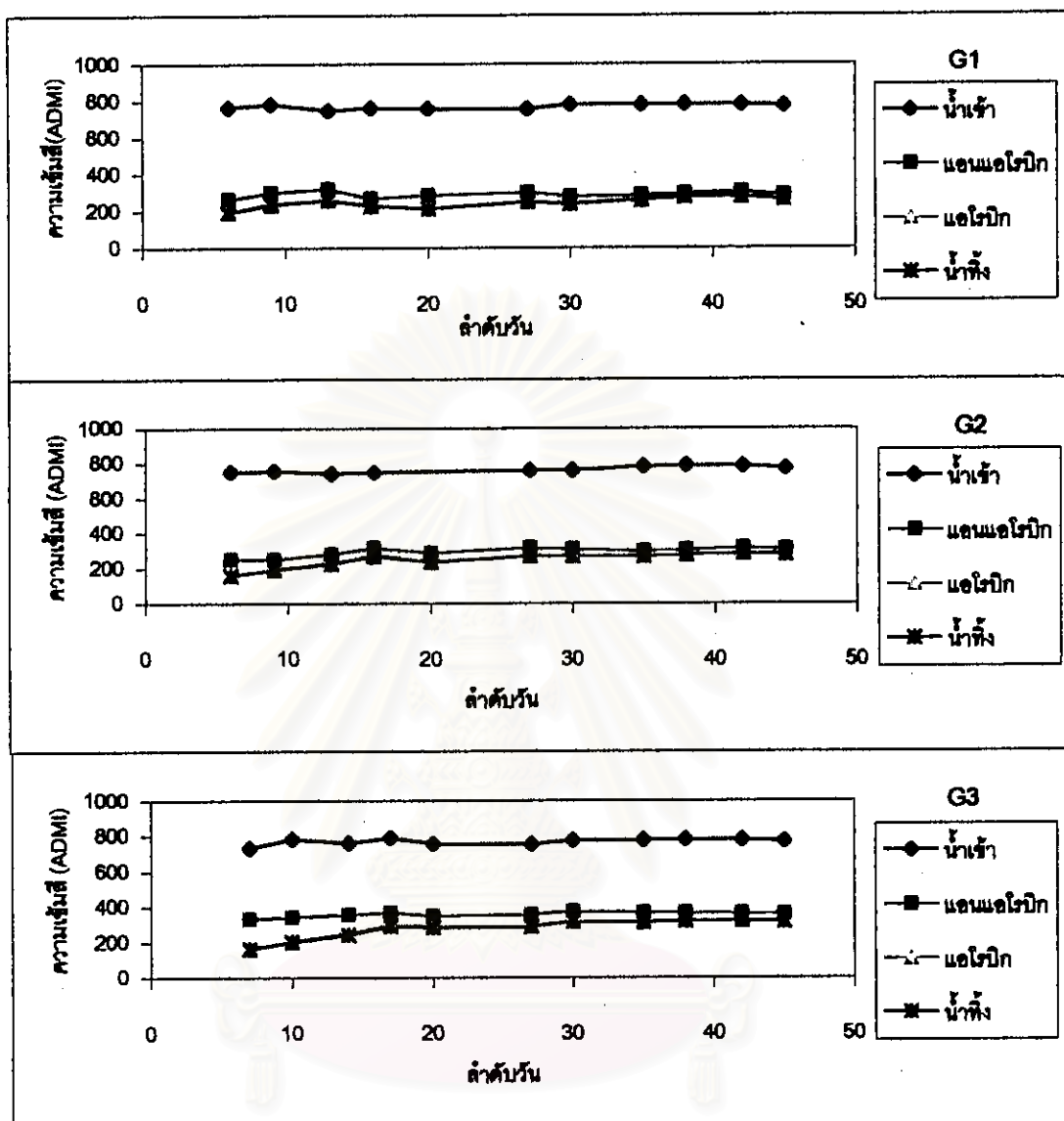


รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นในหน่วย SU ในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

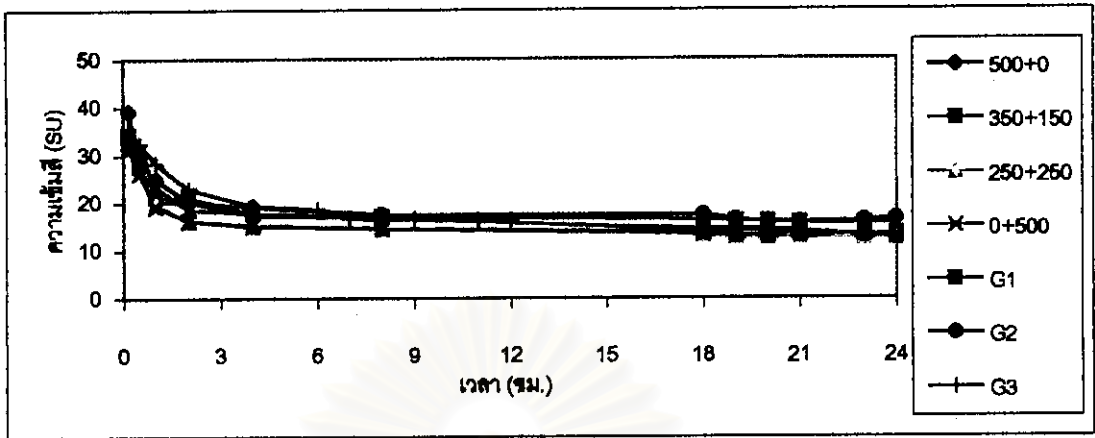


รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นในหน่วย ADMI ในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง

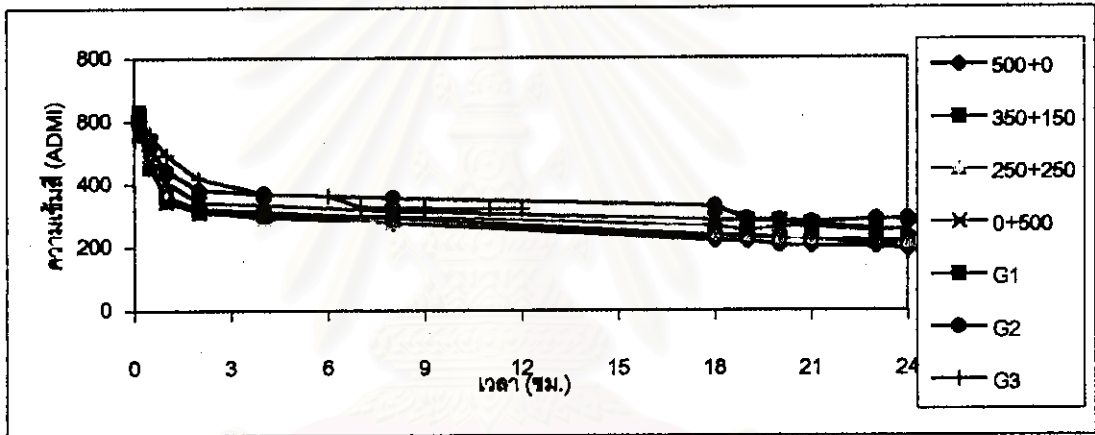


รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นในหน่วย ADM ในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละชุดทดลอง(ต่อ)

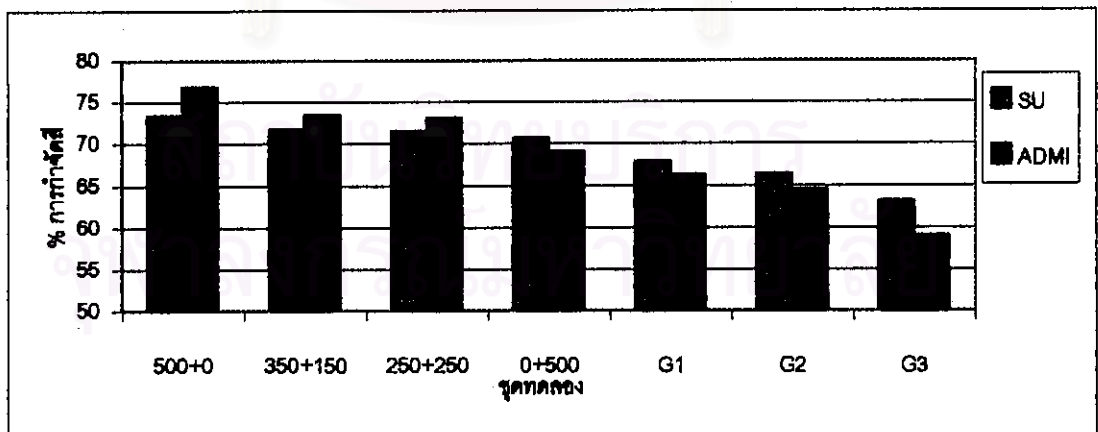
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 โพรไฟล์การกำจัดสีในหน่วย SU ในแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.27 โพรไฟล์การกำจัดสีในหน่วย ADMI ในแต่ละชุดทดลอง



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบในหน่วย SU และ ADMI ในแต่ละชุดทดลอง

ตารางที่ 4.13 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยช่วงสถานะคงตัว

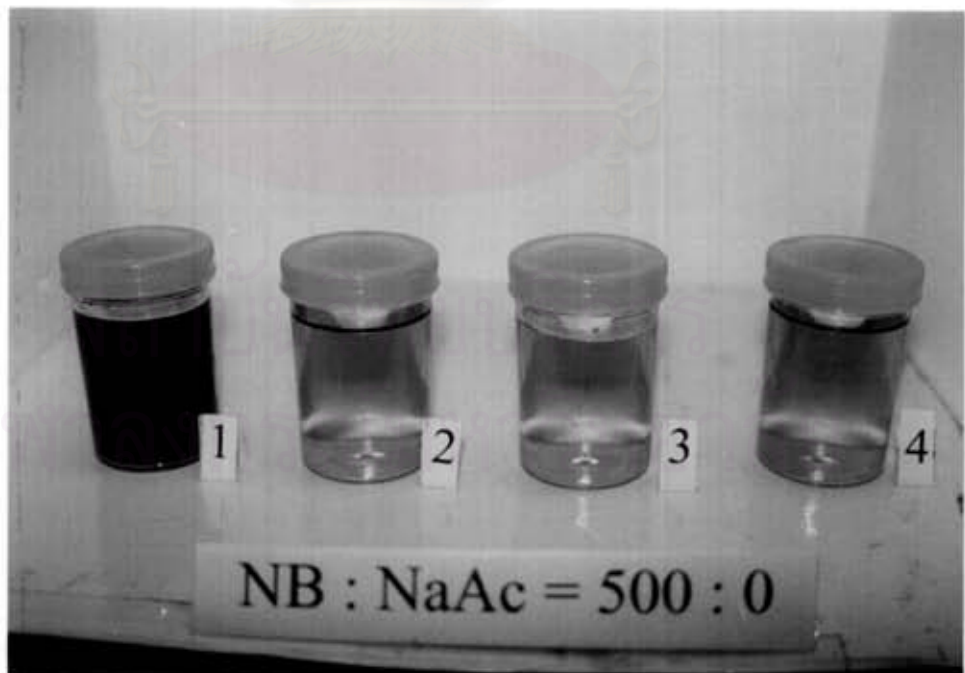
หน่วย	ช่วงเวลา	NB+NaAc				กฏโคส		
		500+0	350+150	250+250	0+500	G1	G2	G3
SU	น้ำเข้า	47.2	46.7	45.3	44.9	45.9	45.7	45.8
	แอนแอโรบิก	13.8	13.8	12.9	14.3	17.0	17.0	18.6
	แอโรบิก	12.7	13.3	12.7	13.8	15.2	15.6	16.7
	น้ำทิ้ง	12.6	13.2	12.8	13.2	14.8	15.4	16.9
ADMI	น้ำเข้า	803.8	801.3	772.2	774.9	777.9	776.4	778.4
	แอนแอโรบิก	222.1	231.0	218.7	251.8	291.2	308.0	367.5
	แอโรบิก	193.7	214.8	207.7	242.9	265.5	278.4	318.2
	น้ำทิ้ง	186.9	212.9	208.2	240.0	262.7	276.7	319.3

4.5.1 ผลของสารอาหารต่อการกำจัดดี

จากรูปที่ 4.28 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการกำจัดดีจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นที่หน่วย SU และ ADMI ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดดีไม่แตกต่างกันนัก สามารถใช้ค่าความเข้มข้นทั้งสองหน่วยเป็นตัวแทนในการวัดดีที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ดี แต่ถ้าความเข้มข้นดีสูง ต้องทำการเจือจางก่อนวัดค่าความเข้มข้นในทั้งสองหน่วย และเมื่อได้ค่าความเข้มข้นดีผ่านการเจือจางแล้ว การหาความเข้มข้นดีที่แท้จริงในหน่วย SU สามารถดูอัตราส่วนการเจือจางได้โดยตรง แต่การหาความเข้มข้นดีที่แท้จริงในหน่วย ADMI ต้องทำการปรับสูตรในการคำนวณ ซึ่งทำให้การวัดความเข้มข้นดีสูงๆ เกิดความผิดพลาดจากการเจือจางและการคำนวณได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ดีที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะต้องใช้ฝีมือในการทำเจือจางที่ละเอียดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และมีการปรับสูตรในการคำนวณให้ถูกต้องด้วย จากประสิทธิภาพในการลดดีของชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0, 350+150, 250+250 และ 0+500 และชุด G1, G2 และ G3 เท่ากับร้อยละ 73.3, 71.7, 71.4, 70.6, 67.8, 66.3 และ 63.1 ในหน่วย SU และเท่ากับร้อยละ 76.7, 73.4, 73.0, 69.0, 66.2, 64.4 และ 59.0 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ เห็นได้ว่าการใช้ NB+NaAc ทุกชุดทดลองให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีดีกว่าการใช้กฏโคสเล็กน้อย และจากรูปที่ 4.26 และ 4.27 ซึ่งแสดงโพรไฟล์การกำจัดดีทั้งสองหน่วย ก็สามารถลดดีภายในเวลา 1 – 2 ชม.แรกในช่วงแอนแอโรบิก และเมื่อถึงจุดคงตัวแล้วเห็นได้ว่า ดีที่ผ่านการบำบัดมีการเปลี่ยน

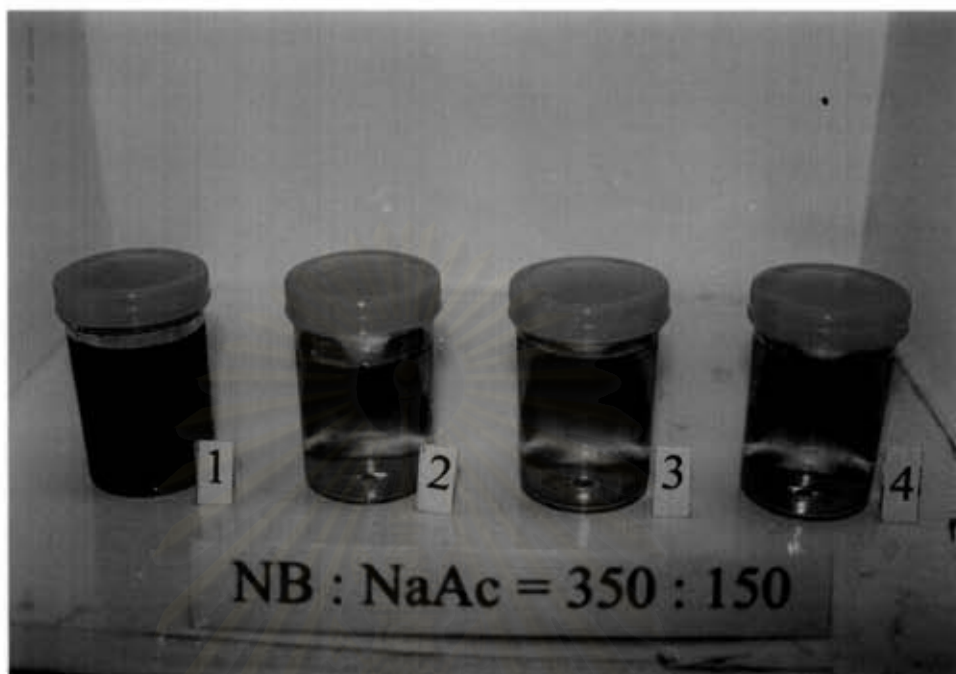
โตนติจากสีน้ำเงินเข้ม ไปเป็นสีม่วงอมชมพู แสดงค่าภาพที่ 4.2 - 4.8 และมีการเปลี่ยนค่าของความยาวคลื่นที่สูงสุด(λ_{max}) จาก 595 นาโนเมตร เป็น 555 นาโนเมตร ซึ่งแสดงว่าการกำจัดสีเกิดจากการแตกพันธะอะโซ ส่วนการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดสีของ PAOs และ GAOs แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีในชุดทดลอง G1(PAOs) มีค่าไม่แตกต่างกับชุดทดลอง G2(GAOs)อย่างมีนัยสำคัญ หรือกล่าวได้ว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดมีความสามารถในการกำจัดสีได้พอๆกัน

ดังนั้นในการกำจัดสีทางชีวภาพก็เพียงแต่ใช้ระบบชีวภาพที่มีทั้งชั้นคอนแอนแอโรบิกและค่อทำยด้วยชั้นคอนแอโรบิกก็เพียงพอ โดยไม่ต้องสนใจว่าเป็น PAOs หรือ GAOs โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหารมากกว่า ซึ่งขึ้นกับว่าสารอาหารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับแบคทีเรียกำจัดสีนั้นๆสามารถใช้ได้ง่ายหรือยากเพียงใด แต่อย่างไรก็ตามจากการวิจัยนี้พบว่าสารอาหารที่ใช้มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นและฟอสฟอรัสมากกว่า การกำจัดสีและซีไอดี ดังนั้นในการกำจัดสีร่วมกับการจัดน้ำเสียชุมชนที่มีธาตุอาหารนี้จึงควรให้ความสนใจติดตามผลของระบบในการกำจัดธาตุอาหารมากกว่า



1- น้ำเข้า, 2- ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4- น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.2 สีในชั้นคอนต่างๆ ของชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 500+0



1- น้ำเข้า, 2- ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4- น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.3 สีในชั้นตอนต่างๆ ของชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 350+150



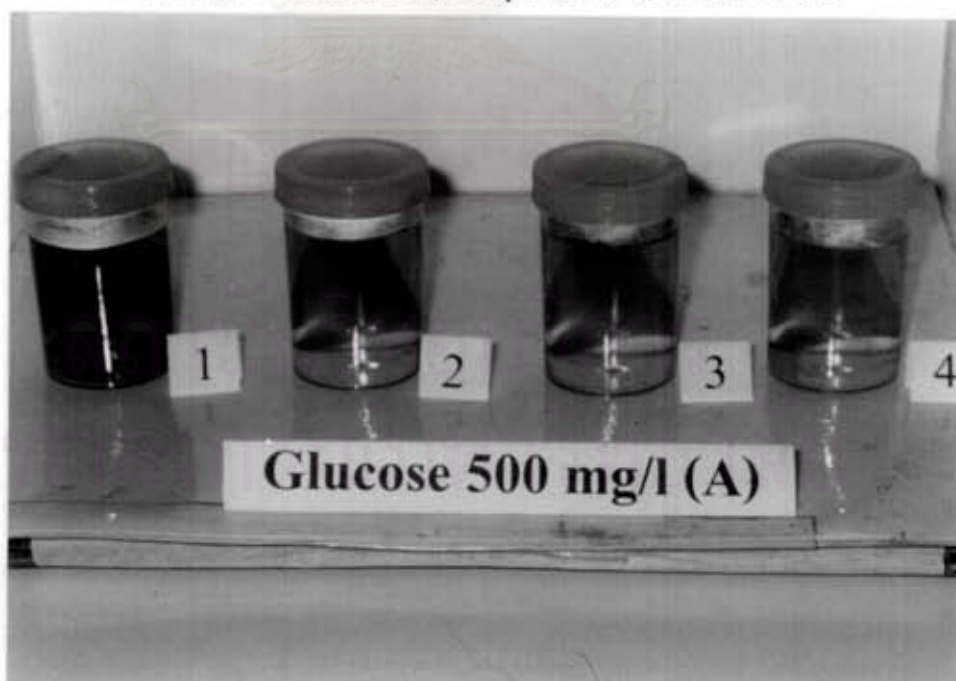
1- น้ำเข้า, 2- ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4- น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.4 สีในชั้นตอนต่างๆ ของชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 250+250



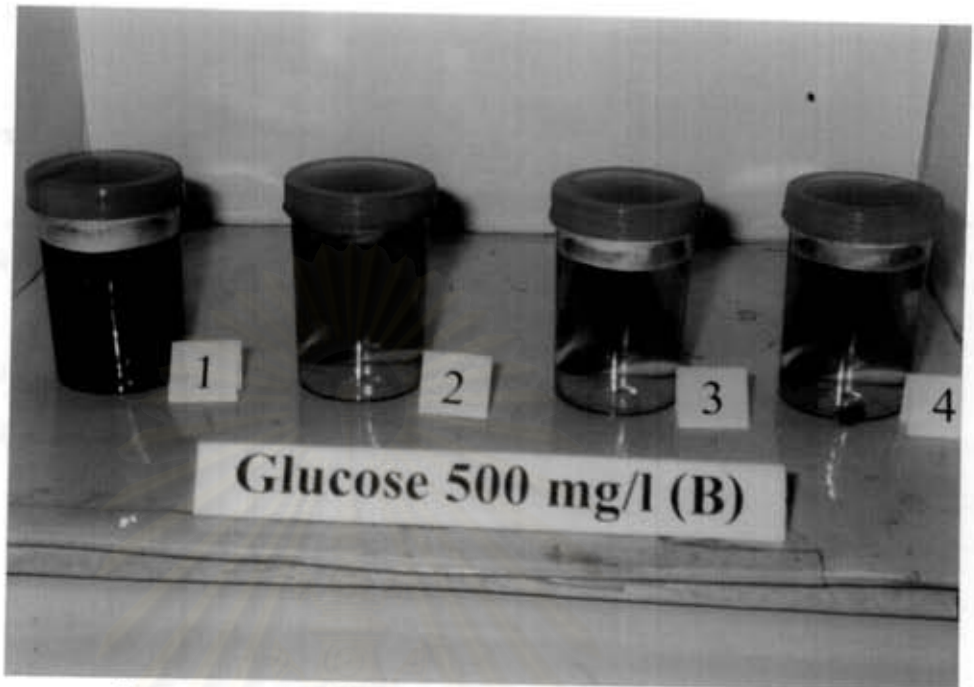
1 - น้ำเข้า, 2 - ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4 - น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.5 สีในชั้นคอนต่างๆ ของชุดทดลอง NB+NaAc ที่ 0+500



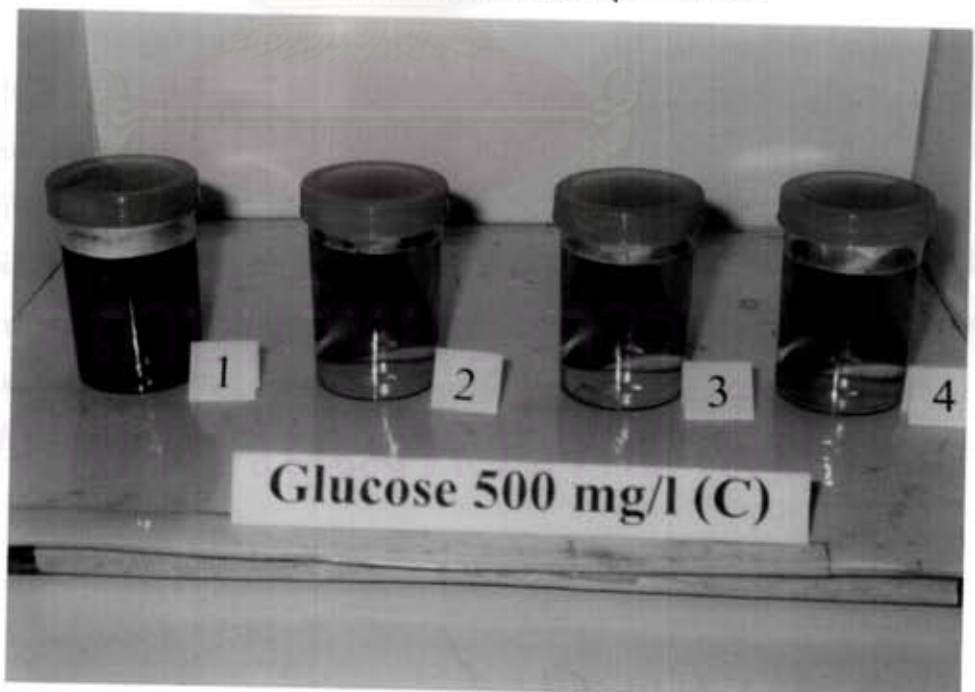
1 - น้ำเข้า, 2 - ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4 - น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.6 สีในชั้นคอนต่างๆ ของชุดทดลอง G1



1 - น้ำเข้า, 2 - ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4 - น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.7 สีในชั้นตอนต่างๆ ของชุดทดลอง G2



1 - น้ำเข้า, 2 - ปลายแอนแอโรบิก, 3- ปลายแอโรบิก และ 4 - น้ำทิ้ง

ภาพที่ 4.8 สีในชั้นตอนต่างๆ ของชุดทดลอง G3

ตารางที่ 4.14 สรุปการกำจัดของ PAOs และ GAOs

สารอาหาร	การกำจัดฟอสฟอรัส (%)	จุดวัด	การกำจัด (%)	
			SU	ADMI
NB+NaAc				
500+0	99.3	PAOs	73.3	76.7
350+150	100	PAOs	71.7	73.4
250+250	78.7	PAOs	71.4	73.0
0+500	45.9	non-active PAOs	70.6	69.0
Glucose				
G1	67.7	PAOs + GAOs	67.8	66.2
G2	98.1	GAOs	66.3	64.4
G3	38.7	GAOs	63.1	59.0

4.5.2 ผลของเวลาแอนแอโรบิกต่อการกำจัด

ในชุดทดลอง G3 มีการลดช่วงเวลาแอนแอโรบิกจาก 18 ชม. ลงเหลือ 6 ชม. จากรูปที่ 4.28 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของชุด G1 และ G3 ซึ่งเป็นชุดที่ใช้สารอาหารเหมือนกัน แตกต่างกันแค่ช่วงเวลาแอนแอโรบิก พบว่าในชุด G3 มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าชุด G1 ซึ่งแสดงว่าช่วงเวลาแอนแอโรบิกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ โดยในการบำบัดน้ำเสียที่น่าจะมีการหาช่วงเวลาแอนแอโรบิกที่เหมาะสมต่อการกำจัดนั้นๆ เพื่อให้ได้ช่วงเวลาแอนแอโรบิกที่นานเพียงพอสำหรับการกำจัดนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย