

**EFFICIENCY OF ATTACHED-GROWTH WASTE STABILIZATION PONDS  
FOR NUTRIENT REMOVAL FROM DAIRY WASTEWATER**

**Miss Kalaya Pattanichanon**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of  
Engineering in Environmental Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2001  
ISBN 974-533-048-5**

ประสิทธิภาพของบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวสำหรับกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียโรงงาน

ผลิตภัณฑ์นม

นางสาว กัลยา พัฒตานิชานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-048-5

กัลยา พัตตานิชานนท์ : ประสิทธิภาพของบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวสำหรับกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียโรงงานผลิตภัณฑ์นม (EFFICIENCY OF ATTACHED-GROWTH WASTE STABILIZATION PONDS FOR NUTRIENT REMOVAL FROM DAIRY WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ, 70หน้า.  
ISBN 974-533-048-5

การศึกษาวัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียโรงงานผลิตภัณฑ์นมด้วยระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหาร, เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดระหว่างบ่อปรับเสถียรและบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว และหาค่าระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมกับระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว โดยได้ทำการที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ค่า คือ 40, 30, 20 และ 10 วัน จากการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 40 วันเป็นระยะเวลาที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดระหว่างบ่อปรับเสถียรและบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวในแต่ละระยะเวลาเก็บกักพบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ยกเว้นเพียงค่า  $\text{NO}_3^-$  ที่ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าระบบบ่อปรับเสถียร เนื่องจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่สูงกว่า ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่ติดอยู่กับผิวดักกลาง จึงทำให้มีปริมาณ  $\text{NO}_3^-$  ในน้ำออกที่สูงกว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวสามารถลดค่า  $\text{BOD}_5$  ได้ 73.7-92.9%, COD 73.7-91.4%, TKN 56.8-86.1%, TP 57.6-75.8%,  $\text{NO}_3^-$  56.6-89.5% และ TSS 84.6-94.4% ในขณะที่ระบบบ่อปรับเสถียรสามารถลดค่า  $\text{BOD}_5$  ได้ 60.0-87.0%, COD 58.1-83.4%, TKN 51.5-83.6%, TP 51.5-67.0%,  $\text{NO}_3^-$  72.6-94.7% และ TSS 73.3-84.3% ทั้งนี้เนื่องจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีปริมาณมวลชีวภาพสูงกว่า อันเนื่องจากตัวกลางที่ไต่ลงไปภายในบ่อ ซึ่งจะทำให้เกิดการนำสารอินทรีย์และสารอาหารจากน้ำเสียไปใช้โดยจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

KALAYA PATTANICHANON : EFFICIENCY OF ATTACHED-GROWTH WASTE  
STABILIZATION PONDS FOR NUTRIENT REMOVAL FROM DAIRY  
WASTEWATER

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D. 70PP.

ISBN 974-533-048-5

This research was concerned with nutrient removal from dairy wastewater, using an attached-growth waste stabilization pond, so as its objectives to compare the efficiency with that of ordinary pond and to determine its optimum hydraulic retention time. With the hydraulic retention times of 40, 30, 20, and 10 d used in the experiments, it was found that 40-d retention gave the highest removal efficiency and it decreased in concurrent with the retention time. Also in all experimental cases, the attached-growth pond had the better removal efficiencies than did the ordinary pond; except for  $\text{NO}_3^-$  removal. This is because the water content in the attached-growth pond contained higher dissolved oxygen, which was produced by photosynthetic reaction from the algal mass attached to the media. The following removal efficiencies were obtained in the attached-growth pond,  $\text{BOD}_5 = 73.7-92.9\%$ ,  $\text{COD} = 73.7-91.4\%$ ,  $\text{TKN} = 56.8-86.1\%$ ,  $\text{TP} = 57.6-75.8\%$ ,  $\text{NO}_3^- = 56.6-89.5\%$ , and  $\text{TSS} = 84.6-94.4\%$ ; while in the ordinary pond,  $\text{BOD}_5 = 60.0-87.0\%$ ,  $\text{COD} = 58.1-83.4\%$ ,  $\text{TKN} = 51.5-83.6\%$ ,  $\text{TP} = 51.5-67.0\%$ ,  $\text{NO}_3^- = 72.6-94.7\%$ , and  $\text{TSS} = 73.3-84.3\%$ . These resulted from the higher biomass attached to the media that brought about the removal of organics and nutrients in the wastewater.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
  - ดร. อุดมผล พิษณุไพบูลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
  - ดร. ชรรมรัตน์ กุศตะเทพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
  - ผู้จัดการโรงแรม ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, บุคลากรประจำโรงแรมทุกท่าน บุคลากรประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อำนวยความสะดวก และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ
  - คุณณัฐพงศ์ เชาวลิต ที่กรุณาช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
- ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

กัลยา พัตตานิชานนท์

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย .....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
<b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ระบบบ่อปรับเสถียร .....	3
2.2 ระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิว.....	7
2.3 การกำจัดสารอาหาร .....	7
2.4 ไนโตรเจน .....	8
2.5 ฟอสฟอรัส.....	12
2.6 การศึกษาสารติดตาม.....	14
2.7 จลนศาสตร์ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิว.....	14
2.8 แบบจำลองของการกำจัดไนโตรเจน .....	15
2.9 แบบจำลองการกำจัดฟอสฟอรัส.....	16
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>17</b>

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.1	การจัดตั้งระบบ.....7
3.2	สถานะในการทดลอง.....17
3.3	ขั้นตอนการทดลอง.....19
3.4	วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย .....19
3.5	ตัวแปรที่ทำการวิจัย .....20
<b>4</b>	<b>ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล .....21</b>
4.1	การศึกษาสารติดตาม .....21
4.2	ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตภัณฑ์นมที่ทำการสังเคราะห์ขึ้น .....24
4.3	การวิเคราะห์ข้อมูล .....24
4.4	มวลชีวภาพและสาหร่าย.....32
4.5	น้ำที่ผ่านจากระบบเมื่อนำไปผ่านการกรอง .....36
4.6	การหาจลนศาสตร์ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติด.....36
4.7	แบบจำลองการกำจัดไนโตรเจน .....37
4.8	แบบจำลองการกำจัดฟอสฟอรัส.....39
4.9	แบบจำลองการกำจัดโดยการทดสอบทางสถิติ.....39
<b>5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....43</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย.....43
5.2	ข้อเสนอแนะ.....44
รายการอ้างอิง	.....45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	การศึกษาสารติดตาม .....47
ภาคผนวก ข.	ข้อมูลของผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของ ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว .....52
ภาคผนวก ค.	ผลการทดสอบทางสถิติ.....69

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงการทดลองและวิธีการทดลอง ..... 19
3.2	แสดงตัวแปรที่ทำการวิจัย ..... 20
4.1	ลักษณะของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น เพื่อใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง ..... 24
4.2	ความเข้มข้นของปริมาณมวลชีวภาพในระบบ ..... 34
4.3	แสดงปริมาณมวลชีวภาพต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง ..... 34
4.4	ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอในระบบ ..... 35
4.5	แสดงค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัด COD ในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ .... 36
4.6	ข้อมูลการกำจัด TKN จากการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว ..... 37
4.7	ข้อมูลการกำจัด TKN จากการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียร ..... 37
4.8	ค่าคงที่การกำจัด TKN จากการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว ..... 38
4.9	ค่าคงที่การกำจัด TKN จากการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียร ..... 38
4.10	การพิจารณาระดับนัยสำคัญในการทดสอบสมการถดถอยเชิงเส้น ของการกำจัดฟอสฟอรัส ..... 39
4.11	การพิจารณาระดับนัยสำคัญในการทดสอบสมการถดถอยเชิงเส้น ของการกำจัดไนโตรเจน ..... 42
5.1	สรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดระหว่างระบบบ่อ ปรับเสถียรแบบติดผิวกับระบบบ่อปรับเสถียร ..... 44
1ก	ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษาสารติดตาม ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว ..... 48
2ก	ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษาสารติดตามของระบบบ่อปรับเสถียร ..... 50
1ข	ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อ ปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 40 วัน ..... 53
2ข	ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อ



## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3ข	ปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน.....55 ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อ ปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน .....57
4ข	ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อ ปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน .....59
5ข	ผลการศึกษาทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 40 วัน .....61
6ข	ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 40วัน .....61
7ข	ผลการศึกษาทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน .....62
8ข	ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 30วัน .....62
9ข	ผลการศึกษาทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน .....63
10ข	ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 20วัน .....63
11ข	ผลการศึกษาทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน .....64
12ข	ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคกที่ของระยะเวลาเก็บกัก 10วัน .....64
13ข	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว.....65
14ข	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว แบบผ่านการกรอง .....66
15ข	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อปรับเสถียร.....67
16ข	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อปรับเสถียรแบบผ่านการกรอง .....68
1ค	การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดฟอสฟอรัส ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว..... 70
2ค	การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดฟอสฟอรัส ของระบบบ่อปรับเสถียร ..... 70
3ค	การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดไนโตรเจน ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว..... ..70
4ค	การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดไนโตรเจน ของระบบบ่อปรับเสถียร ..... 70

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอโรบิก .....5
2.2	ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแฟลลเททีฟ.....5
2.3	ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอโรบิก.....6
2.4	การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยขบวนการทางชีวภาพ .....11
3.1	แสดงภาพตัดด้านบนของบ่อ.....18
3.2	แสดงภาพตัดด้านข้างของบ่อ .....18
3.3	แสดงภาพโดยรวมของระบบ .....18
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหลืออยู่(C) กับ HRT ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว.....22
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหลืออยู่(C) กับ HRT ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบ .....23
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด COD กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร .....25
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด BOD <sub>5</sub> กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร .....27
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด TKN กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร .....28
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร .....30
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด TP กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร .....31
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด TSS กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร .....33

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9	ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P_0/P_c$ กับ HRT ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว.....40
4.10	ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P_0/P_c$ กับ HRT ของระบบบ่อปรับเสถียร.....41

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AGWSP	=	ระบบบำบัดเสถียรแบบติดผิว
BOD	=	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand)
C	=	ความเข้มข้น
COD	=	ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand)
d	=	ค่ากระจายตัวของการไหล
HRT	=	ระยะเวลาเก็บกัก
m <sup>3</sup>	=	ลูกบาศก์เมตร
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	=	Nitrate
pH	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
t	=	ระยะเวลาเก็บกัก
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus
TSS	=	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)
WSP	=	ระบบบำบัดเสถียร
OLR	=	อัตราการระสารอินทรีย์
$\sigma^2$	=	ค่าความแปรปรวน

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

โรงงานผลิตภัณฑนมเป็นหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ ซึ่งโรงงานจะผลิตน้ำเสียออกมาเป็นจำนวนมาก โดยในน้ำเสียจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารอาหารและของแข็งในปริมาณที่สูง ซึ่งจะทำให้มีปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูงด้วย ดังนั้นควรมีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้วิธีที่สามารถลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดี เพราะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญของสาหร่าย ซึ่งจะส่งผลทำให้มีปริมาณสาหร่ายจำนวนมากในแหล่งน้ำ จนทำให้เสียสมดุลทางธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมตามมา ดังเช่น ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) คือปรากฏการณ์อันเนื่องมาจากแหล่งน้ำนั้นมีสารอาหารมากเกินไป ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำได้อย่างรวดเร็ว ในเวลากลางคืนพืชน้ำเหล่านี้จะมีการใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการหายใจ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในแหล่งน้ำลดลงซึ่งก่อให้เกิดปัญหาภาวะที่ขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และเมื่อพืชน้ำเหล่านี้มีการตายทับถมกันทำให้เกิดการเน่าเสียทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นต้น และเนื่องจากโรงงานผลิตนมมีปริมาณสารอินทรีย์และสารอาหารที่สูง วิธีการบำบัดที่เหมาะสมจึงควรใช้วิธีการบำบัดทางชีววิทยา เนื่องจากจุลินทรีย์จำเป็นที่จะต้องใช้สารอาหารในการเจริญเติบโต อีกทั้งยังจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีบำบัดด้านอื่น วิธีทางชีวภาพที่เลือกมาใช้ในการทำการวิจัยนี้คือ ระบบบ่อปรับเสถียร (Waste Stabilization Ponds)

#### 1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จากน้ำเสียจากโรงงานผลิตภัณฑนมด้วยระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

1.2.2 เพื่อศึกษาค่าระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม ในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตภัณฑนมด้วยระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.3.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งก่อนเข้าและผ่านระบบบำบัด โดยได้ทำการหาพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ เช่น Temperature, pH, COD, BOD<sub>5</sub>, TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> เป็นต้น

1.3.2 วิเคราะห์หาค่าระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม กับระบบบ่อบำบัดแบบตีคิ้วที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตภัณฑ์นม

1.3.3 วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จากการใช้ระบบบ่อบำบัดแบบตีคิ้ว

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบบ่อปรับเสถียร

ระบบบ่อปรับเสถียร (Waste Stabilization Ponds ; WSP) เป็นระบบที่บำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชนเล็กๆและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งระบบบ่อปรับเสถียรมีข้อดีคือค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและซ่อมบำรุงต่ำเนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกลมากนัก แต่อย่างไรก็ตามระบบบ่อปรับเสถียรเป็นระบบที่ต้องอาศัยการพึ่งพากันภายในบ่อระหว่างแบคทีเรียกับสาหร่าย และจะต้องมีปริมาณความหนาแน่นของจุลินทรีย์ที่ต่ำด้วย ดังนั้นในการออกแบบและเดินระบบจะต้องสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ต่ำ ซึ่งเป็นผลทำให้ต้องมีการสร้างบ่อที่ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงบ่อ ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากขึ้นเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นภายในบ่อ โดยมีการใช้ตัวกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งระบบนั้นเรียกว่าระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว (Attached-Growth Waste Stabilization Ponds)

งานวิจัยส่วนมากของระบบบ่อปรับเสถียร จะอธิบายถึงขบวนการภายในบ่อ ปรับปรุงวิธีการดำเนินงานของบ่อและศึกษาการประยุกต์สำหรับใช้งานกับบ่อ ประเด็นสำคัญของงานวิจัยทั้งหมดที่เกี่ยวกับบ่อก็คือมวลชีวภาพ ซึ่งเป็นตัวสำคัญทั้งที่เจริญเติบโตแบบที่เกาะติดกับผิวตัวกลาง (Attached-growth) และแบบที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย (Dispersed-growth) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว ซึ่งจากการวิจัยพบว่าระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวสามารถเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพได้มากซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวกลางด้วย (Shin, 1987)

ระบบบ่อปรับเสถียรสามารถจำแนกประเภทตามปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond), บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) และบ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

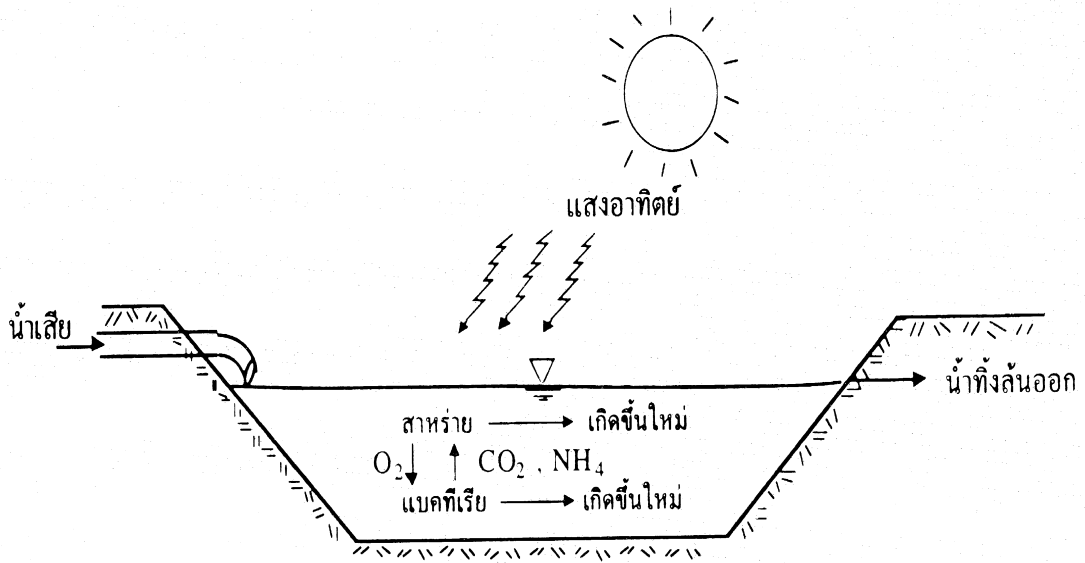
บ่อแอโรบิก คือบ่อที่มีขนาดใหญ่ ใช้แสงแดดช่วยให้เกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งจะบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียและสาหร่าย บ่อชนิดนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ บ่อ

ผลิตสาหร่ายซึ่งจะมีขนาดความลึกของน้ำเท่ากับ 15-45 เซนติเมตรเท่านั้น และอีกประเภทหนึ่งคือ บ่อเพิ่มออกซิเจนซึ่งจะมีความลึกของน้ำเท่ากับ 1.5 เมตร ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.1 ซึ่งอาศัยหลักการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์และสาหร่ายภายในบ่อ อย่างไรก็ตามระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระดับหนึ่ง แต่จะมีพวกสาหร่ายเจริญเติบโตมากมาย ซึ่งเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าได้ เนื่องจากสาหร่ายต่างๆ เหล่านี้ไปแย่งใช้ออกซิเจน ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีระบบกรองน้ำทิ้งที่ผ่านบ่อแอโรบิกมาแล้ว (เกรียงศักดิ์, 2539)

บ่อแฟคัลเททีฟ บ่อประเภทนี้จะมีแบคทีเรียทั้งสามชนิดคือ แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) และแฟคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative bacteria) ซึ่งจะมีปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2 (เกรียงศักดิ์, 2539) สภาพช่วงบนของระบบจะเป็นแบบแอโรบิก โดยที่ผิวน้ำมีการถ่ายเทของอากาศทำให้ได้รับออกซิเจน เนื่องจากน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบจะมีธาตุอาหารของพืชอุดมสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการเติบโตของสาหร่ายจำนวนมาก ช่วงบนของบ่อจะมีแสงแดดส่องลงไป สาหร่ายจะสังเคราะห์แสงด้วยคลอโรฟิลล์และสารอินทรีย์ซึ่งผ่านการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในบ่อมาแล้ว การสังเคราะห์แสงจะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมา จุลินทรีย์จะใช้ก๊าซออกซิเจนนี้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเป็นอาหารสำหรับการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นพลังงาน การดำรงชีวิตของสาหร่ายและจุลินทรีย์ในบ่อจึงเป็นแบบพึ่งพากันและกัน (Symbiosis) บ่อช่วงล่างซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึงและมีปริมาณออกซิเจนน้อยหรือไม่มี จะอยู่ในสภาวะแบบแอนแอโรบิก จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซต่างๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ก๊าซไข่เน่า แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นเหม็น

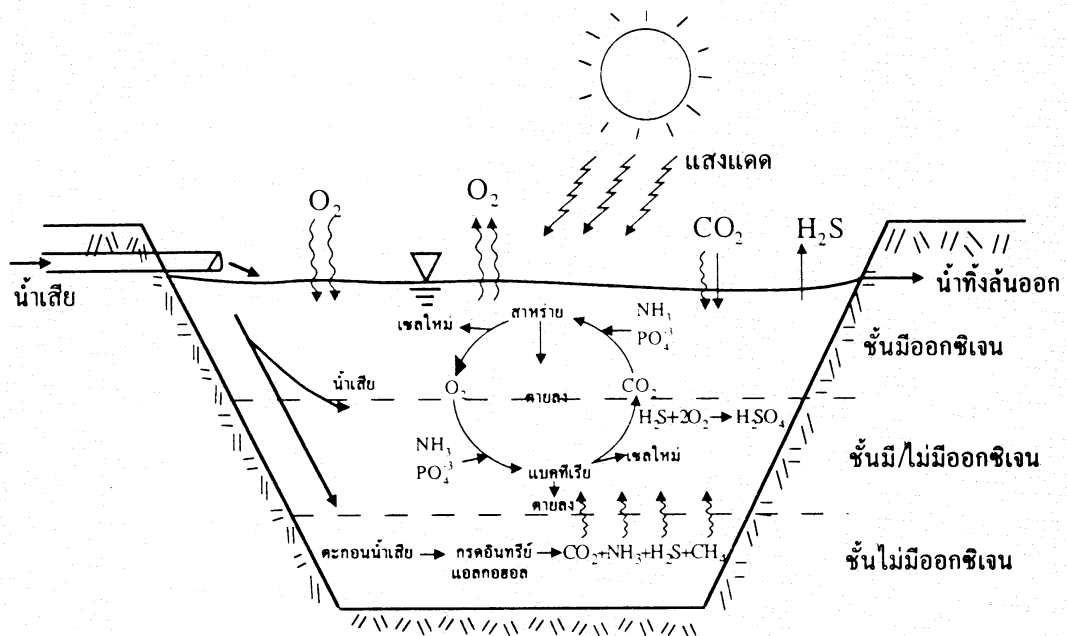
บ่อแอนแอโรบิก บ่อบำบัดแบบนี้เรียกว่าบ่อหมัก บ่อหมักเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียขั้นต้นนิยมใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์มากๆ และจะมีตะกอนค่อนข้างมากด้วย เพื่อลดปริมาณความเน่าเสียก่อนจะบำบัดในขั้นต่อไป น้ำเสียประเภทนี้โดยมากเป็นน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร (เกรียงศักดิ์, 2539) ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.3 โดยที่น้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบจะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายและแปรสภาพเป็นน้ำกับก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ก๊าซไข่เน่า ทำให้การบำบัดมีกลิ่นเหม็น น้ำหลังการบำบัดยังมีความสกปรกหลงเหลืออยู่ จึงควรมีการบำบัดขั้นที่สองก่อนจะปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะ





ภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอโรบิก

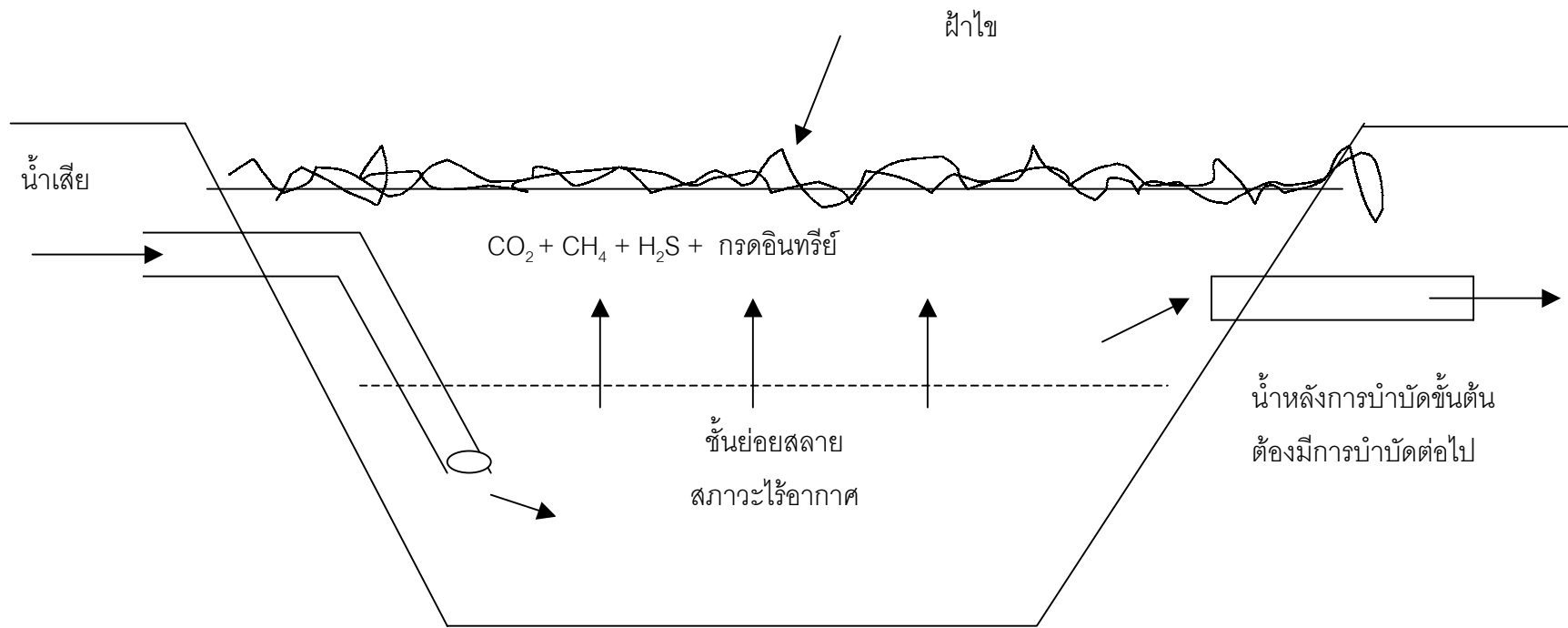
หมายเหตุ การบำบัดน้ำเสีย(249), เกรียงศักดิ์, 2539, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์



ภาพที่ 2.2 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแฟคัลเททีฟ

หมายเหตุ การบำบัดน้ำเสีย(252), เกรียงศักดิ์, 2539, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์





ภาพที่ 2.3 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอโรบิก  
 หมายเหตุ การบำบัดน้ำเสีย(257), เกรียงศักดิ์, 2539, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์

## 2.2 ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว (Attached-Growth Waste Stabilization Ponds ;AGWSP) เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบบ่อปรับเสถียร โดยมีการใช้ตัวกลางเข้ามาช่วยในการบำบัด ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีระบบหนึ่ง เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้เครื่องจักรกลเติมอากาศเข้ามาช่วย แต่จะอาศัยตัวกลางในการบำบัด ซึ่งจะไปเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดที่ผิวของตัวกลางได้ (Polprasert and Shin , 1987) ทำให้ภายในบ่อมีปริมาณจุลินทรีย์มากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมากยิ่งขึ้น

ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆที่ปะปนมากับน้ำเสีย โดยพื้นฐานของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว คือจะมีการใส่ตัวกลางลงไป ในบ่อ ตัวกลางจะเป็นของที่สังเคราะห์ขึ้นมาซึ่งจะไม่เกิดการย่อยสลาย มวลชีวภาพที่สามารถเกาะติดได้ก็จะเกาะและเจริญเติบโตอยู่ที่ผิวหน้าของตัวกลาง ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของมวลชีวภาพทั้งหมดภายในบ่อ จุลินทรีย์หลักที่อยู่ในระบบ คือ สาหร่ายและแบคทีเรียทั้งในรูปแบบของ attached-growth และ dispersed-growth

## 2.3 การกำจัดสารอาหาร

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารหลักที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปนเปื้อนมาด้วย จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันกับแหล่งน้ำที่ทำการปล่อยน้ำเสียลงไป และจะเป็นตัวกระตุ้นการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำในแหล่งน้ำที่ต้นเงิน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเจริญเติบโตของสาหร่ายและแบคทีเรีย ซึ่งจะเห็นได้จากสูตรโครงสร้างเซลล์แบคทีเรีย  $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$  (Metcalf & Eddy, 1991) และเซลล์สาหร่าย  $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P$  (AWWA, 1970) ตั้งแต่มีระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว ทำให้มีความหนาแน่นของมวลชีวภาพมาก ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดระหว่างระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรพบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่า (Janolino, 1988) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนดีกว่า (Shin, 1987) และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารดีกว่าระบบบ่อปรับเสถียร (Potprasart, 1995)

## 2.4 ไนโตรเจน

### 2.4.1 ไนโตรเจนในน้ำเสีย

สารประกอบไนโตรเจนที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับน้ำเสียแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

- (1) สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) และ ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2$ ) สารพวกนี้อาจอยู่ในรูปปุ๋ย เคลือบบนพืชผัสดำรง
- (2) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก สารดังกล่าวนี้ เป็นส่วนประกอบของร่างกายพืชและสัตว์ ในอุจจาระและในปัสสาวะที่ได้จากมูลสัตว์เป็นต้น

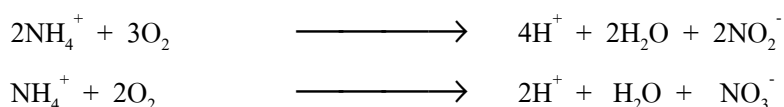
สาเหตุที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำเสีย ก็เพราะสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์โดยกระบวนการที่เรียกว่า มินอรัลไลเซชัน (Mineralization) ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการเกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สารอนินทรีย์ในรูปต่างๆก็อาจเปลี่ยนกลับไปได้โดยอาศัยแบคทีเรียเช่นกัน กระบวนการที่เกิดขึ้นเช่น แอมโมนิฟิเคชัน ไนตริฟิเคชันและ ดีไนตริฟิเคชัน ความสำคัญของกระบวนการมินอรัลไลเซชัน คือการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นรูปที่ละลายน้ำซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญกับ วัฏจักรในน้ำเสีย เพราะทำให้มีสารอาหารซึ่งพวกพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆในน้ำสามารถนำไปใช้ได้

### 2.4.2 ผลเสียต่อสภาพสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำเสียมีสารประกอบไนโตรเจน

น้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนปะปนอยู่เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติหลายประการ ดังนี้

- (1) เป็นพิษต่อสัตว์น้ำและปลา สารประกอบไนโตรเจนที่อาจเป็นพิษต่อสัตว์และปลาได้แก่ แอมโมเนียไนโตรเจนโดยปกติแอมโมเนียไนโตรเจนจะอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) เมื่อระดับ pH เท่ากับ 7 และจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากระดับ pH เพิ่มขึ้น จะมีผลให้แอมโมเนียไนโตรเจนจะเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนียอิสระในปริมาณ 0.01-2 มก./ลิตร หรือมากกว่าจะแสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าความเป็นพิษที่เกิดจากแอมโมเนียไนโตรเจนมีมากขึ้นตามระดับ pH ที่สูงขึ้น

(2) ทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) มีปริมาณลดต่ำลง น้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนเมื่อระบายลงสู่ลำน้ำสาธารณะ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นนี้ต้องการออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้คือ



(3) ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) สารประกอบไนโตรเจนโดยเฉพาะไนเตรทเมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำที่ขังนิ่ง เช่นทะเลสาบ หนองบึง จะทำให้สาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นเติบโตอย่างรวดเร็วและมากขึ้น จนในที่สุดสาหร่ายเหล่านี้จะตายไปและจะเกิดการทับถมกันบริเวณก้นของทะเลสาบและหนองบึงนั้นๆ เมื่อปริมาณมากขึ้นจะเกิดปัญหาการเน่าเหม็นและแหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียซึ่งจะเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อม

(4) เป็นอันตรายต่อสุขภาพและอนามัยของเด็กทารก น้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia หรือ Blue Babies กับทารกโดยไนเตรทจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเลือด เกิด Methemoglobin ซึ่งไม่สามารถรับส่งออกซิเจน ทำให้ทารกมีอาการหายใจไม่ออกและตัวเขียว ตามค่ามาตรฐานปริมาณไนเตรทไม่ควรเกิน 10 มก. / ลิตร ของไนโตรเจน

### 2.4.3 การกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจน โดยใช้ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมากมาย เช่น Shin(1987)ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวพบว่า การกำจัดไนโตรเจนในการทดลองแบบขนาดนาร่อง เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์และ 59 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแบบขนาดทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่ากำจัดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวกลางลงไปภายในบ่อ นอกจากนี้ Puetpaiboon(1996) ได้ทำงานวิจัยเรื่องการกำจัดไนโตรเจนในระบบบ่อปรับเสถียรแบบมีแผ่นบัฟเฟอร์ พบว่ามีการกำจัดไนโตรเจน 44.6 ถึง 82.2 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแบบขนาดทดลอง และ 44.2 ถึง 59.7 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแบบขนาดนาร่อง นอกจากนี้ยังพบว่าค่า

ประสิทธิภาพการกำจัดจะมากขึ้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวของมวลชีวภาพหรือจำนวนที่เพิ่มขึ้นของแผ่นบัพเฟอร์

ในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพนั้นอาศัยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้ คือ อินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยอาศัยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ให้เปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดออกโดยกลไกทางชีววิทยา 2 ทาง คือ กลไกแรก แอสสิมิเลชัน (Assimilation) หมายถึง การที่แบคทีเรียใช้แอมโมเนียไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ กลไกที่สองคือ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยอาศัยขบวนการทางชีวภาพ (Metcalf & Eddy, 1991) แสดงดังภาพที่ 2.4 ซึ่งอธิบายปฏิกิริยาต่างๆได้ดังต่อไปนี้

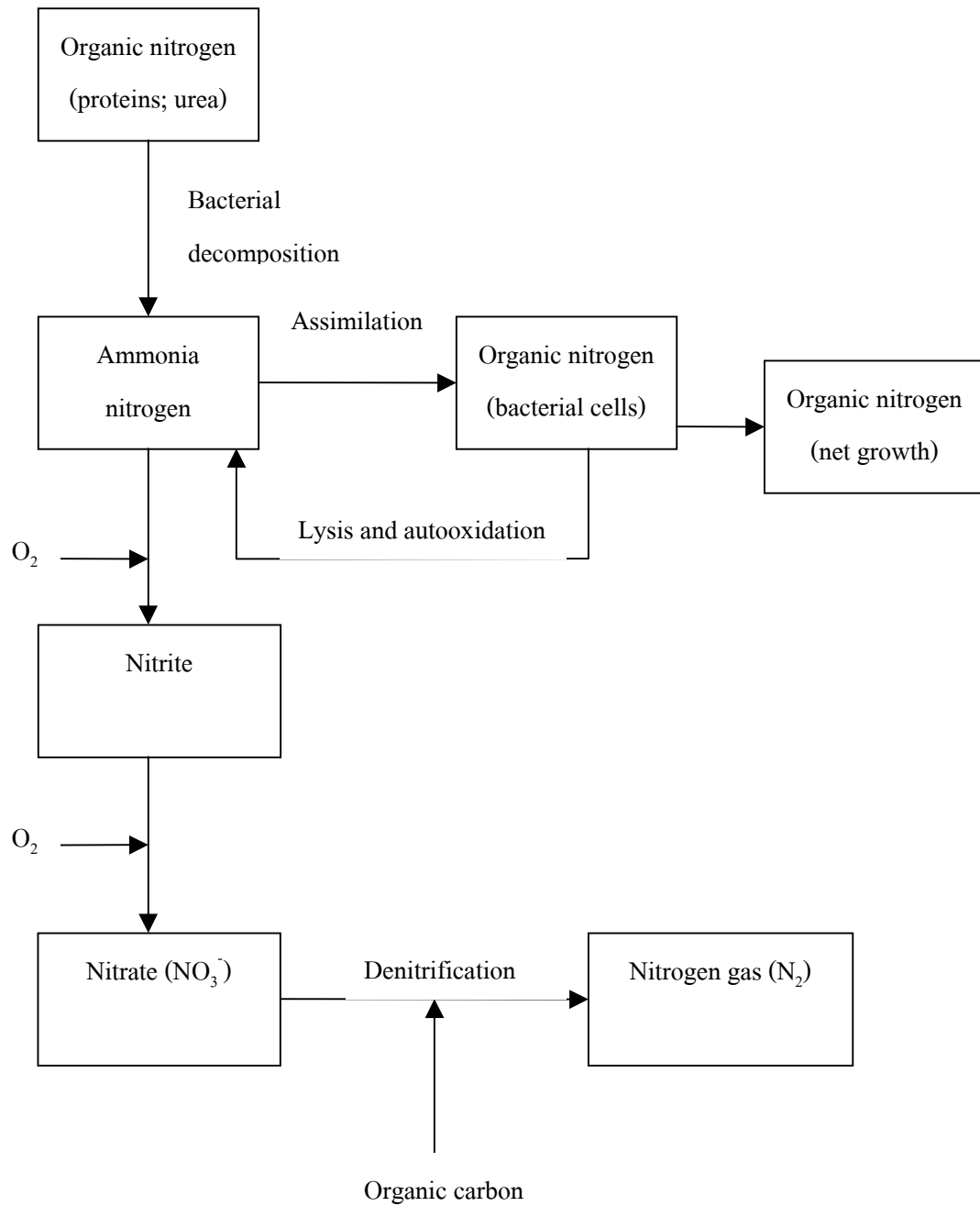
### (1) ปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน

แอมโมนิฟิเคชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการแปลงเป็นแร่ธาตุไนโตรเจนหรือไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน (Nitrogen Mineralization) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นผลิตได้โดย 1) ปฏิกิริยาภายนอกเซลล์ และ 2) การหายใจของเซลล์มีชีวิตและจากซากเซลล์ (ธงชัย, 2544)

### (2) ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันหมายถึง การเปลี่ยนแอมโมเนีย( $\text{NH}_3$ )ไปเป็นไนเตรท( $\text{NO}_3^-$ ) โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยอาศัยแบคทีเรียพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) ซึ่งมีอยู่ 2 ตระกูลใหญ่ๆ คือ ไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas Species) และไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter Bacteria) แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้จัดอยู่ในประเภทออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria) คือแบคทีเรียที่ได้รับพลังงานในการเจริญเติบโตจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในการสร้างแบคทีเรีย

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกนั้นเป็นการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) โดย Nitrosomonas ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นการออกซิ



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยอาศัยขบวนการทางชีวภาพ  
 หมายเหตุ Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse(430), Metcalf & Eddy,  
 Inc., 1991, Singapore : McGraw-Hill.



ไนโตรไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) ไปเป็นไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) โดย Nitrobacter ซึ่งจะเห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาไนไตรฟิเคชันระบบต้องอยู่ภายใต้สภาวะแอโรบิก

### (3) ปฏิกิริยาดีไนไตรฟิเคชัน

ปฏิกิริยาดีไนไตรฟิเคชัน หมายถึงกระบวนการที่ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ ส่วนขั้นตอนที่สองไนไตรท์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะแอน็อกซิก (Metcalf & Eddy, 1991)

### (4) ปฏิกิริยาแอสซิเมิลชัน

ปฏิกิริยาแอสซิเมิลชัน หมายถึง กระบวนการที่มวลชีวภาพดูดซึมแอมโมเนียไนโตรเจนหรือไนเตรท มาใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์

นอกจากปฏิกิริยาข้างต้นแล้ว การตกตะกอนของไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำก็เป็นอีกหนึ่งทางในการกำจัดไนโตรเจนด้วย การตกตะกอนในระบบบ่อปรับเสถียรเกิดขึ้นโดยตรงโดยการตกตะกอนของอนุภาคที่มีไนโตรเจนอยู่ด้วย และโดยอ้อมคือการนำไนโตรเจนไปใช้โดยพืช น้ำ สัตว์น้ำ และจุลินทรีย์ ซึ่งต่อมามีสิ่งเหล่านี้ก็ตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ การกำจัดไนโตรเจนในสภาพของการตกตะกอนถูกพบ 10-20 เปอร์เซ็นต์ของการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดในระบบบ่อบำบัด (Constable, 1988)

## 2.5 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญในการส่งผ่านพลังงานของจุลินทรีย์ และองค์ประกอบของเซลล์ ฟอสฟอรัสที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์อาจอยู่ในรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของซากพืชซากสัตว์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติและน้ำโสโครก โดยที่ฟอสเฟตต่างๆ นั้นนอกจากจะเกิดจากหินฟอสเฟตตามธรรมชาติแล้ว ยังเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการใช้สารประกอบฟอสฟอรัส

### 2.5.1 ผลเสียต่อสภาพสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำเสียมีสารประกอบฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปฟอสเฟต ถ้าแหล่งน้ำมีฟอสเฟตไม่มากนักก็จะไม่มีผลกระทบต่อแหล่งน้ำ แต่เมื่อใดที่มีมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหา

### 2.5.2 การกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบำบัดปรับเสถียรแบบติดผิว ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น Potprasart(1995) ได้ทำการวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำกระดาษโดยใช้ระบบบำบัดปรับเสถียรแบบติดผิวพบว่า สามารถกำจัดในโตรเจนได้ถึง 45 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแบบขนาดทดลอง และ 75 ถึง 84 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแบบขนาดนำร่อง และ Janolino (1988) ได้ทำการวิจัยเรื่องการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้ระบบบำบัดปรับเสถียรแบบติดผิวพบว่า การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

การกำจัดฟอสฟอรัส สามารถแบ่งอย่างกว้างๆได้ 2 วิธี คือ

(1) การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี ในทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับฟอสฟอรัสที่อยู่รูปแบบของสารประกอบที่ไม่ละลายกับธาตุอื่นๆ ซึ่งในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียก็จะใช้วิธีการทำให้ตกตะกอนโดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปลงในน้ำเสีย ทำให้เกิดเกลือกับฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย สารเคมีเหล่านี้ได้แก่สารส้ม ปูนขาว เป็นต้น ส่วนในทางกายภาพจะกำจัดฟอสฟอรัสโดยการตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการกำจัดฟอสฟอรัสในสภาวะที่เป็นอนุภาค ประสิทธิภาพในการกำจัดก็จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและจำนวนของฟอสฟอรัสในของแข็ง

(2) การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดในกระบวนการทางชีวภาพโดยการดูดซึมสารประกอบฟอสฟอรัสจำพวกออร์โทฟอสเฟต โพลีฟอสเฟตและสารอินทรีย์ฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ ปริมาณการกำจัดฟอสฟอรัสจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลล์ที่ผลิตขึ้นซึ่งปัจจัยที่สำคัญในระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพคือ การให้จุลินทรีย์อยู่ในสภาพไร้อากาศ สลับกับมีอากาศ วิธีการนี้จะทำให้จุลินทรีย์สามารถดูดซึมฟอสฟอรัสได้มากกว่าปกติ และฟอสฟอรัสจะไม่ถูกใช้แต่เพียงกิจกรรมของเซลล์คือ การบำรุงรักษาเซลล์ การสังเคราะห์เซลล์และการส่งผ่านพลังงานเท่านั้น แต่ฟอสฟอรัสยังถูกสะสมในเซลล์ของจุลินทรีย์อีกด้วย ดังนั้นการ

กำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียจึงสามารถกำจัดออกได้ โดยการกำจัดตะกอนที่มีฟอสฟอรัสสะสมอยู่ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการที่สาหร่ายที่อยู่ภายในระบบนำฟอสฟอรัสไปใช้เป็นปัจจัยหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสเช่นกัน(Janolino, 1988)

## 2.6 การศึกษาสารติดตาม (Tracer Study)

การศึกษาถึงลักษณะการกระจายของการไหลของแบบจำลอง ใช้วิธีการศึกษาสารติดตาม โดยใช้เกลือแกง (NaCl) เป็นสารติดตาม โดยในการคำนวณค่าการกระจาย (Dispersion number: d) ดังสมการ (Levenspiel, 1972)

$$\text{ระยะเวลาเก็บกักเฉลี่ย (Mean Retention Time); } t_{mean} = \frac{\sum t_i C_i \Delta t}{\sum C_i \Delta t} \quad (2-1)$$

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation); } \sigma^2 = \frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t}{\sum C_i \Delta t} - t_{mean}^2 \quad (2-2)$$

$$\text{ดังนั้น } \sigma^2 / t^2 = 2d - 2d^2(1 - e^{-1/d}) \quad (2-3)$$

โดยที่  $C_i$  = ความเข้มข้น NaCl ที่ระยะเวลา  $t_i$ , mg/L  
 $t_i$  = ระยะเวลาภายหลังจากเริ่มปล่อย NaCl เข้าสู่ระบบ, d  
 $d$  = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว  
 $\Delta t$  = ระยะเวลาแตกต่างของเวลาที่ทำกรเก็บตัวอย่าง, d

## 2.7 จลนศาสตร์ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

จลนศาสตร์ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว สมการที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้คือสมการที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัด COD (Thirumurthi, 1974) ซึ่งอธิบายได้เป็นสมการในรูปของการไหลแบบกระจาย (Dispersed flow model) ดังสมการดังต่อไปนี้

สมการการไหลแบบกระจาย (Dispersed flow model)

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{4a \exp(1/2d)}{(1+a)^2 \exp(a/2d) - (1-a)^2 \exp(-a/2d)} \quad (2-4)$$

โดยที่  $C_e$  = ความเข้มข้นCODของน้ำที่ไหลออกจากระบบ, mg/L

$C_o$  = ความเข้มข้นCODของน้ำที่ไหลเข้าสู่, mg/L

$k$  = ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง,  $d^{-1}$

$t$  = ระยะเวลาเก็บกัก,  $d$

$e$  = base of natural logarithms = 2.7183

$a = (1+4ktd)^{1/2}$

$d$  = ค่าการกระจายตัวของการไหล

## 2.8 แบบจำลองของการกำจัดไนโตรเจน

Puetpaiboon (1996) ได้ทำการวิจัยเรื่องการกำจัดไนโตรเจนในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดแผ่นบัพเฟอร์ ได้สมมติให้การกำจัดไนโตรเจนในระบบบ่อบำบัดแบบมีบัพเฟอร์เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง จะได้สมการที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้

$$V \frac{dN}{dt} = QN_0 - QN_c + V(-K_N N_c) \quad (2-5)$$

โดยที่  $N_0$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเข้า, mg/L

$N_c$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำออก, mg/L

$V$  = ปริมาตรของบ่อ,  $m^3$

$Q$  = อัตราการไหล,  $m^3/d$

$K_N$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัดไนโตรเจน,  $d^{-1}$

$t$  = ระยะเวลาเก็บกัก,  $d$

ที่สภาวะคงตัว (Steady-state condition,  $dN/dt = 0$ ) ค่า  $K_N$  สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$K_N = (N_0 - N_c) / (N_c t) \quad (2-6)$$

ซึ่งค่า  $K_N$  ในสมการเกิดจากผลรวมของการกำจัดไนโตรเจนหลายทาง เช่น ไนโตรเจนระเหยไปในอากาศ, การกำจัดโดยขบวนการไนตริฟิเคชันและการกำจัดโดยการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในบ่อ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$K = K_N N / (N_0 - N_c) \quad (2-7)$$

โดยที่  $N$  = ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ถูกกำจัดโดยวิธีต่างๆ, mg/L  
 $K$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัดไนโตรเจนที่ถูกกำจัดโดยวิธีต่างๆ,  $d^{-1}$

## 2.9 แบบจำลองการกำจัดฟอสฟอรัส

Janolino (1988) ได้ทำการวิจัยเรื่องการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวพบว่า การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับระยะเวลาเก็บกัก สามารถแสดงได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\ln P_0 / P_c = kt \quad (2-8)$$

โดยที่  $P_0$  = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเข้า, mg/L  
 $P_c$  = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำออก, mg/L  
 $k$  = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง,  $d^{-1}$   
 $t$  = ระยะเวลาเก็บกัก, d

ค่า  $k$  ในสมการขึ้นอยู่กับระยะเวลาเก็บกักและตัวกลางที่ใส่ลงไปภายในบ่อ ได้กำหนดสัญลักษณ์ให้เป็น  $\infty$  และ  $f(\beta)$  ตามลำดับ ซึ่งเขียนในรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$k = \infty + f(\beta) \quad (2-9)$$

โดยที่ค่า  $\infty$  สามารถหาได้จากผลการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียร และค่า  $f(\beta)$  หาได้จากผลการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

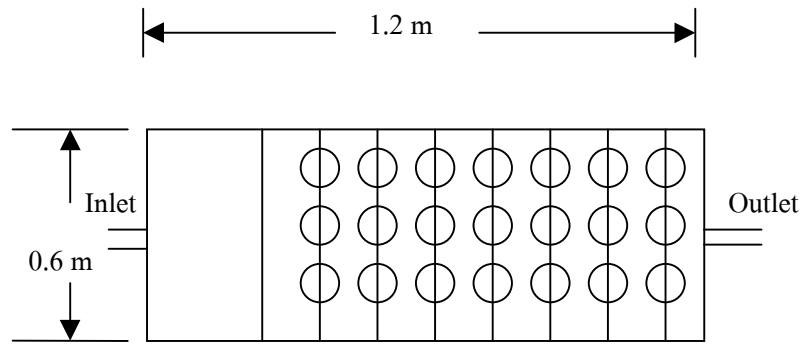
### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การจัดตั้งระบบ

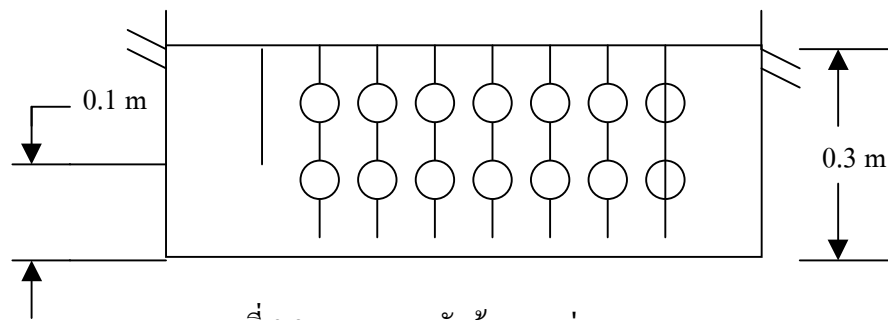
ระบบที่ใช้ในการทดลองได้ทำการติดตั้งอยู่ที่อาคารเครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยจะประกอบด้วยบ่อระจกจำนวน 2 บ่อ มีขนาด  $0.6 \times 1.2 \times 0.4$  ลูกบาศก์เซนติเมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) ดังแสดงในภาพที่ 3.1-3.3 ภายในบ่อหนึ่งได้มีการใส่ตัวกลางลงไปจำนวน 42 ชิ้น แต่ในอีกบ่อหนึ่งไม่ได้ใส่ตัวกลางลงไป ภายในบ่อได้ทำการติดแผ่นบัพเฟอร์ที่ทางน้ำเข้าเพื่อช่วยป้องกันการล้นวงจร นอกจากนี้ได้ทำการติดตั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จำนวน 4 หลอดเพื่อให้แสงสว่างอยู่เหนือผิวน้ำห่างจากผิวน้ำเป็นระยะ 20 เซนติเมตร โดยทำการให้แสงเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน ตัวกลางที่ใช้ในการวิจัยมีลักษณะเป็นลูกตะกร้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร มีพื้นที่ผิวต่อชิ้น 530 ตารางเซนติเมตร

#### 3.2 สภาพะในการทดลอง

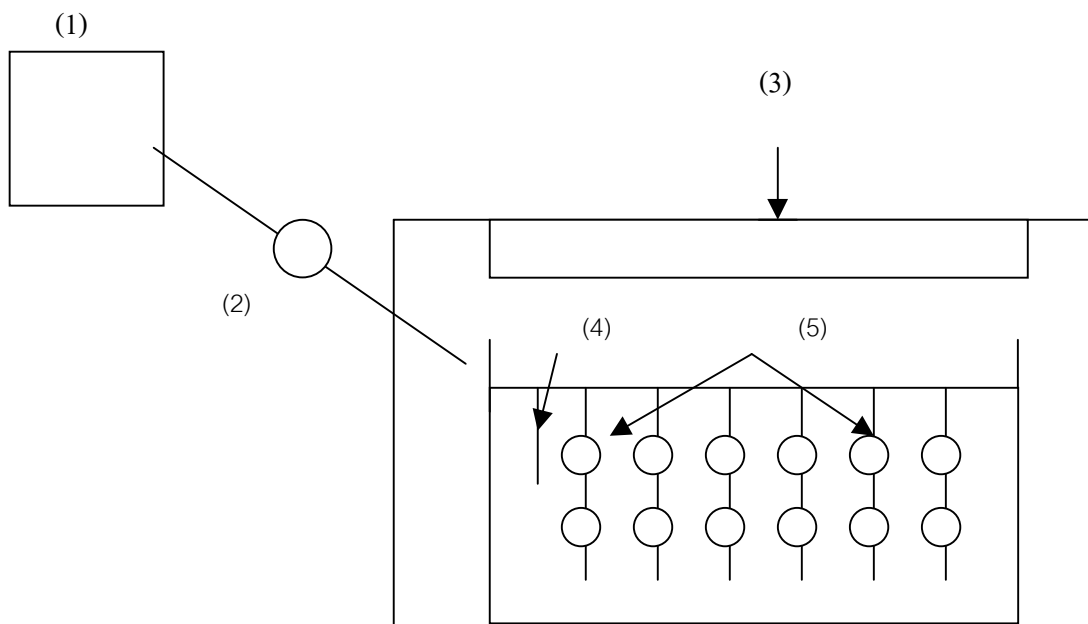
น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้นมพาสเจอร์ไรซ์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีผสมกับน้ำประปาในอัตราส่วน 3 มิลลิลิตรของน้ำนมต่อ 1 ลิตรของน้ำประปา โดยเริ่มต้น ได้นำน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียห้วยทะเลมาทำการเติมลงในบ่อเพื่อที่จะใช้มวลชีวภาพที่มีในน้ำเสียเป็นมวลชีวภาพเริ่มต้นในระบบ จากนั้นเป็นระยะเวลาที่จะให้มวลชีวภาพที่มาจากบ่อบำบัดน้ำเสียห้วยทะเลได้ทำการปรับสภาพภายในบ่อ โดยได้ทำการป้อนน้ำเสียลงไปภายในบ่อด้วยเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน จากนั้นได้ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ไหลออกจากระบบเพื่อทำการหาค่าความเข้มข้นของ COD จนกระทั่งสถานะคงตัวมาถึง ซึ่งจะสังเกตได้จากค่าความเข้มข้นของ COD ที่ได้ทำการวิเคราะห์จากการทดลองคงที่ในแต่ละระยะเวลาการเก็บกัก ซึ่งในการทดลองนี้ได้ศึกษาที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 10, 20, 30 และ 40 วัน



ภาพที่ 3.1 แสดงภาพตัดด้านบนของบ่อ



ภาพที่ 3.2 แสดงภาพตัดข้างของบ่อ



- (1) ถังกักเก็บน้ำเสีย    (2) วาล์วปิดเปิดน้ำเสีย    (3) หลอดไฟปลูออเรสเซนต์  
 (4) แผ่นบัพเฟอร์    (5) attached-growth media

ภาพที่ 3.3 แสดงภาพโดยรวมของระบบ

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

(1) ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยเริ่มทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักที่มากที่สุด ก่อนซึ่งในระหว่างการทดลองได้ทำการหาค่าความเข้มข้นของ COD ทั้งจากน้ำเสียที่ไหลเข้าและน้ำเสียที่ไหลออกจากระบบ

(2) เมื่อสภาวะคงตัวมาถึง ซึ่งใช้การตรวจสอบทางสถิติ โดยหาสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนให้มีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข ในแต่ระยะเวลาการเก็บกัก ให้ทำการหาค่าตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ทั้งจากน้ำเสียที่ไหลเข้าและน้ำเสียที่ไหลออกจากระบบ เพื่อจะได้ทำการหาค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ

### 3.4 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย

วิธีวิเคราะห์นำมาจากวิธีที่อธิบายใน Standard Methods (APHA et al, 1989) ดังได้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการทดลองและวิธีการทดลอง

การทดลอง	วิธีการทดลอง
pH	pH meter
COD	Closed reflux
BOD <sub>5</sub>	5-Day BOD Test
TP	Sulfuric-Nitric acid
TKN	Kjeldahl
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Colorimetric method
TSS	Filtration
มวลชีวภาพ	Filtration

มวลชีวภาพ หาโดยนำตัวกลางจากบ่อบำบัดที่ทำการเดินระบบเสร็จสิ้นแล้ว มาล้างกับน้ำกลั่น แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรองโดยใช้ glass microfiber filter paper (GF/C) ภายหลังจากการกรอง มวลชีวภาพสามารถวัดได้ในรูปของ VSS (Volatile Suspended Solids) โดยมี



หน่วยเป็น mg/L ซึ่ง VSS วัดโดยใช้วิธีการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ต่อจากนั้นนำกระดาษกรองไปเผาที่ 103 °C และ 550 °C ตามลำดับ ค่าที่ 550 °C คือค่าของ VSS

### 3.5 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

ตัวแปรที่ทำการวิจัย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวแปรที่ทำการวิจัย

ลักษณะตัวแปร	ตัวแปรที่ทำการวิจัย
ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)	- ระยะเวลาเก็บกัก - อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ - อัตราภาระอินทรีย์สาร
ตัวแปรตาม (Dependent Variable)	- COD - BOD <sub>5</sub> - TKN - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - TP - TSS - มวลชีวภาพ
ตัวแปรควบคุม (Control Variable)	- แสงสว่าง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

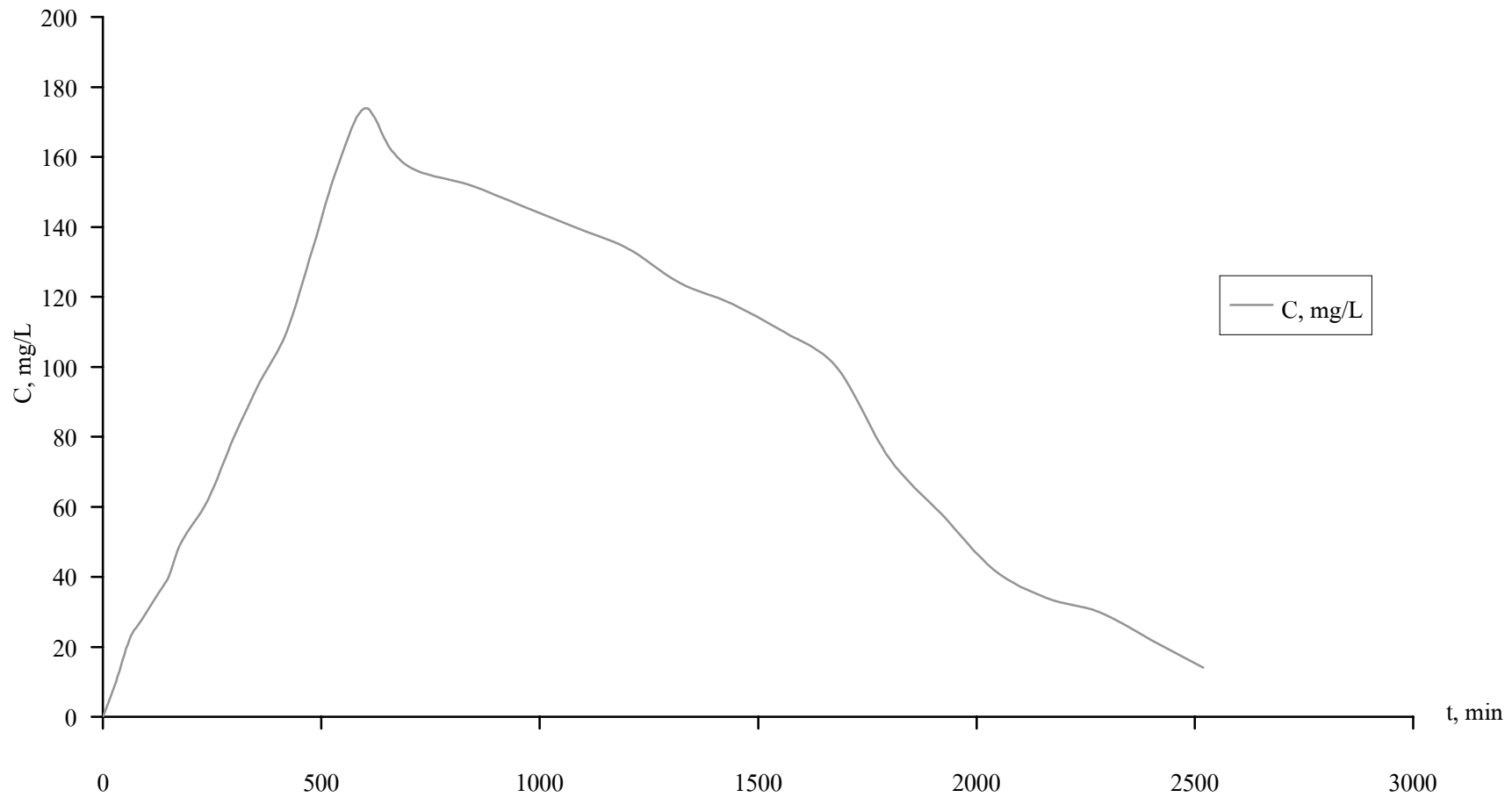
#### 4.1 การศึกษาสารติดตาม

การศึกษาสารติดตาม (Tracer study) ของการบำบัดแบบใช้ระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิว และระบบบ่อปรับเสถียร โดยทำการใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ทดลองที่อัตราการไหล 0.216 ลบ.ม.ต่อวัน ซึ่งข้อมูลดิบและการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหลืออยู่กับเวลา แสดงได้ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าลักษณะกราฟที่ได้เป็นรูประฆังคว่ำ เมื่อเริ่มต้นความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ออกมาจะมีค่าน้อย แต่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จนเมื่อถึงจุดหนึ่งค่าความเข้มข้นของคลอไรด์จะมีค่าสูงสุด และจะค่อยๆลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ในช่วงเริ่มต้นความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ยังไหลมาไม่ถึงยังบริเวณทางน้ำออก แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของคลอไรด์ก็จะไหลมายังทางออก จนกระทั่งที่ทางน้ำออกวัดความเข้มข้นของคลอไรด์ได้เกือบจะเป็นศูนย์

จากการศึกษาสารติดตามซึ่งใช้การคำนวณดังสมการ (2-1) ถึง (2-3) พบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิวมีระยะเวลาเก็บกักเฉลี่ย ( $T_{mean}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.906 วัน ค่าการกระจายของการไหล (d) มีค่าเท่ากับ 0.142 และระบบบ่อปรับเสถียรมีระยะเวลาเก็บกักเฉลี่ย ( $T_{mean}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.777 วัน ค่าการกระจายของการไหล (d) มีค่าเท่ากับ 0.150 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการกระจายตัวของทั้งสองระบบมีค่า  $d < 0.2$  บอกลึถึงว่าทั้งสองระบบเป็นถึงปฏิกิริยาแบบท่อ (Plug flow) (Levenspiel, 1972) เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเก็บกักของระบบทั้งสองพบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิวมีค่ามากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร และเมื่อเปรียบเทียบค่าการกระจายของการไหลของระบบทั้งสองพบว่าระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิวมีค่าน้อยกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยมีมาแล้ว เช่นงานวิจัยของ Puetpaiboon(1996) บ่อที่มีแผ่นบัพเฟอร์อยู่ภายในบ่อจะมีค่าการกระจายตัวน้อยกว่าบ่อที่ไม่มีแผ่นบัพเฟอร์ และมีระยะเวลาเก็บกักมากกว่าบ่อที่ไม่มีแผ่นบัพเฟอร์ และจากผลงานวิจัยที่ได้พบว่าบ่อที่มีแผ่นบัพเฟอร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าบ่อที่ไม่มีแผ่นบัพเฟอร์



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหลื่ออยู่ (C) กับ HRT ของระบบบ่อบำบัดเสียรแบบติดผิว



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหลืออยู่ (C) กับ HRT ของระบบบ่อปรับเสถียร

## 4.2 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตภัณฑ์นมที่ทำการสังเคราะห์ขึ้น

ลักษณะของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น เพื่อใช้ตลอดระยะเวลาการทดลองตั้งแต่มกราคม จนถึง ธันวาคม พุทธศักราช 2543 ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น เพื่อใช้ตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่น้อยที่สุด	ค่าที่มากที่สุด	ค่าเฉลี่ย
อุณหภูมิ (°C)	27.6	31.7	29.8±1.6
pH	6.66	7.73	7.14±0.40
COD (mg/L)	516	748	680±51
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	420	510	450±27
TKN (mg/L)	11.48	13.72	12.64±0.54
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.092	0.124	0.111±0.011
TP (mg/L)	11.92	13.28	12.60±0.43
TSS (mg/L)	122	140	131±6

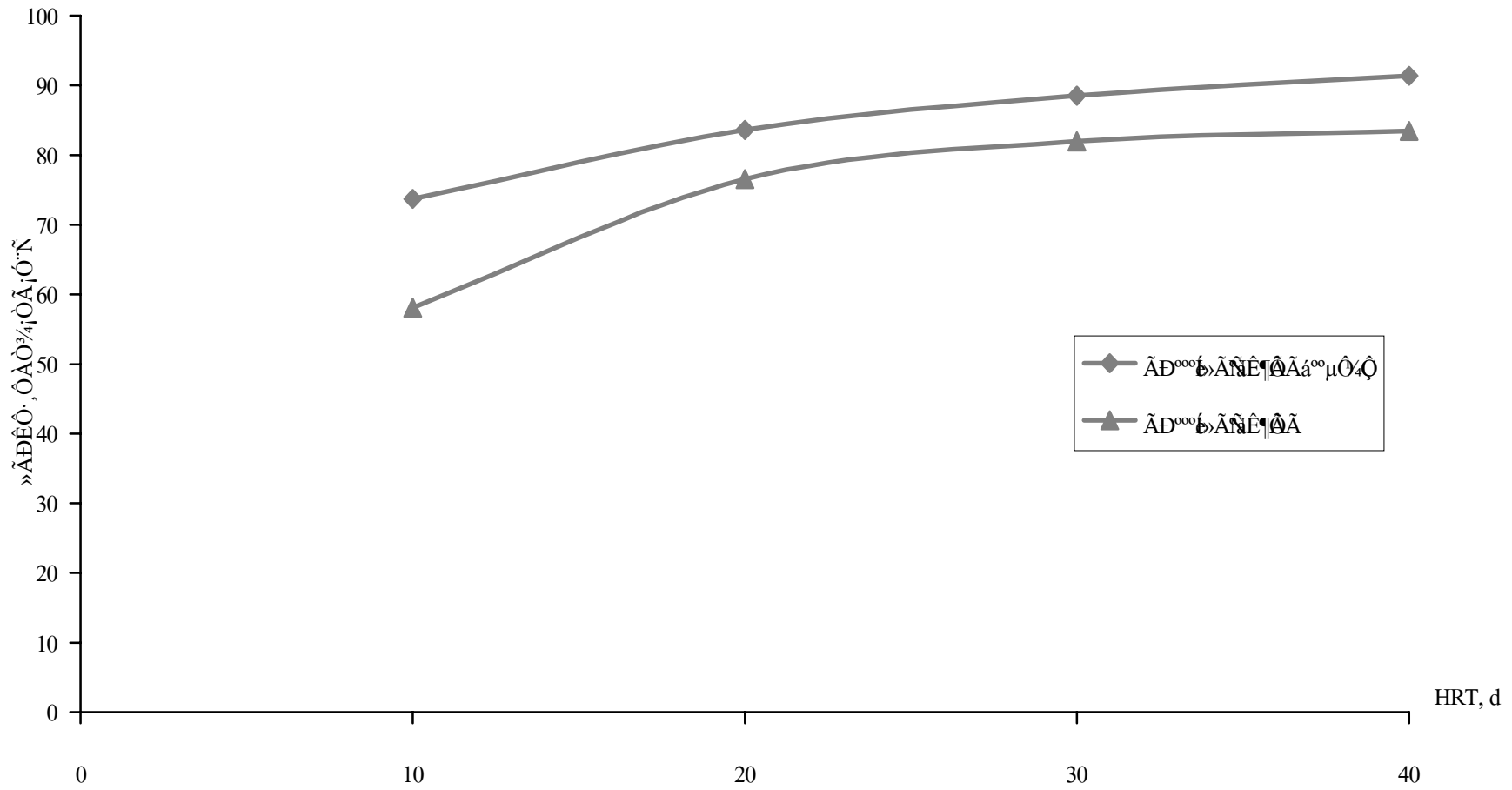
## 4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.3.1 ค่า pH, อุณหภูมิ และ DO

น้ำที่ออกจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบคืดผิวมีค่า pH 7.44-8.58, อุณหภูมิ 29-32.6 °C และ DO 4-7.1 mg/L ส่วนน้ำที่ออกจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบมีค่า pH 7.36-8.12, อุณหภูมิ 28.6-31.0 °C และ DO 3.2-6.1 mg/L

### 4.3.2 การกำจัด COD

เมื่อนำข้อมูลการกำจัด COD ที่ได้ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเก็บกักต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ของระบบบำบัดปรับเสถียรแบบคืดผิวและระบบบำบัดปรับเสถียร แสดงได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด COD กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร

จากกราฟจะเห็นได้ว่าทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรต่างก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 40 วันสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักอื่นๆที่ทำการทดลอง และประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลง ในแต่ละระยะเวลาเก็บกัก ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณมวลชีวภาพในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีมากกว่า จึงทำให้เกิดย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่า

#### 4.3.3 การกำจัด BOD<sub>5</sub>

เมื่อนำข้อมูลการกำจัด BOD<sub>5</sub> ที่ได้ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเก็บกักต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร แสดงได้ดังภาพที่ 4.4

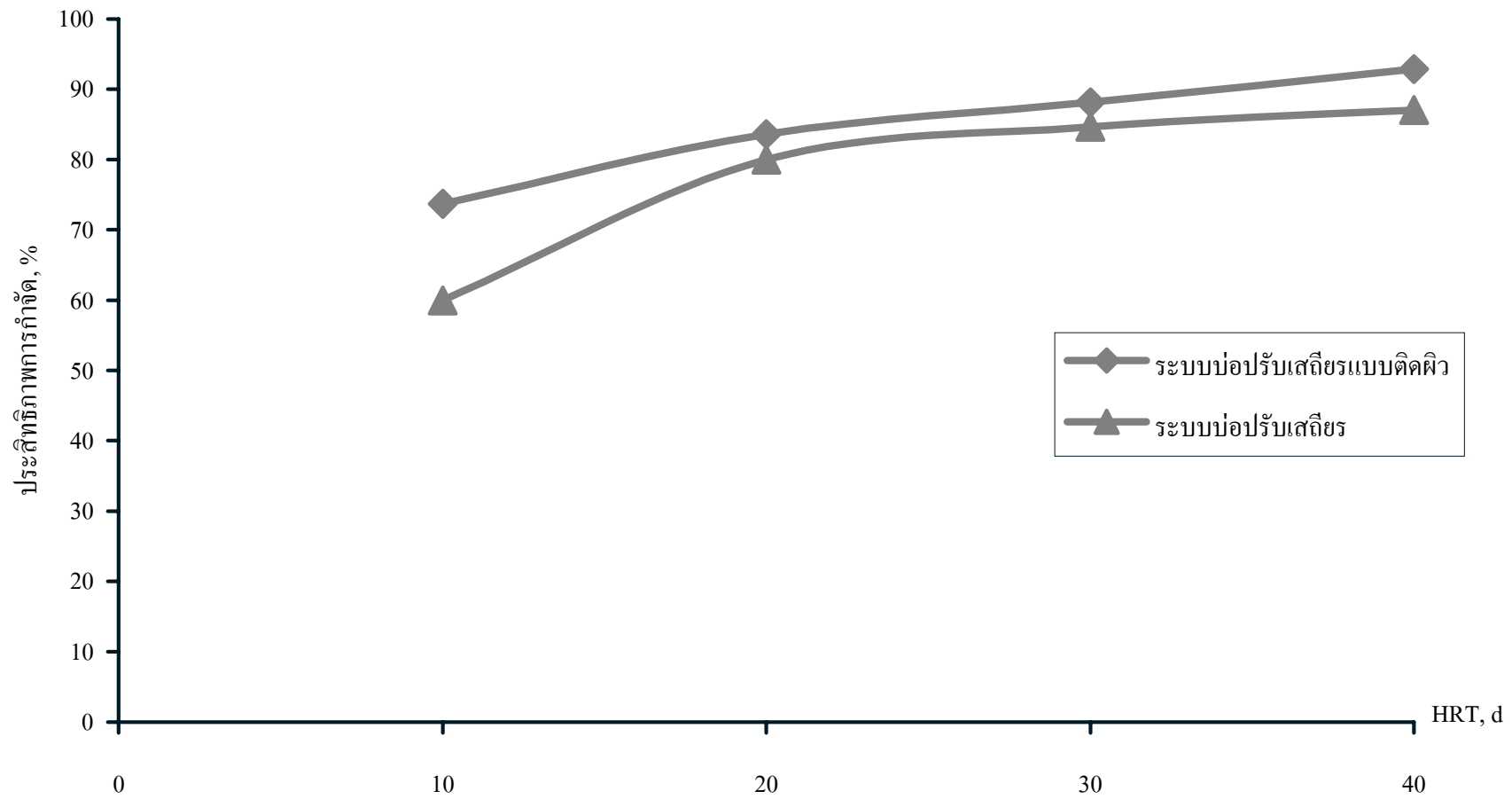
จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 40 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD<sub>5</sub> สูงกว่าระยะเวลาเก็บกักอื่นๆที่ทำการทดลองในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว และมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลงด้วย เช่นเดียวกันกับระบบบ่อปรับเสถียร และในทุกๆระยะเวลาเก็บกักจะเห็นได้ว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งในรูปแบบแขวนลอยและแบบเกาะผิวตัวกลางอยู่ภายในบ่อ ในขณะที่ระบบบ่อปรับเสถียรนั้นมีเพียง จุลินทรีย์ในรูปแบบแขวนลอย

แหล่งกำเนิดของออกซิเจนที่ถูกลำมาใช้ในปฏิกิริยา มาจากขบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายภายในบ่อทั้งในรูปแบบของ dispersed-growth และ attached-growth และบางส่วนก็มาจากการเติมอากาศที่บริเวณผิวน้ำในตลอดระยะเวลาการทำงาน

#### 4.3.4 การกำจัดสารอาหาร

##### 4.3.4.1 การกำจัดไนโตรเจน

เมื่อนำข้อมูลการกำจัด TKN ที่ได้ ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเก็บกักต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ของระบบบ่อ



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร



ปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร แสดงได้ดังภาพที่ 4.5

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณTKNในทุกๆระยะเวลาเก็บกัก ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร และทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง เมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลงด้วย เพราะว่าจุลินทรีย์จะนำไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งจะเห็นได้จากสูตรโครงสร้างเซลล์ของทั้งแบคทีเรียและสาหร่าย ดังนั้นในการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดส่วนมากจะขึ้นอยู่กับให้นำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ก็มีส่วนของปริมาณไนโตรเจนที่ถูกกำจัดโดยการระเหยของแอมโมเนียในโตรเจน เมื่อนำมีค่าความเป็นกรดค่าที่ 8.0-8.9 (Sawyer and McCarty, 1989) และบางส่วนอาจถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแต่ก็เป็นส่วนน้อย

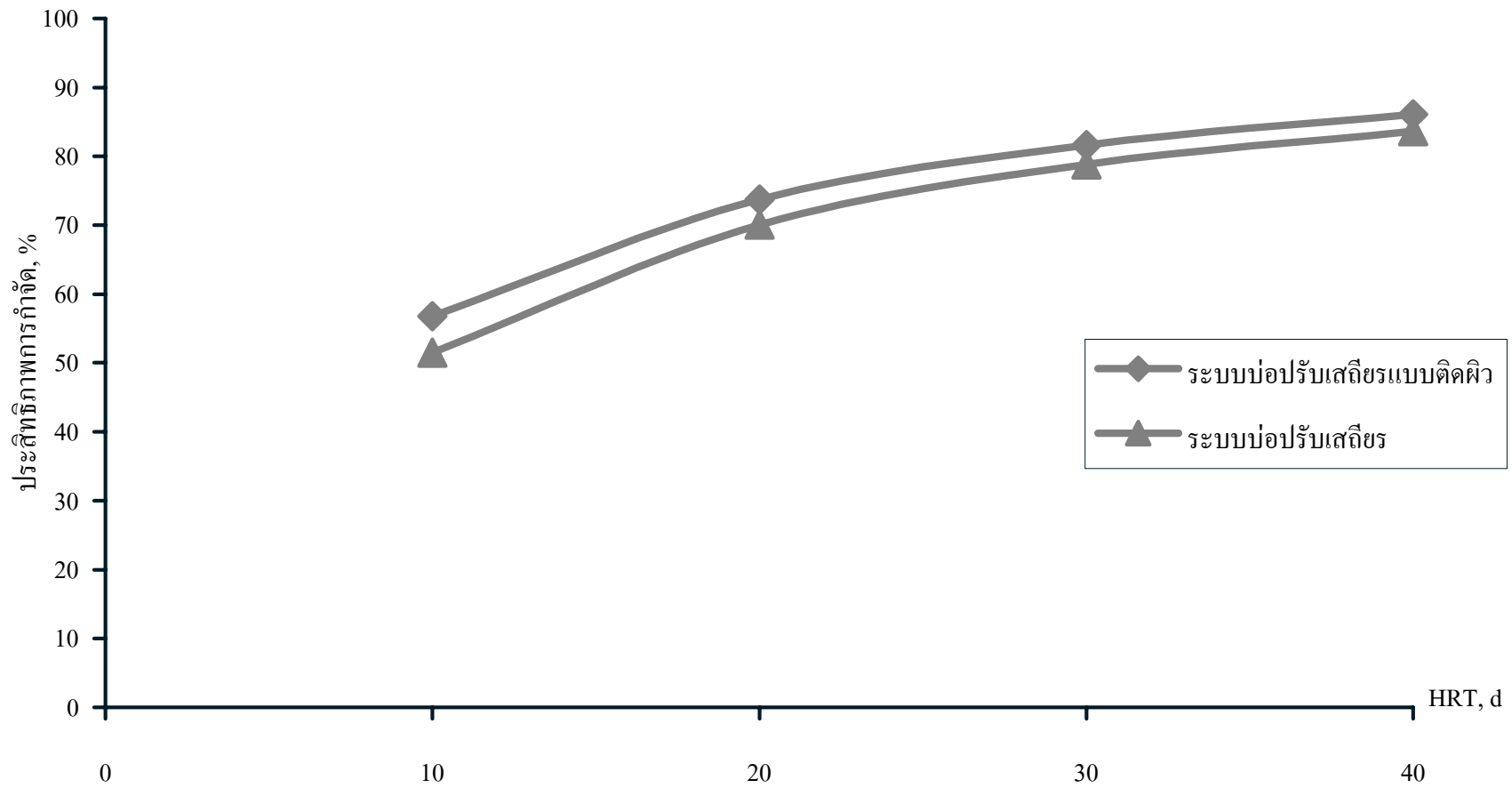
เมื่อนำข้อมูลการกำจัด  $\text{NO}_3^-$  ที่ได้ ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเก็บกักต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร แสดงได้ดังภาพที่ 4.6

จากข้อมูลพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด  $\text{NO}_3^-$  ในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว มีค่าต่ำกว่าระบบบ่อปรับเสถียรในทุกๆระยะเวลาเก็บกักเดียวกัน ทั้งนี้เพราะว่าในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว มีปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียรในทุกๆระยะเวลาเก็บกักน้ำ

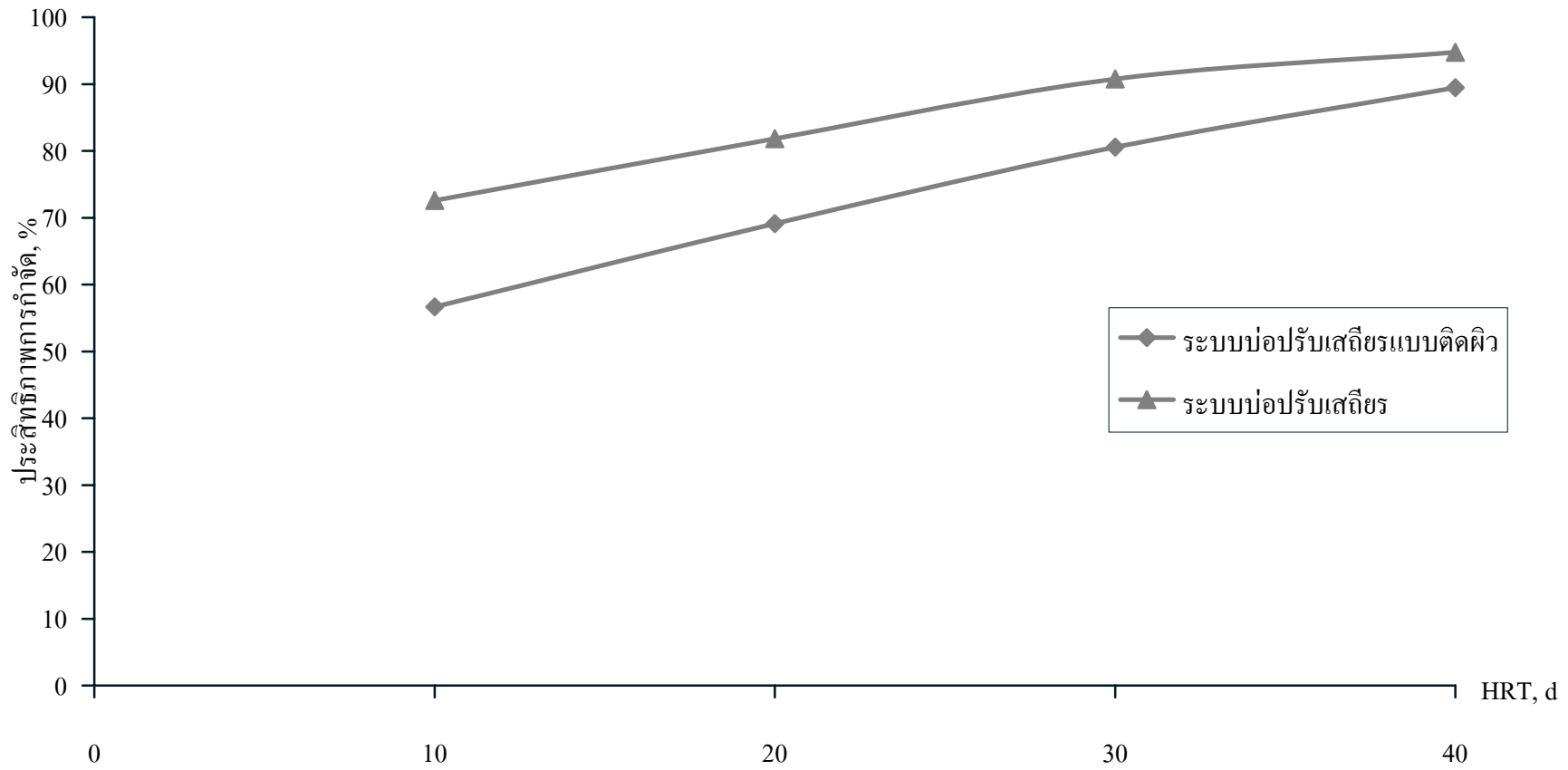
#### 4.3.4.2 การกำจัดฟอสฟอรัส

เมื่อนำข้อมูลการกำจัด TP ที่ได้ ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเก็บกักต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร แสดงได้ดังภาพที่ 4.7

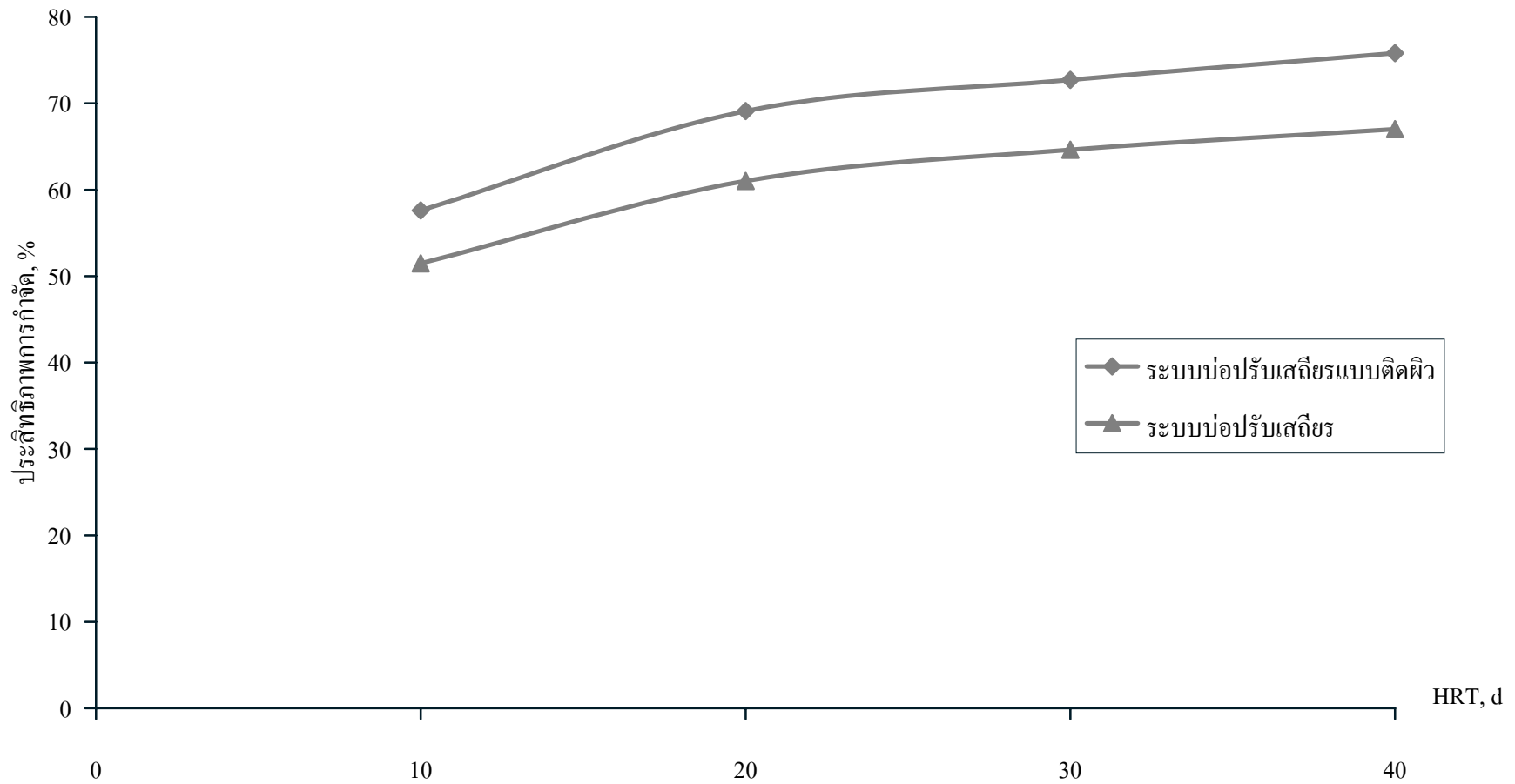
จากกราฟจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดTPในทุกๆระยะเวลาเก็บกัก ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร และทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง เมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลงด้วย เพราะว่าจุลินทรีย์จะนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด TKN กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด  $\text{NO}_3^-$  กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร



ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด TP กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร

ซึ่งจะเห็นได้จากสูตรโครงสร้างเซลล์ของทั้งแบคทีเรียและสาหร่าย แต่เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับปริมาณของไนโตรเจน และบางส่วนจะทำการก่อก้อนและตกลงไปอยู่ที่ก้นบ่อในสภาวะที่น้ำในบ่อมีค่าความเป็นด่างเล็กน้อย

#### 4.3.5 การกำจัด TSS

เมื่อนำข้อมูลการกำจัด TSS ที่ได้ ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาเก็บกักต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร แสดงได้ดังภาพที่ 4.8

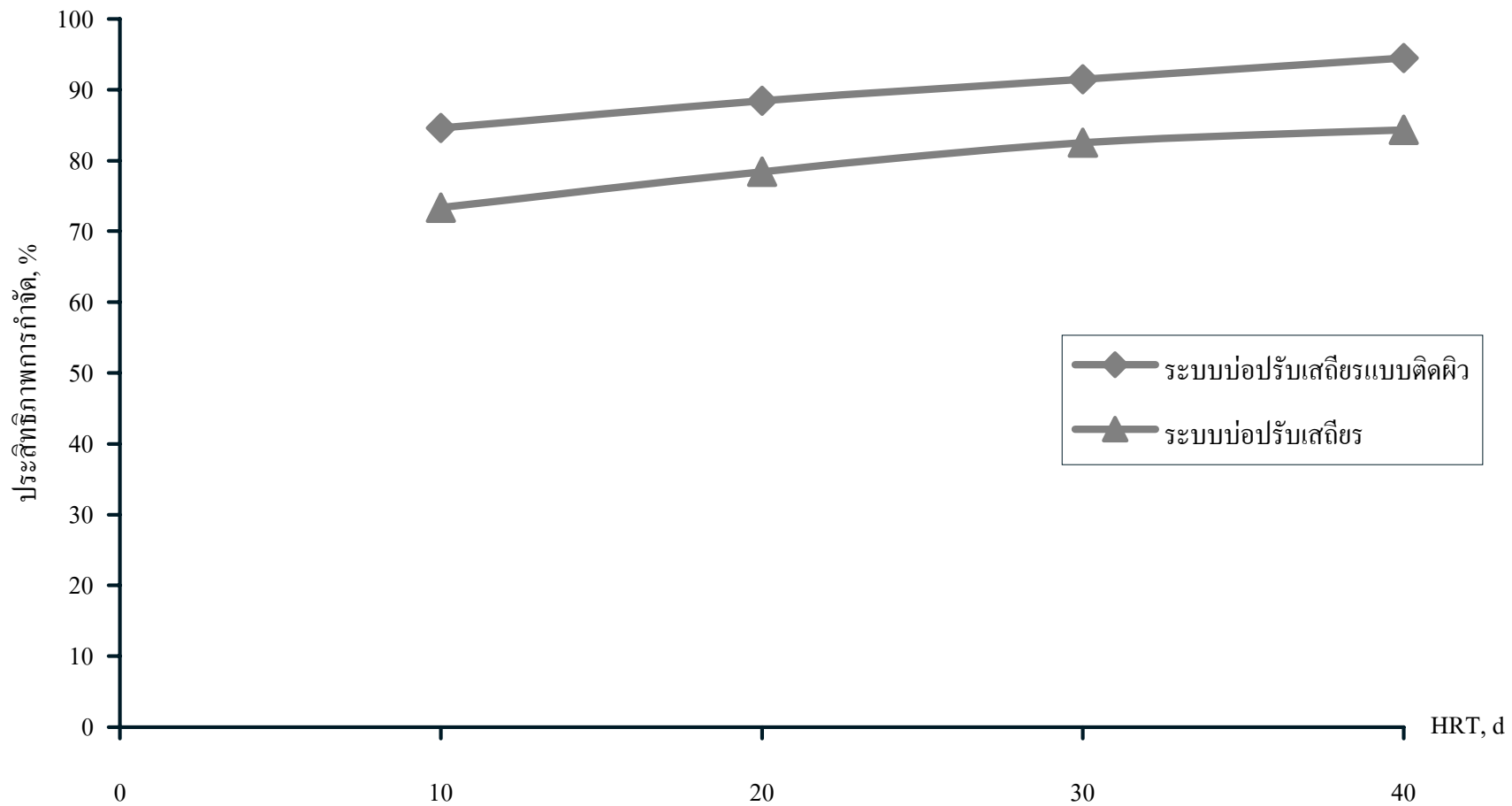
จากกราฟจะเห็นได้ว่าทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรต่างก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 40 วัน และจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลง ในแต่ละระยะเวลาเก็บกักระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้เนื่องจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีตัวกลางที่ทำให้จุลินทรีย์ในรูปแบบแขวนลอยที่ลอยอยู่ภายในบ่อสามารถมาเกาะติดที่บริเวณผิวของตัวกลาง นอกจากนี้ยังรวมถึงอนุภาคของของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ภายในบ่อด้วย ทำให้ช่วยลดปริมาณความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ไหลออกจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวด้วย

### 4.4 มวลชีวภาพ และสาหร่าย

#### 4.4.1 ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้)

ปริมาณมวลชีวภาพภายในระบบบ่อบำบัดแบบติดผิว จะรวมทั้งในรูปแบบแขวนลอยและแบบเกาะผิวตัวกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพในรูปแบบแขวนลอยต่ำกว่าระบบบ่อปรับเสถียรในการเดินระบบที่สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เพราะว่ามวลชีวภาพในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว สามารถเกาะติดอยู่กับตัวกลางที่ได้ใส่ลงไปภายในบ่อ และสามารถเจริญเติบโตได้ที่ผิวของตัวกลางนั้นด้วย ดังนั้นน้ำที่ออกจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจึงมีปริมาณของมวลชีวภาพ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำภายในบ่อ น้อยกว่าน้ำทิ้งที่ออก



ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด TSS กับ HRT ของทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและบ่อปรับเสถียร

จากระบบบ่อปรับเสถียร และเนื่องจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีปริมาณมวลชีวภาพ ทั้งในรูปแบบที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และทั้งที่ติดอยู่ที่ผิวของตัวกลาง ดังนั้นจึงทำให้ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว มีปริมาณของมวลชีวภาพรวมทั้งหมดภายในบ่อมากกว่าปริมาณของมวลชีวภาพรวมทั้งหมดของระบบบ่อปรับเสถียร

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของปริมาณมวลชีวภาพ ในระบบ

ระบบ	HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	ความเข้มข้นของปริมาณมวลชีวภาพ (mg/L)		
			แบบแขวนลอย	แบบเกาะผิวตัวกลาง	รวม
WSP	10	204	90		90
AGWSP	10	204	60.67	69.74	130.41
WSP	20	102	80		80
AGWSP	20	102	49.33	66.51	115.84
WSP	30	68	74		74
AGWSP	30	68	43.33	63.24	106.57
WSP	40	51	70		70
AGWSP	40	51	42	59.98	101.98

หมายเหตุ : WSP = ระบบบ่อปรับเสถียร AGWSP = ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว  
 HRT = ระยะเวลาเก็บกัก OLR = อัตราภาระสารอินทรีย์ต่อพื้นที่  
 จากผลข้อมูล ปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลง  
 ทั้งในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้เนื่องจากว่าการที่ระยะเวลา  
 เก็บกักลดลงจะทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีปริมาณ  
 ของสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อนำค่ามวลชีวภาพ  
 แบบแขวนลอยมาคิดปริมาณมวลชีวภาพต่อพื้นที่ผิวตัวกลางจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณมวลชีวภาพต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง

HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	ปริมาณมวลชีวภาพต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง (mg/cm <sup>2</sup> )
10	204	0.679
20	102	0.645
30	68	0.612
40	51	0.581

#### 4.4.2 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ภายในบ่อ ทั้งระบบบ่อปรับเสถียรแบบตติพิวและระบบบ่อปรับเสถียรได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอในระบบ

ระบบ	HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ (mg/L)		
			แบบแขวนลอย	แบบเกาะผิวตัวกลาง	รวม
WSP	10	204	1.705		1.705
AGWSP	10	204	1.055	3.444	4.499
WSP	20	102	1.479		1.479
AGWSP	20	102	0.823	2.892	3.715
WSP	30	68	1.177		1.177
AGWSP	30	68	0.552	2.433	2.985
WSP	40	51	1.055		1.055
AGWSP	40	51	0.364	1.771	2.135

จากตารางที่ 4.4 ระบบบ่อปรับเสถียรแบบตติพิวมีค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟิลล์ เอ ในรูปแบบแขวนลอยต่ำกว่าระบบบ่อปรับเสถียรในการเดินระบบที่สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เพราะว่าการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสามารถเกิดขึ้นได้กับที่ผิวของตัวกลางที่ไต่ลงไปภายในบ่อ จึงทำให้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ที่ผิวของตัวกลาง ดังนั้นน้ำที่ออกจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบตติพิวจึงมีปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ น้อยกว่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อปรับเสถียร และเนื่องจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบตติพิวมีปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ทั้งในรูปแบบที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และทั้งที่ติดอยู่ที่ผิวของตัวกลาง ดังนั้นจึงทำให้ระบบบ่อปรับเสถียรแบบตติพิวมีปริมาณของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ รวมทั้งหมดภายในบ่อมากกว่าปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ รวมทั้งหมดของระบบบ่อปรับเสถียร

จากผลข้อมูล ปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ รวมทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักลดลง ทั้งในระบบบ่อปรับเสถียรแบบตติพิวและระบบบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้เนื่องจากว่า การที่ระยะเวลาเก็บกักลดลงจะทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็น



สาเหตุทำให้มีปริมาณของสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.5 ข้อมูลน้ำที่ผ่านจากระบบเมื่อนำไปผ่านการกรอง

เมื่อนำน้ำที่ออกจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ไปทำการกรองด้วยกระดาษใยแก้ว พบว่าค่าตัวแปรต่างๆในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง ซึ่งแสดงในตารางภาคผนวก ข ทั้งนี้เนื่องมาจากการกรองทำให้ช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่อยู่ภายในน้ำเสีย ซึ่งในของแข็งแขวนลอยจะมีทั้ง ปริมาณสารอินทรีย์และสารอาหารปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อทำการกรองเอาของแข็งแขวนลอยออกไป จึงช่วยลดปริมาณความเข้มข้นของตัวแปรต่างๆในน้ำออก ทั้งจากระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรให้ลดลงได้ โดยระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวสามารถลด COD 3-13 %, BOD<sub>5</sub> 3-11 %, TKN 5-13 %, TP 5-14 % และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 3-10 % ส่วนในระบบบ่อปรับเสถียรสามารถลด COD 7-16 %, BOD<sub>5</sub> 3-14 %, TKN 6-15 %, TP 7-16 % และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 5-12 %

#### 4.6 การหาจลนศาสตร์ของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

จากข้อมูลการทดลอง สามารถหาค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งได้โดยใช้สมการที่ (2-4) ผลจากการคำนวณได้ค่าคงที่ที่แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัดCODในระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	AGWSP	WSP
10	204	0.1556	0.0968
20	102	0.1106	0.0861
30	68	0.0915	0.0686
40	51	0.0797	0.0554

จากตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัดCOD ระหว่างระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรที่สภาวะเดียวกันพบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว มีค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัดCODสูงกว่าระบบบ่อ

ปรับเสถียร ทั้งนี้เนื่องจากว่าในระบบบ่อปรับเสถียรแบบคืดผิวมีปริมาณมวลชีวภาพสูงกว่า จึงทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบได้มากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร

#### 4.7 แบบจำลองการกำจัดไนโตรเจน

จากแบบจำลองการกำจัดไนโตรเจนของ Puetpaiboon(1996) ได้คิดที่การกำจัด  $\text{NH}_3\text{-N}$  แต่ในการทดลองนี้จะคิดในภาพรวมของประสิทธิภาพการกำจัด TKN คือจะรวมทั้ง  $\text{NH}_3\text{-N}$  และ organic-N ข้อมูลการทดลองของการกำจัด TKN ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อนำมาคำนวณดังสมการที่ (2-6) ถึง (2-7) จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการกำจัด TKN จากทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรแบบคืดผิว

HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	$N_1$ (mg/L)	$N_2$ (mg/L)	$N_3$ (mg/L)	$N_4$ (mg/L)	$N_c$ (mg/L)	$N_o$ (mg/L)
10	204	0.049	3.26	1.04	2.75	5.41	12.51
20	102	0.034	2.89	0.985	5.52	3.36	12.79
30	68	0.021	2.66	0.935	6.97	2.38	12.97
40	51	0.012	2.55	0.888	7.80	1.82	13.07

หมายเหตุ  $N_1$  = ความเข้มข้นของ  $\text{NO}_3^-$  ในน้ำออก

$N_2$  = ปริมาณการกำจัด N โดยจุลินทรีย์ภายในบ่อทดลอง

$N_3$  = ปริมาณการกำจัด N โดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ผิวของบ่อทดลอง

$N_4$  = ปริมาณ N ที่ถูกกำจัดโดยการตกตะกอนและการระเหยไปในอากาศ

$N_c$  = ปริมาณ TKN ในน้ำออก

$N_o$  = ปริมาณ TKN ในน้ำเข้า

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการกำจัด TKN จากทดลองของระบบบ่อปรับเสถียร

HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	$N_1$ (mg/L)	$N_2$ (mg/L)	$N_3$ (mg/L)	$N_4$ (mg/L)	$N_c$ (mg/L)	$N_o$ (mg/L)
10	204	0.031	2.25	1.04	3.12	6.07	12.51
20	102	0.020	2.00	0.985	5.96	3.83	12.79
30	68	0.010	1.85	0.935	7.43	2.75	12.97
40	51	0.006	1.75	0.888	8.29	2.14	13.07

ตารางที่ 4.8 ค่าคงที่อัตราการกำจัด TKN จากทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	$K_{N1}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_{N2}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_{N3}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_{N4}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_N$ (d <sup>-1</sup> )
10	204	0.0009	0.060	0.019	0.051	0.1312
20	102	0.0005	0.043	0.015	0.082	0.1403
30	68	0.0003	0.037	0.013	0.098	0.1483
40	51	0.00017	0.035	0.012	0.107	0.1545

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่อัตราการกำจัด TKN จากทดลองของระบบบ่อปรับเสถียร

HRT (d)	OLR (kg/ ha *d)	$K_{N1}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_{N2}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_{N3}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_{N4}$ (d <sup>-1</sup> )	$K_N$ (d <sup>-1</sup> )
10	204	0.0005	0.037	0.019	0.050	0.1061
20	102	0.0003	0.026	0.015	0.076	0.1170
30	68	0.0001	0.022	0.013	0.089	0.1239
40	51	0.00007	0.020	0.012	0.096	0.1277

หมายเหตุ  $K_{N1}$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัด  $NO_3^-$  ในน้ำออก

$K_{N2}$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัด N โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในบ่อทดลอง

$K_{N3}$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัด N โดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ที่ผิวของบ่อทดลอง

$K_{N4}$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัด N ที่ถูกกำจัดโดยการตกตะกอนและการระเหยไปในอากาศ

$K_N$  = ค่าคงที่อัตราการกำจัด TKN ในน้ำออก

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่อัตราการกำจัด TKN ระหว่างระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียรที่สถานะเดียวกันพบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวมีค่าคงที่ของอัตราการกำจัด TKN สูงกว่าระบบบ่อปรับเสถียร เพราะว่าในระบบบ่อบำบัดแบบติดผิวมีปริมาณมวลชีวภาพสูงกว่า จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชันสูงกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนได้มากกว่า และจากค่าคงที่การกำจัดที่คำนวณได้ทั้ง 2 ระบบจะเห็นว่า การกำจัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้นโดยขบวนการไนตริฟิเคชันมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการกำจัดด้วยขบวนการอื่นๆ เช่น การระเหยของก๊าซไนโตรเจนและการกำจัดโดยการนำไปใช้ของจุลินทรีย์

#### 4.8 แบบจำลองการกำจัดฟอสฟอรัส

จากผลการทดลอง นำค่าที่ได้มาแทนลงในสมการที่ (2-8) เพื่อหาค่าคงที่ ซึ่งจากสมการถ้านำมาจัดรูปเป็นสมการเส้นตรงจะเห็นว่า ถ้านำค่า  $\ln P_0/P_c$  กับค่า HRT ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นที่เกิดขึ้นก็คือค่าคงที่  $k$  นั่นเอง

จากภาพที่ 4.9 เป็นกราฟจากผลการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรค่าความเข้มข้นที่ได้คือ 0.0119 ซึ่งก็คือค่า  $\infty$  ในสมการที่ (2-9) และเมื่อนำผลการทดลองของระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิวไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ จะแสดงดังภาพที่ 4.10 ค่าความเข้มข้นที่ได้จากกราฟคือ 0.0173 ซึ่งนั่นก็คือค่า  $\infty + f(\beta)$  ในสมการที่ (2-9) ดังนั้นค่าคงที่เนื่องมาจากการเติมตัวกลางลงไปภายในบ่อ ก็คือ 0.0054 จากค่าคงที่อัตราการกำจัดที่มากกว่านี้แสดงให้เห็นว่าระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าระบบบ่อปรับเสถียร

#### 4.9 แบบจำลองการกำจัดโดยการทดสอบทางสถิติ

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำจัดสารอาหาร ของระบบบ่อปรับเสถียร และระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิวโดยการทดสอบทางสถิติ โดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นมาอธิบาย รายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบแสดงในภาคผนวก ค

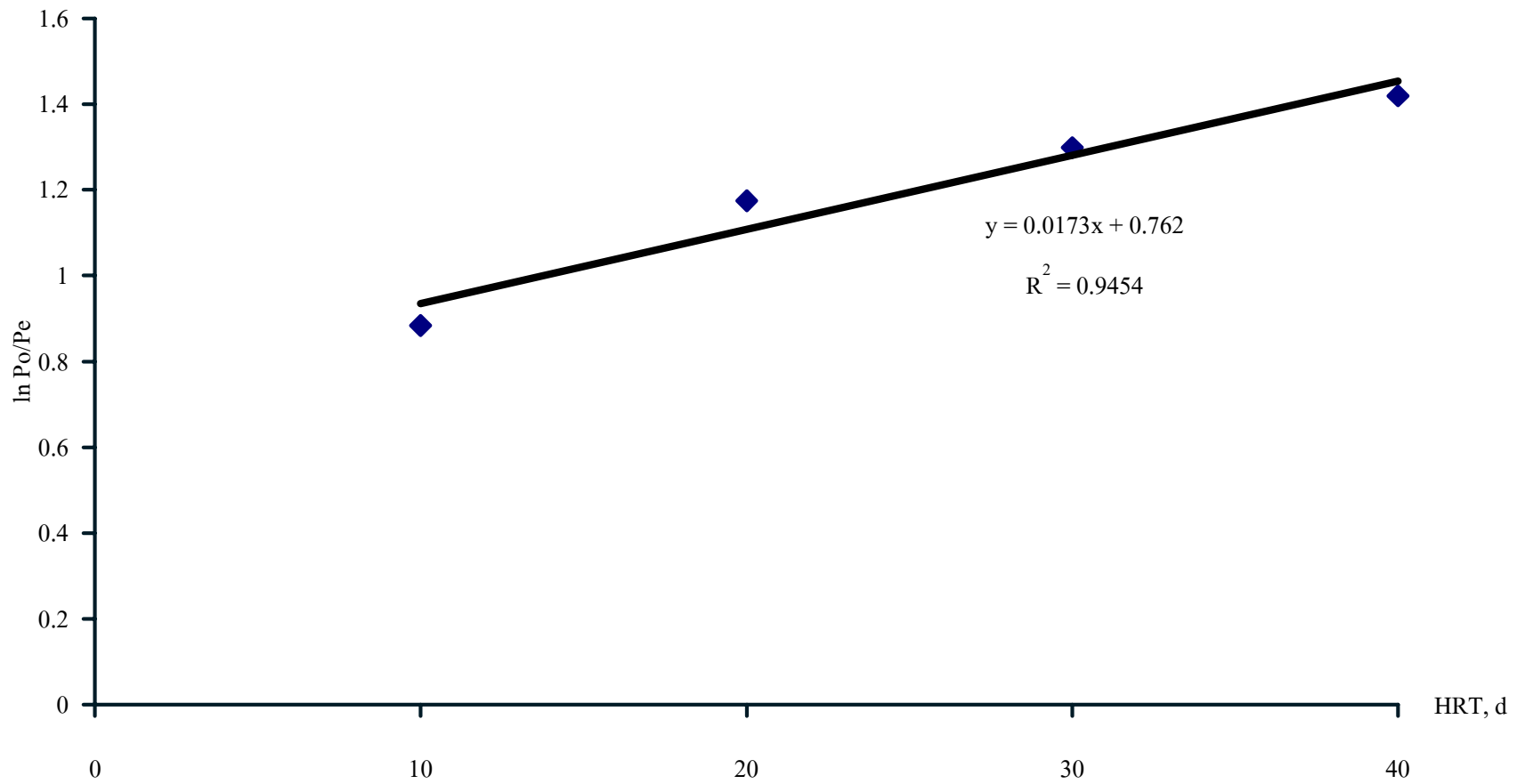
แบบจำลองการกำจัดฟอสฟอรัส เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการทดสอบทางสถิติโดยอ้างอิงจากสมการที่ (2-8) ผลจากการทดสอบพบว่า มีค่าระดับนัยสำคัญไม่เกิน 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การพิจารณาระดับนัยสำคัญในการทดสอบสมการถดถอยเชิงเส้น

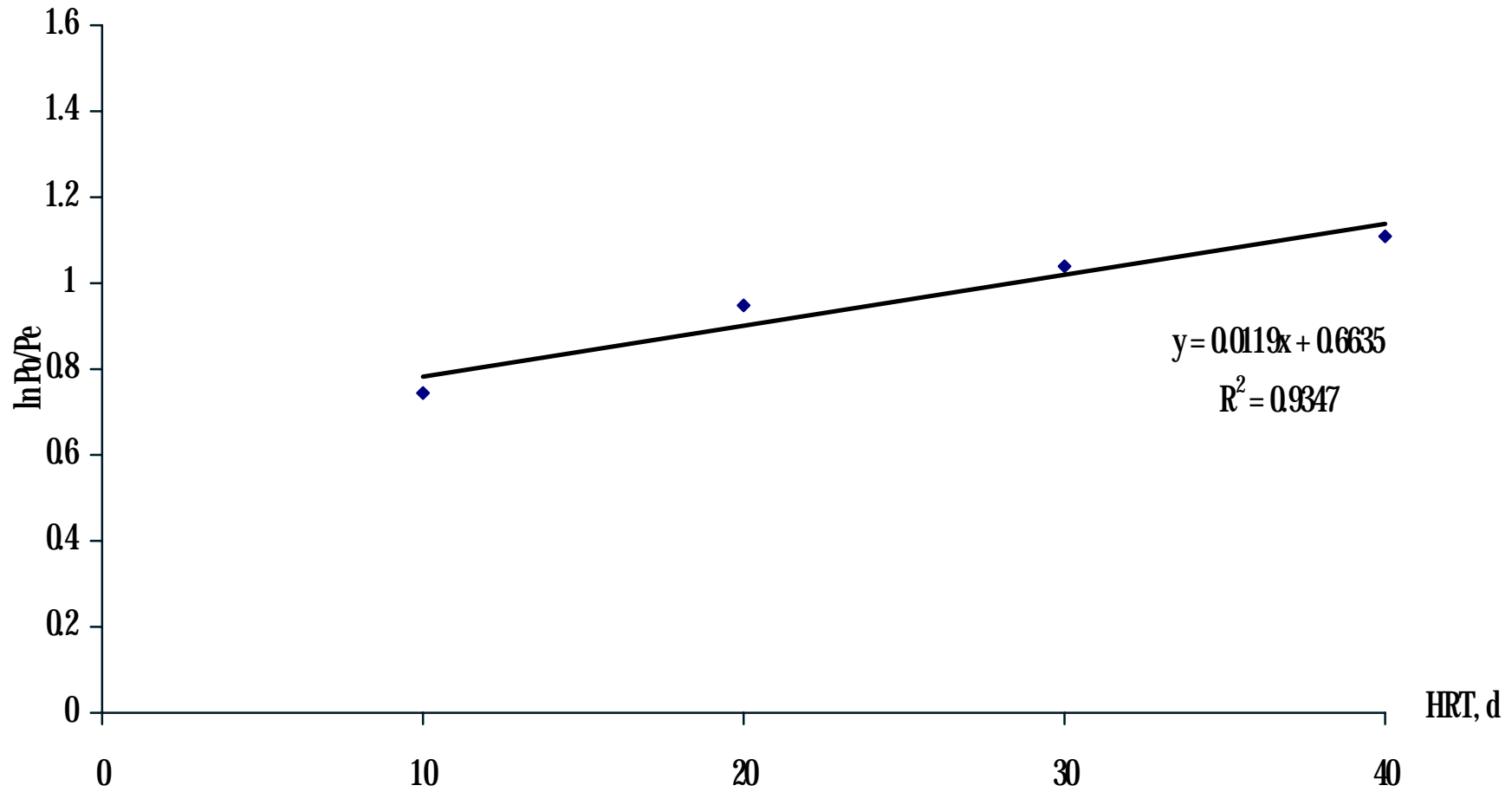
ชนิดของระบบ	ระดับนัยสำคัญ	การยอมรับที่ระดับนัยสำคัญไม่เกิน 0.05
ระบบบ่อปรับเสถียรแบบคิดผิว	0.037	ยอมรับ
ระบบบ่อปรับเสถียร	0.033	ยอมรับ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 หมายความว่าสามารถยอมรับว่าสมการถดถอยเชิงเส้นของทั้งสองระบบมีความน่าเชื่อถือ สมการเชิงเส้นถดถอยที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังต่อไปนี้





ภาพที่ 4.9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln P_o/P_e$  (ฟอสฟอรัส) กับ HRT ของระบบบ่อบำบัดเสียรแบบติดผิว



ภาพที่ 4.10 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln P_0/P_e$  (ฟอสฟอรัส) กับ HRT ของระบบบ่อปรับเสถียร

$$\text{ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว} \quad \ln P_0 / P_c = 0.01830 t + 0.730$$

$$\text{ระบบบ่อปรับเสถียร} \quad \ln P_0 / P_c = 0.01186 t + 0.664$$

และเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคงที่  $k$  ระหว่างการใช้กราฟกับการใช้วิธีการทางสถิติพบว่าทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.0054 สำหรับวิธีเขียนกราฟและ 0.00644 สำหรับวิธีทางสถิติ

แบบจำลองการกำจัด TKN เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการทดสอบทางสถิติโดยอ้างอิงจากสมการที่ (2-6) ผลจากการทดสอบพบว่า มีค่าระดับนัยสำคัญไม่เกิน 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การพิจารณาระดับนัยสำคัญในการทดสอบสมการถดถอยเชิงเส้น

ชนิดของระบบ	ระดับนัยสำคัญ	การยอมรับที่ระดับนัยสำคัญไม่เกิน 0.05
ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว	0.001	ยอมรับ
ระบบบ่อปรับเสถียร	0.000	ยอมรับ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.11 หมายความว่าสามารถยอมรับว่าสมการถดถอยเชิงเส้นของทั้งสองระบบมีความน่าเชื่อถือ สมการเชิงเส้นถดถอยที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว} \quad (N_0 - N_c) / N_c = 0.163 t - 0.381$$

$$\text{ระบบบ่อปรับเสถียร} \quad (N_0 - N_c) / N_c = 0.135 t - 0.329$$



**บทที่ 5**  
**สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

**5.1 สรุปผลการวิจัย**

การกำจัดสารอาหารจากโรงงานผลิตกัณฑ์นมโดยใช้ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัด เปรียบเทียบระหว่างระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวกับระบบบ่อปรับเสถียรเพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใส่ตัวกลางลงไปภายในระบบ ผลการวิจัยสรุปได้ตามตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดระหว่างระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวกับระบบบ่อปรับเสถียร

ตัวแปร	% การกำจัด	
	ระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว	ระบบบ่อปรับเสถียร
COD	91.36	83.44
BOD <sub>5</sub>	92.86	87.04
TKN	86.08	83.63
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	89.47	94.74
TP	75.81	67.00
TSS	94.45	84.34

- จากข้อมูลการทดลองทั้งหมดพบว่าทุกๆระยะเวลาเก็บกักน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวจะสูงกว่าระบบบ่อปรับเสถียร ยกเว้นการกำจัดปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ดังนั้นการที่ทำการติดตั้งตัวกลางลงไปภายในบ่อ จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดให้กับระบบบ่อปรับเสถียรที่ไม่ได้ทำการติดตั้งตัวกลางลงไป ทั้งนี้เพราะตัวกลางที่ติดตั้งลงไปจะเป็นตัวช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ภายในบ่อให้มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์เป็นตัวที่ช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารที่เกิดขึ้นภายในบ่อ

- ในงานวิจัยนี้พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 40 วันมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด แต่ ถ้าพิจารณาที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วันพบว่า ปริมาณ COD และ BOD<sub>5</sub> ที่ออกจากบ่อบำบัดก็มี ปริมาณที่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง จึงกล่าวสรุปได้ว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วันก็เพียงพอที่จะใช้ระบบ บ่อบำบัดแบบเติมอากาศสำหรับการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากว่าที่ระยะเวลาที่ 30 วันจะสิ้นเปลืองค่า ใช้จ่ายในการเดินระบบน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 40 วัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีปริมาณสาหร่ายปะปนออกมาด้วย ดังนั้นควรจะมีการแยก สาหร่ายออกก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะเห็นจากผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างน้ำที่ผ่านการกรองและน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิด ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้สาหร่ายที่ได้เป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งอาจ นำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ได้

- ควรมีการทดลองเพิ่มปริมาณตัวกลางที่ใส่ลงไปภายในบ่อบำบัด เพื่อที่จะได้หาปริมาณ ที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

## รายการอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539), “การบำบัดน้ำเสีย”, พิมพ์ครั้งที่ 1, มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544), “การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ”, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, หน้า 207-310.
- APHA, AWWA and WPCF (1985), “Standard Method for the Examination of Water and Wastewater”, 16<sup>th</sup> ed., APHA, Washington D.C.
- AWWA Committee on Water Quality (1970), “Chemistry of Nitrogen and Phosphorus in Waters”, *Journal American Water Works Association* vol. 62, No. 2, pp. 127-140.
- Constable, J.D. (1988), “Nitrogen Removal in Wastewater in Wastewater Lagoons”, M.Eng.Sc. Thesis, University of Melbourne, Australia.
- Levenspiel, O. (1972), “Chemical Reaction Engineering”, 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley International.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991), “Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse”, 3<sup>rd</sup> Edition McGraw-Hill, New York.
- Janolino, R.B. (1988), “Phosphorus Removal in Attached Growth Waste Stabilization Ponds”, Master Thesis, No.Ev.88-20, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 56pp.
- Polprasert, C and H.K. Shin (1987), “Attached-Growth Waste Stabilization Ponds Treatment Evaluation”, *Water Science & Technology*, vol. 19, No.12, pp.229-235.
- Potprasart, Wara-anong (1995), “Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater by Attached-Growth Waste Stabilization Pond”, Master Thesis, No.Ev.95-4, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 92pp.
- Puetpaiboon, Udomphon (1996), “Nitrogen Removal in Baffled Waste Stabilization Pond ”, Ph.D. Thesis, No.Ev.96-2, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkins, G.F. (1994), “Chemistry for Environmental Engineering”, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, International Editions, USA.
- Shin, H.K. (1987), “Attached-Growth Waste Stabilization Ponds Treatment”, Ph.D. Thesis, No.Ev.87-2, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 106pp.
- Thirumurthi, D. (1974), “Design Criteria for Waste Stabilization Ponds”, *Journal of Water*

*Pollution Control Federation* Vol.46, No.9, pp.2094-2106.

ภาคผนวก ก

การศึกษารติดตาม(Tracer Study)

ตารางที่ 1ก ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษาสารติดตามของระบบป้อปรับเสถียรแบบติดผิว

t (mins)	$\Delta t_i$ (mins)	C (mg/l)	$C_i=C/C_0$	$C_i\Delta t_i$	$t_i C_i\Delta t_i$	$t_i^2 C_i\Delta t_i$
0	0	0	0	0	0	0
30	30	3.99876	0.0008	0.023993	0.719777	21.5933
60	30	9.9969	0.001999	0.059981	3.598884	215.933
90	30	15.99504	0.003199	0.09597	8.637322	777.3589
120	30	23.99256	0.004799	0.143955	17.27464	2072.957
150	30	29.9907	0.005998	0.179944	26.99163	4048.745
180	30	39.9876	0.007998	0.239926	43.18661	7773.589
240	60	57.98202	0.011596	0.695784	166.9882	40077.17
300	60	69.9783	0.013996	0.83974	251.9219	75576.56
360	60	79.9752	0.015995	0.959702	345.4929	124377.4
420	60	97.96962	0.019594	1.175635	493.7669	207382.1
480	60	109.9659	0.021993	1.319591	633.4036	304033.7
540	60	123.9616	0.024792	1.487539	803.2709	433766.3
600	60	143.9554	0.028791	1.727464	1036.479	621887.2
660	60	169.9473	0.033989	2.039368	1345.983	888348.5
720	60	165.9485	0.03319	1.991382	1433.795	1032333
840	60	161.9498	0.03239	1.943397	1632.454	1371261
960	120	153.9523	0.03079	3.694854	3547.06	3405178
1080	120	145.9547	0.029191	3.502914	3783.147	4085799
1200	120	139.9566	0.027991	3.358958	4030.75	4836900
1320	120	131.9591	0.026392	3.167018	4180.464	5518212
1440	120	123.9616	0.024792	2.975077	4284.112	6169121
1560	120	117.9634	0.023593	2.831122	4416.55	6889819
1680	120	113.9647	0.022793	2.735152	4595.055	7719693
1800	120	105.9671	0.021193	2.543211	4577.78	8240005
1920	120	93.97086	0.018794	2.255301	4330.177	8313940
2040	120	85.97334	0.017195	2.06336	4209.255	8586880

ตารางที่ 1ก (ต่อ)

T (mins)	$\Delta t_i$ (mins)	C (mg/l)	$C_i=C/C_o$	$C_i\Delta t_i$	$t_i C_i \Delta t_i$	$t_i^2 C_i \Delta t_i$
2160	120	77.97582	0.015595	1.87142	4042.267	8731296
2280	120	61.98078	0.012396	1.487539	3391.588	7732821
2400	120	47.98512	0.009597	1.151643	2763.943	6633463
2520	120	35.98884	0.007198	0.863732	2176.605	5485045
2640	120	25.99194	0.005198	0.623807	1646.849	4347682
2760	120	15.99504	0.003199	0.383881	1059.511	2924252
2880	120	13.99566	0.002799	0.335896	967.38	2786054
Sum =				50.76826	66246.46	1.08E+08

ตารางที่ 2ก ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษารีดตามของระบบป้อนปรับเสถียร

T (mins)	$\Delta t_i$ (mins)	C (mg/l)	$C_i=C/C_o$	$C_i\Delta t_i$	$t_i C_i \Delta t_i$	$t_i^2 C_i \Delta t_i$
0	0	0	0	0	0	0
30	30	9.9969	0.001999	0.059981	1.799442	53.98326
60	30	21.99318	0.004399	0.131959	7.917545	475.0527
90	30	27.99132	0.005598	0.167948	15.11531	1360.378
120	30	33.98946	0.006798	0.203937	24.47241	2936.689
150	30	39.9876	0.007998	0.239926	35.98884	5398.326
180	30	49.9845	0.009997	0.299907	53.98326	9716.987
240	60	61.98078	0.012396	0.743769	178.5046	42841.12
300	60	79.9752	0.015995	0.959702	287.9107	86373.22
360	60	95.97024	0.019194	1.151643	414.5914	149252.9
420	60	109.9659	0.021993	1.319591	554.2281	232775.8
480	60	133.9585	0.026792	1.607502	771.6007	370368.4
540	60	157.951	0.03159	1.895412	1023.523	552702.2
600	60	173.9461	0.034789	2.087353	1252.412	751447
660	60	161.9498	0.03239	1.943397	1282.642	846543.9
720	60	155.9516	0.03119	1.87142	1347.422	970144
840	60	151.9529	0.030391	1.823435	1531.685	1286615
960	120	145.9547	0.029191	3.502914	3362.797	3228285
1080	120	139.9566	0.027991	3.358958	3627.675	3917889
1200	120	133.9585	0.026792	3.215003	3858.004	4629604
1320	120	123.9616	0.024792	2.975077	3927.102	5183775
1440	120	117.9634	0.023593	2.831122	4076.816	5870615
1560	120	109.9659	0.021993	2.639182	4117.123	6422712
1680	120	99.969	0.019994	2.399256	4030.75	6771660
1800	120	73.97706	0.014795	1.775449	3195.809	5752456
1920	120	57.98202	0.011596	1.391568	2671.811	5129878
2040	120	41.98698	0.008397	1.007688	2055.683	4193592



ตารางที่ 2ก (ต่อ)

t (mins)	$\Delta t_i$ (mins)	C (mg/l)	$C_i=C/C_o$	$C_i\Delta t_i$	$t_i C_i \Delta t_i$	$t_i^2 C_i \Delta t_i$
2160	120	33.98946	0.006798	0.815747	1762.014	3805949
2280	120	29.9907	0.005998	0.719777	1641.091	3741688
2400	120	21.99318	0.004399	0.527836	1266.807	3040337
2520	120	13.99566	0.002799	0.335896	846.4575	2133073
Sum =				44.00236	49223.74	69130520

### ภาคผนวก ข

ข้อมูลของผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของระบบบำบัดเสถียรแบบติดผิว

ตารางที่ 1ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD(mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อปรับ  
เสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 40วัน

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
1/4/00	658.36	177.94	72.97	355.87	45.95
2/4/00	744.68	142.35	80.88	320.28	56.99
3/4/00	744.68	159.57	78.57	283.69	61.90
4/4/00	722.22	111.11	84.62	277.78	61.54
5/4/00	702.70	108.11	84.62	162.16	76.92
6/4/00	696.86	87.11	87.50	121.95	82.50
7/4/00	684.86	102.73	85.00	171.23	75.00
8/4/00	719.18	85.62	88.09	154.11	78.57
9/4/00	714.29	102.04	85.71	153.06	78.57
10/4/00	680.27	85.03	87.50	136.05	80.00
11/4/00	663.27	68.03	89.74	119.05	82.05
12/4/00	707.07	84.18	88.09	101.01	85.71
13/4/00	676.57	82.51	87.80	132.01	80.49
14/4/00	693.07	66.01	90.48	115.51	83.33
15/4/00	709.57	82.51	88.37	115.51	83.72
16/4/00	660.07	62.01	90.61	99.01	85.00
17/4/00	660.07	82.51	87.50	99.01	85.00
18/4/00	693.07	99.01	85.71	115.51	83.33
19/4/00	693.07	98.04	85.85	117.65	83.02
20/4/00	693.07	90.25	86.98	108.30	84.37
21/4/00	716.91	84.56	88.20	108.45	84.87
22/4/00	680.15	79.04	88.38	104.78	84.59
23/4/00	680.15	84.56	87.57	90.07	86.76
24/4/00	680.15	82.72	87.84	97.43	85.68
25/4/00	682.23	64.63	90.53	104.13	84.74

ตารางที่ 1ข (ต่อ)

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
26/4/00	682.23	61.04	91.05	96.95	85.79
27/4/00	682.23	57.45	91.58	98.74	85.53
28/4/00	718.13	61.04	91.50	102.33	85.75
29/4/00	646.62	57.45	91.12	98.74	84.73
30/4/00	646.62	59.25	90.84	104.13	83.90
1/5/00	719.42	62.95	91.25	104.32	85.50
2/5/00	683.45	59.35	91.32	102.52	85.00
3/5/00	683.45	61.15	91.05	98.92	85.53
4/5/00	701.44	57.55	91.80	100.72	85.64

หมายเหตุ น้ำที่ออกจากระบบ 1 = น้ำจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบติดผิว

น้ำที่ออกจากระบบ 2 = น้ำจากระบบบำบัดปรับเสถียร

ตารางที่ 2ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD(mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อปรับ  
เสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30วัน

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
1/6/00	606.06	64.39	89.38	113.64	81.25
2/6/00	656.37	61.78	90.59	115.83	82.35
3/6/00	656.66	71.30	89.14	112.57	82.86
4/6/00	621.47	69.68	88.79	113.00	81.82
5/6/00	621.47	71.56	88.49	113.00	81.82
6/6/00	620.30	75.19	87.88	131.58	78.79
7/6/00	706.11	74.43	89.46	133.59	81.08
8/6/00	681.82	77.65	88.61	132.58	80.55
9/6/00	711.68	80.29	88.72	127.74	82.05
10/6/00	693.43	89.42	87.10	127.74	81.58
11/6/00	623.82	92.63	85.15	132.33	78.79
12/6/00	707.27	95.51	86.50	134.83	80.94
13/6/00	609.04	86.44	85.81	141.45	76.77
14/6/00	666.67	86.27	87.06	137.26	79.41
15/6/00	606.65	84.15	86.13	135.03	77.74
16/6/00	611.44	80.87	86.77	134.12	78.06
17/6/00	674.37	82.85	87.71	131.02	80.57
18/6/00	683.59	80.07	88.29	130.86	80.86
19/6/00	719.85	81.71	88.65	132.30	81.62
20/6/00	685.48	82.66	87.94	129.03	81.18
21/6/00	650.89	84.81	86.97	134.12	79.39
22/6/00	611.44	84.81	86.13	134.12	78.06
23/6/00	670.61	82.84	87.65	130.18	80.59
24/6/00	748.03	82.68	88.95	131.89	82.37
25/6/00	708.66	80.71	88.61	129.92	81.67

ตารางที่ 2ข (ต่อ)

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
26/6/00	690.34	80.87	88.29	128.20	81.43
27/6/00	669.29	76.77	88.53	125.98	81.18
28/6/00	688.98	80.71	88.29	129.92	81.14
29/6/00	669.29	78.74	88.24	127.95	80.88
30/6/00	649.91	78.74	87.88	125.98	80.62
1/7/00	708.66	80.71	88.61	127.95	81.94
2/7/00	664.06	78.13	88.23	126.95	80.88
3/7/00	664.53	80.08	87.95	128.91	80.60
4/7/00	704.50	78.28	88.89	127.20	81.94
5/7/00	684.93	80.23	88.29	127.20	81.43
6/7/00	708.66	78.74	88.89	127.95	81.94

หมายเหตุ น้ำที่ออกจากระบบ 1 = น้ำจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบติดผิว

น้ำที่ออกจากระบบ 2 = น้ำจากระบบบำบัดปรับเสถียร

ตารางที่ 3ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD(mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อปรับ  
เสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20วัน

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
27/7/00	607.29	80.97	86.67	125.51	79.33
28/7/00	708.50	87.05	87.71	127.53	82.00
29/7/00	679.61	95.15	86.00	128.16	81.14
30/7/00	660.19	104.85	84.12	133.98	79.71
31/7/00	703.13	99.61	85.83	140.63	80.00
1/8/00	700.39	108.95	84.44	142.02	79.72
2/8/00	661.48	101.17	84.71	140.08	78.82
3/8/00	617.53	99.60	83.87	133.47	78.39
4/8/00	577.69	105.58	81.72	139.44	75.86
5/8/00	742.19	117.19	84.21	136.72	81.58
6/8/00	585.94	109.38	81.33	150.39	74.33
7/8/00	648.86	112.60	82.65	148.86	77.06
9/8/00	572.52	103.05	82.00	152.67	73.33
10/8/00	721.06	113.85	84.21	155.6	78.42
11/8/00	683.11	108.16	84.17	153.7	77.50
12/8/00	620.00	106.00	82.90	152	75.48
13/8/00	640.00	108.00	83.13	156	75.63
14/8/00	697.21	109.56	84.29	159.36	77.14
15/8/00	677.29	111.55	83.53	157.37	76.76
16/8/00	705.65	108.87	84.57	161.29	77.14
17/8/00	669.29	108.27	83.82	159.45	76.18
18/8/00	688.98	114.17	83.43	157.48	77.14
19/8/00	708.66	112.21	84.17	161.42	77.22
20/8/00	663.98	112.68	83.03	156.94	76.36
21/8/00	663.98	110.66	83.33	154.93	76.67

ตารางที่ 3ข (ต่อ)

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
22/8/00	695.30	108.39	84.41	159.51	77.06
23/8/00	685.48	112.90	83.53	157.26	77.06
24/8/00	654.94	111.11	83.04	156.75	76.07
25/8/00	674.60	109.13	83.82	160.71	76.18

หมายเหตุ น้ำที่ออกจากระบบ 1 = น้ำจากระบบบำบัดเสถียรแบบติดผิว

น้ำที่ออกจากระบบ 2 = น้ำจากระบบบำบัดเสถียร



ตารางที่ 4ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD(mg/L) ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทั้งจากระบบบ่อปรับ  
เสถียรแบบติดผิวและระบบบ่อปรับเสถียร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10วัน

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
20/9/00	516.90	113.32	78.08	159.45	69.15
21/9/00	576.54	121.27	78.97	174.95	69.66
22/9/00	595.24	136.91	77.00	198.41	66.67
23/9/00	555.56	152.78	72.50	220.24	60.36
24/9/00	546.56	141.70	74.07	232.79	57.41
25/9/00	566.80	157.89	72.14	248.99	56.07
26/9/00	546.56	155.87	71.48	232.79	57.41
27/9/00	566.80	161.94	71.43	246.93	56.43
28/9/00	562.25	148.59	73.57	244.98	56.43
29/9/00	602.41	146.59	75.67	248.99	58.67
30/9/00	560.00	150.00	73.21	246.00	56.07
1/10/00	600.00	152.00	74.67	256.00	57.33
2/10/00	705.65	157.26	77.71	266.13	62.29
3/10/00	685.48	169.36	75.29	254.03	62.94
4/10/00	584.68	157.26	73.10	241.94	58.62
5/10/00	550.10	147.35	73.21	241.65	56.07
6/10/00	648.33	163.05	74.85	261.30	59.70
7/10/00	584.68	153.22	73.79	250.00	57.24
8/10/00	584.68	161.29	72.41	241.94	58.62
9/10/00	602.41	164.66	72.67	248.99	58.67
10/10/00	582.33	160.64	72.41	249.00	57.24
11/10/00	649.61	163.39	74.85	259.84	60.00
12/10/00	629.92	161.41	74.38	253.94	59.69
13/10/00	600.00	158.00	73.67	252.00	58.00
14/10/00	600.00	160.00	73.33	254.00	57.67

ตารางที่ 4ข (ต่อ)

วันที่	น้ำที่เข้าระบบ	น้ำที่ออกจาก ระบบ 1	%การกำจัด	น้ำที่ออกจาก ระบบ 2	%การกำจัด
15/10/00	595.01	157.39	73.55	251.44	57.74
16/10/00	614.20	161.23	73.75	253.36	58.75
17/10/00	615.08	156.75	74.52	251.98	59.03
18/10/00	575.40	158.73	72.41	251.98	56.21

หมายเหตุ น้ำที่ออกจากระบบ 1 = น้ำจากระบบบำบัดเสถียรแบบติดผิว

น้ำที่ออกจากระบบ 2 = น้ำจากระบบบำบัดเสถียร

ตารางที่ 5 ข ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของระยะเวลาเก็บกัก 40 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเสียที่จุดเข้า	684.58	24.78	3.62%
น้ำออก 1	60.189	2.43	4.04%
น้ำออก 2	101.15	2.69	2.67%

หมายเหตุ  $\text{Coefficient of variance} = (\text{Std dev} \times 100/\text{Mean})$

น้ำออก 1 = น้ำออกจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบตีคฝิว

น้ำออก 2 = น้ำออกจากระบบบำบัดปรับเสถียร

ตารางที่ 6 ข ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคงที่ของระยะเวลาเก็บกัก 40 วัน

น้ำตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	TP (mg/L)	TSS (mg/L)
น้ำเสียที่จุดเข้า	663.44	490.00	12.04	0.114	12.94	132.00
น้ำออก 1	57.29	35.00	2.80	0.012	3.13	7.33
น้ำออก 1 (แบบผ่านการกรอง)	41.62	22.83	1.21	0.0083	2.44	-
น้ำออก 2	109.89	63.50	3.17	0.006	4.27	20.67
น้ำออก 2 (แบบผ่านการกรอง)	63.36	48	1.40	0.0003	3.48	-

ตารางที่ 7ข ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเสียที่จุดเข้า	679.25	23.59	3.47%
น้ำออก 1	72.04	1.28	1.78%
น้ำออก 2	116.11	1.22	1.05%

หมายเหตุ  $\text{Coefficient of variance} = (\text{Std dev} \times 100 / \text{Mean})$

น้ำออก 1 = น้ำออกจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบตีคฝิว

น้ำออก 2 = น้ำออกจากระบบบำบัดปรับเสถียร

ตารางที่ 8ข ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคงที่ของระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

น้ำตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	TP (mg/L)	TSS (mg/L)
น้ำเสียที่จุดเข้า	684.81	440	12.65	0.108	12.72	133.33
น้ำออก 1	78.46	52.00	3.27	0.021	3.47	11.33
น้ำออก 1 (แบบผ่านการกรอง)	57.18	41.00	1.45	0.016	2.56	-
น้ำออก 2	126.33	68.00	3.97	0.010	4.50	23.33
น้ำออก 2 (แบบผ่านการกรอง)	73.14	55.00	1.73	0.003	3.48	-

ตารางที่ 9x ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเสียที่จุดเข้า	681.07	18.58	2.73%
น้ำออก 1	100.95	2.11	2.09%
น้ำออก 2	114.26	2.21	1.53%

หมายเหตุ  $\text{Coefficient of variance} = (\text{Std dev} \times 100/\text{Mean})$

น้ำออก 1 = น้ำออกจากระบบบำบัดปรับเสถียรแบบตีคฝิว

น้ำออก 2 = น้ำออกจากระบบบำบัดปรับเสถียร

ตารางที่ 10x ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบคงที่ของระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน

น้ำตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	TP (mg/L)	TSS (mg/L)
น้ำเสียที่จุดเข้า	678.76	440.00	12.79	0.110	12.72	132.67
น้ำออก 1	111.13	83.64	3.69	0.034	3.93	15.33
น้ำออก 1 (แบบผ่านการกรอง)	65.88	87.35	2.33	0.026	2.67	-
น้ำออก 2	159.03	80.00	4.85	0.020	4.96	28.67
น้ำออก 2 (แบบผ่านการกรอง)	85.17	84.77	2.66	0.008	3.47	-

ตารางที่ 11 ข ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบบดทิ้งของระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเสียที่จุดเข้า	606.40	21.92	3.61%
น้ำออก 1	145.89	2.57	1.76%
น้ำออก 2	229.97	3.08	1.34%

หมายเหตุ  $\text{Coefficient of variance} = (\text{Std dev} \times 100 / \text{Mean})$

น้ำออก 1 = น้ำออกจากระบบบดปรับเสถียรแบบตีคฝิว

น้ำออก 2 = น้ำออกจากระบบบดปรับเสถียร

ตารางที่ 12 ข ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อระบบบดทิ้งของระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน

น้ำตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)	TP (mg/L)	TSS (mg/L)
น้ำเสียที่จุดเข้า	609.29	445.00	13.07	0.113	12.83	130.00
น้ำออก 1	160.06	117.00	5.41	0.049	5.30	20
น้ำออก 1 (แบบผ่านการกรอง)	80.26	68.00	3.82	0.038	3.70	-
น้ำออก 2	255.16	178.00	6.07	0.031	6.10	34.67
น้ำออก 2 (แบบผ่านการกรอง)	161.38	118.00	4.20	0.018	4.15	-

ตารางที่ 13ข แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของระบบบ่อบำบัดแบบตีคิ้ว

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกัก			
	10 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน
COD (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	609.29	678.76	684.78	663.44
น้ำที่ออกจากระบบ	160.06	113.13	78.46	57.29
%การกำจัด	73.73	83.63	88.54	91.36
BOD <sub>5</sub> (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	445.00	440.00	440.00	490.00
น้ำที่ออกจากระบบ	117.00	72.00	52.00	35.00
%การกำจัด	73.71	83.64	88.18	92.86
TKN (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.51	12.79	12.97	13.07
น้ำที่ออกจากระบบ	5.41	3.36	2.38	1.82
%การกำจัด	56.76	73.73	81.65	86.08
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	0.113	0.110	0.108	0.114
น้ำที่ออกจากระบบ	0.049	0.034	0.021	0.012
%การกำจัด	56.64	69.09	80.56	89.47
TP (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.83	12.72	12.72	12.94
น้ำที่ออกจากระบบ	5.30	3.93	3.47	3.13
%การกำจัด	57.61	69.10	72.72	75.81
TSS (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	130.00	132.67	133.33	132.00
น้ำที่ออกจากระบบ	20.00	15.33	11.33	7.33
%การกำจัด	84.62	88.45	91.50	94.45

ตารางที่ 14ข แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของระบบบ่อบำบัดแบบเติมอากาศแบบตีฟิวแบบผ่านการกรอง

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกัก			
	10 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน
COD (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	609.29	678.76	684.78	663.44
น้ำที่ออกจากระบบ	80.26	65.88	57.18	41.62
%การกำจัด	86.83	90.29	91.65	93.78
BOD <sub>5</sub> (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	445.00	440.00	440.00	490.00
น้ำที่ออกจากระบบ	68.00	55.67	41.00	22.83
%การกำจัด	84.72	87.35	90.68	95.34
TKN (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.51	12.79	12.97	13.07
น้ำที่ออกจากระบบ	3.82	2.33	1.45	1.21
%การกำจัด	69.46	81.78	88.82	90.74
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	0.113	0.110	0.108	0.114
น้ำที่ออกจากระบบ	0.038	0.026	0.016	0.0083
%การกำจัด	66.37	76.36	85.19	92.72
TP (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.83	12.72	12.72	12.94
น้ำที่ออกจากระบบ	3.70	2.67	2.56	2.44
%การกำจัด	71.16	76.36	79.87	81.14
TSS (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	-	-	-	-
น้ำที่ออกจากระบบ	-	-	-	-
%การกำจัด	-	-	-	-



ตารางที่ 15x แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกัก			
	10 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน
COD (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	609.29	678.76	684.78	663.44
น้ำที่ออกจากระบบ	255.16	159.03	126.33	109.89
%การกำจัด	58.12	76.57	81.99	83.44
BOD <sub>5</sub> (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	445.00	440.00	440.00	490.00
น้ำที่ออกจากระบบ	178.00	88.00	68.00	63.50
%การกำจัด	60.00	80.00	84.55	87.04
TKN (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.51	12.79	12.97	13.07
น้ำที่ออกจากระบบ	6.07	3.83	2.75	2.14
%การกำจัด	51.48	70.05	78.80	83.63
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	0.113	0.110	0.108	0.114
น้ำที่ออกจากระบบ	0.031	0.020	0.010	0.006
%การกำจัด	72.57	81.82	90.74	94.74
TP (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.83	12.72	12.72	12.94
น้ำที่ออกจากระบบ	6.10	4.93	4.50	4.27
%การกำจัด	51.49	61.01	64.62	67.00
TSS (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	130.00	132.67	133.33	132.00
น้ำที่ออกจากระบบ	34.67	28.67	23.33	20.67
%การกำจัด	73.33	78.39	82.50	84.34

ตารางที่ 16ข แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของระบบบ่อบำบัดแบบปรับเสถียรแบบผ่านการกรอง

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกัก			
	10 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน
COD (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	609.29	678.76	684.78	663.44
น้ำที่ออกจากระบบ	161.38	85.17	73.14	63.36
%การกำจัด	73.51	87.45	89.32	90.45
BOD <sub>5</sub> (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	445.00	440.00	440.00	490.00
น้ำที่ออกจากระบบ	118.00	67.00	55.00	48.00
%การกำจัด	73.48	84.77	87.50	90.20
TKN (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.51	12.79	12.97	13.07
น้ำที่ออกจากระบบ	4.20	2.66	1.73	1.40
%การกำจัด	66.43	79.20	86.66	89.29
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	0.113	0.110	0.108	0.114
น้ำที่ออกจากระบบ	0.018	0.008	0.003	0.0003
%การกำจัด	84.07	92.73	97.22	99.74
TP (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	12.83	12.72	12.72	12.94
น้ำที่ออกจากระบบ	4.15	3.47	3.48	3.36
%การกำจัด	67.65	72.72	72.64	74.03
TSS (mg/L)				
น้ำที่เข้าสู่ระบบ	-	-	-	-
น้ำที่ออกจากระบบ	-	-	-	-
%การกำจัด	-	-	-	-

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ 1ค การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	Beta		
(Constant)	0.730	0.100		7.328	0.018
HRT	1.830E-02	0.004	0.963	5.031	0.037

ตารางที่ 2ค การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบ่อปรับเสถียร

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	Beta		
(Constant)	0.664	0.061		10.931	0.008
HRT	1.186E-02	0.002	0.967	5.351	0.033

ตารางที่ 3ค การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดไนโตรเจนของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	Beta		
(Constant)	-0.381	0.110		-3.475	0.074
HRT	0.163	0.004	0.999	40.623	0.001

ตารางที่ 4ค การทดสอบทางสถิติโดยใช้ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้นการกำจัดไนโตรเจนของระบบบ่อปรับเสถียร

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	Beta		
(Constant)	-0.329	0.058		-5.670	0.030
HRT	0.135	0.002	1.000	63.879	0.000