

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้  
บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

นายธีรวัฒน์ รั้วจิตรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2545  
ISBN 974-533-164-3

**TREATMENT OF TAPIOCA STARCH WASTEWATER USING ANAEROBIC  
ATTACHED-GROWTH WASTE STABILIZATION POND.**

**Mr. Theerawat Rukvichitkul**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of  
Master of Engineering in Environmental Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2002  
ISBN 974 533-164-3**

## หัวข้อวิทยานิพนธ์

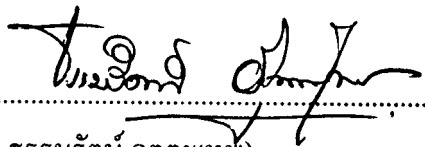
การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว  
TREATMENT OF TAPIOCA-STARCH WASTEWATER USING ANAEROBIC  
ATTACHED- GROWTH POND

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

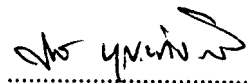


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ)  
ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา




(ดร.ชรธรรมรัตน์ คุณตะเทพ)

กรรมการ



(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วรพงษ์ ชำพิศ)

คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ธีรวัฒน์ รักรวิจิตรกุล : การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้  
บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว (TREATMENT OF TAPIOCA-STARCH WASTEWATER  
USING ANAEROBIC ATTACHED-GROWTH POND)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ, 73 หน้า. ISBN 974-533-164-3

งานวิจัยนี้เป็น การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ บ่อแอนแอโรบิกธรรมดา และหาค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 บ่อ บ่อหนึ่งทำการใส่ตัวกลางลงไป ทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8, 6, 4 และ 2 วัน ตามลำดับ หลังจากเข้าสู่สภาวะคงที่ของแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำแล้ว น้ำออกและน้ำในบ่อถูกนำมาทำการวิเคราะห์หาค่า COD, SS, และกรดอินทรีย์ ในบ่อธรรมดาประสิทธิภาพการกำจัด COD จะเกิดขึ้นสูงเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันหรือมากกว่า ในขณะที่กิจกรรมของการก่อมีเซนเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการศึกษาในบ่อแบบติดผิว อันเป็นผลให้เกิดประสิทธิภาพการกำจัดอะซิเตทระหว่างร้อยละ 60 ถึง 70 อย่างไม่ขึ้นกับปริมาณมวลชีวภาพของทั้งสองบ่อมีแนวโน้มที่จะเข้าใกล้กัน เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำมากกว่า 8 วัน จากการแปรเปลี่ยนของปริมาณมวลชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัดอะซิเตท พบว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมของบ่อแบบติดผิวควรเท่ากับ 4 วัน ซึ่งกิจกรรมทั้งของมวลชีวภาพ และของการกำจัดมีมากในช่วงระยะเวลาดังกล่าวระยะเวลาเก็บกักน้ำที่สั้นลงของบ่อแบบติดผิว ทำให้ประหยัดกว่าในการใช้งานควบคุมมลภาวะ

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2545

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

THEERAWAT RUKVICHITKUL : TREATMENT OF TAPIOCA-STARCH  
WASTEWATER USING ANAEROBIC ATTACHED-GROWTH POND : ASSIST.  
PROF. CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D. 73 PP. ISBN 974-533-164-3

ANAEROBIC POND/ANAEROBIC ATTACHED-GROWTH POND/TAPIOCA-  
STARCH WASTEWATER

This work was conducted to study the organic removal from the tapioca-starch wastewater, using an anaerobic attached-growth waste stabilization pond, with the objectives to compare the efficiency with that of ordinary pond and determine the optimum hydraulic retention time (HRT). Two laboratory-scale ponds-one with and the other without media for microbial attachment-were operated with the feed at the HRT of 8, 6, 4, and 2 days. After the steady-state condition was reached for each HRT, the pond content and the effluent were analyzed for COD, SS, and organic acids. Without media, the high COD removal efficiency of the pond was achieved at the HRT of 8 days or longer. Meanwhile, the methanogenic activities could be maintained in the attached-growth pond throughout the course of study, thereby resulting in the acetate removal efficiencies between 60-70%. However, the biomass contents of both ponds had the tendency to be equal at the HRT longer than 8 days. From the variation of biomass contents and the acetate removal efficiencies, the optimum HRT of the attached-growth pond was found to be about 4 days; as both biomass and removal activities were kept high at that region. Such the shorter HRT of the attached-growth pond would make it more economical to use in pollution control.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2545

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

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้ กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- ดร.ธรรมรัตน์ กุตะเทพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- ดร.สาโรช บุญยจิตรสมบัติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- บริษัทเจ้าพระยาพีชไร้ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่าง
- คุณณัฐทวดี สมอคำ ที่กรุณาช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ณ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
<b>2 ปฏิศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	3
2.1 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย .....	3
2.2 บ่อปรับเสถียรแบบติดผิว.....	8
2.3 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค .....	9
2.3.1 ชีวิตเคมีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค .....	9
2.3.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง กับ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค .....	11
2.3.3 การอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียใน การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค .....	13
2.4 จลนศาสตร์ของระบบบ่อ .....	14
2.5 การศึกษาสารติดตาม .....	15
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	17
3.1 การจัดตั้งระบบ .....	17

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3.3	วิธีดำเนินการทดลอง.....	17
3.4	วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย .....	21
<b>4</b>	<b>ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>22</b>
4.1	การศึกษาสารติดตาม .....	22
4.2	การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง .....	22
4.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย .....	24
4.3.1	การกำจัดซีโอดี .....	24
4.3.2	pH.....	27
4.3.3	การลดปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย.....	27
4.3.4	การกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส.....	31
4.3.5	มวลชีวภาพ .....	32
4.3.6	ประสิทธิภาพการลดกรดอะซิดิก, กรดโพรไฟโอนิก และกรดบิวทริก.....	32
4.3.7	มวลชีวภาพเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการลดกรดอะซิดิก .....	37
4.4	จลนศาสตร์ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	39
<b>5</b>	<b>สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>41</b>
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	41
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	42
	รายการอ้างอิง .....	43
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. การศึกษาสารติดตาม .....	46
	ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	51
	ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบทางสถิติ .....	68
	ประวัติผู้เขียน.....	73



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	ลักษณะของน้ำเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง.....2
3.1	ตัวแปร และวิธีการวิเคราะห์ที่เลือก.....21
4.1	ลักษณะของน้ำตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์.....24
4.2	ค่าคงที่ของ อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัดซีโอดีของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....40
1.ก	ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษาสารติดตามของบ่อแอนแอโรบิก.....47
2.ก	ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษาสารติดตามของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....49
1.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลา เก็บกักน้ำ 8 วัน.....52
2.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลา เก็บกักน้ำ 6 วัน.....53
3.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลา เก็บกักน้ำ 4 วัน.....54
4.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลา เก็บกักน้ำ 2 วัน.....55
5.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน.....56
6.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 วัน.....57
7.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน.....58
8.ข	ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน.....59

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
9.ข	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอซีของบ่อแอนแอโรบิก.....60
10.ข	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอซีของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....60
11.ข	ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังของบ่อแอนแอโรบิก.....61
12.ข	ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังของ บ่อแอนแอโรบิกแบบ ติดผิว.....62
13.ข	ค่ากรดอะซิดิก, กรดโพรไฟโพนิก และกรดบิวทริก ของบ่อแอนแอโรบิก.....63
14.ข	ค่ากรดอะซิดิก, กรดโพรไฟโพนิก และกรดบิวทริก ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....64
15.ข	ปริมาณมวลชีวภาพของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....65
16.ข	ประสิทธิภาพในการลดกรดอะซิดิก กรดโพรไฟโพนิก และกรดบิวทริกของ บ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว (%).....65
17.ข	COD Eq ของกรดอะซิดิก กรดโพรไฟโพนิก และกรดบิวทริก ของบ่อแอนแอโรบิก.....66
18.ข	COD Eq ของกรดอะซิดิก กรดโพรไฟโพนิก และกรดบิวทริก ของบ่อแอนแอโรบิกแบบ ติดผิว.....67
1.ค	ผลการทดสอบสถิติการเปรียบเทียบค่ากระจายของการไหลระหว่าง บ่อแอนแอโรบิกกับ บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....69
2.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน.....69
3.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน.....69
4.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน.....69
5.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 2 วัน.....70
6.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วันของ.....70
7.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 วันของ.....70
8.ค	ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคั่งที่ ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วันของ.....71

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
9.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 2 วันของ.....	71
10.ค ผลการทดสอบทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD เปรียบเทียบระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	71
11.ค ผลการทดสอบทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD เปรียบเทียบระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	72
12.ค ผลการทดสอบทางสถิติของ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยเปรียบเทียบระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	72
13.ค ผลการทดสอบทางสถิติของ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยระยะเหยเปรียบเทียบระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	72
14.ค ผลการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	72

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อแอโรบิก .....	4
2.2 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคัลเททีฟ .....	4
2.3 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอโรบิก .....	6
2.4 กระบวนการย่อยสลายแอนแอโรบิก.....	10
2.5 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิก และสัดส่วนของแก๊สมีเทน จากการหมัก กรดอะซิติก .....	12
3.1 รายละเอียดของระบบบ่อแอนแอโรบิกในการทดลอง.....	18
3.2 รายละเอียดของบ่อแบบติดผิว.....	18
3.3 บ่อแอนแอโรบิกที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.4 บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.5 รายละเอียดของตัวกลางที่ทำจากดินเผา.....	20
3.6 ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง .....	20
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ กับ เวลา ของการศึกษาสารติดตาม บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว .....	23
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ กับ เวลา ของการศึกษาสารติดตาม บ่อแอนแอโรบิก .....	23
4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและบ่อแอนแอโรบิก .....	25
4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและบ่อแอนแอโรบิก .....	26
4.5 ค่า pH ของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว .....	28
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยกับระยะเวลาเก็บกักน้ำ ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิก .....	29
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยระยะเหี้ยกับระยะเวลาเก็บกักน้ำ ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิก .....	30

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 ปริมาณมวลชีวภาพต่อปริมาตรบ่อต่อวัน ของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบ ติดผิว.....	33
4.9 ประสิทธิภาพในการลดกรดอะซิดิกของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว....	34
4.10 ประสิทธิภาพในการลดกรดโพรไฟโอนิกของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบ ติดผิว.....	35
4.11 ประสิทธิภาพในการลดกรดบิวทริกของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว....	36
4.12 ปริมาณความเข้มข้นมวลชีวภาพต่อปริมาตรบ่อ กับประสิทธิภาพการลดกรดอะซิดิกของ บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว .....	38

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะสร้างความเดือดร้อนให้แก่มนุษย์ และสัตว์ นอกจากนั้นยังสร้างปัญหาให้แหล่งน้ำดีตามธรรมชาติพลอยเน่าเสียไปด้วย จึงต้องมีการศึกษาพัฒนาเพื่อที่จะหาทางบำบัดน้ำเสียหรือน้ำทิ้งเหล่านี้ ให้มีคุณภาพดีพอก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ แต่ในทางปฏิบัติการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการเงินลงทุนสูง จึงต้องพัฒนาหาวิธีการบำบัดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น คู่มีค่ากับเงินที่ลงทุนไป ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมเป้่งมันสำปะหลังอยู่ 2 แบบ คือ โรงงานแบบอึ่งไฟ และแบบสัดค้ดห้งจากการสำรวจของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2524 และของคณะทำงานวิจัย และพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ และกำจัดน้ำเสียจากโรงงานเป้่งมันสำปะหลังปี พ.ศ. 2528 พบว่ามีโรงงานอุตสาหกรรมเป้่งมันสำปะหลังอยู่ 87 โรงโดยแบ่งเป็นโรงงานแบบอึ่งไฟ 33 โรง และแบบสัดค้ดห้ง 54 โรง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (พิศมัย และศักรินทร์, 2529) ในอุตสาหกรรมผลิตเป้่งมันสำปะหลัง มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยใช้ในการล้างหัวมัน และระหว่างการสัดค้ดเป้่ง ปริมาณน้ำที่ใช้แตกต่างกันตามกรรมวิธีการผลิตของแต่ละโรงงาน และความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ โดยเฉลี่ยแล้วมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตค่อนข้างมากประมาณ 20-30 ลูกบาศก์เมตรต่อตันเป้่ง หรือโดยเฉลี่ย 1200-1400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับโรงงานขนาด 70 ตันเป้่งต่อวัน และมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งรวมสูงเฉลี่ยประมาณ 12,000 มิลลิกรัม ซีโอดีต่อลิตร ระบบบำบัดที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นแบบบ่อย่อยสลาย หรือบ่อกกลางแจ้งที่ใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป้่งมันสำปะหลังสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ส่วนใหญ่โรงงานอุตสาหกรรมเป้่งมันสำปะหลังจะมีพื้นที่เป็นจำนวนมาก และใช้พื้นที่เหล่านี้ทำเป็นบ่อย่อยสลาย และบำบัดน้ำเสีย แต่ในระหว่างฤดูกาลผลิตที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจึงมีจำนวนมาก ประกอบกับประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อย่อยสลายต่ำ ทำให้ปริมาณบ่อย่อยสลายไม่เพียงพอที่จะรับน้ำเสียไว้ได้หมด คุณภาพน้ำที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำภายนอกยังไม่ดีพอ ก่อให้เกิดมลภาวะแก่ชาวบ้านในละแวกใกล้เคียงจากปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นต้องพัฒนาให้มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ งานวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการประยุกต์นำบ่อย่อยสลายโรบิกที่มีอยู่เดิมมาใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยใส่ตัวกลาง (Media) ลงไป

ตารางที่ 1.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็งมันสำปะหลัง

ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
pH	2.6-4.0	3.4
Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> )(mg/L)	1,720-6,820	4,150
Chemical oxygen demand (COD) (mg/L)	4,700-10,000	7,580
Total dissolved solid (TDS) (mg/L)	3,890-16,390	9,390
Suspended solid (SS) (mg/L)	470-1,710	850

หมายเหตุ Polprasert, 1996.

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ประเมิน และเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเป็งมันสำปะหลัง ระหว่างบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวกับบ่อแอนแอโรบิกทั่วไป
2. ศึกษาหาค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเป็งมันสำปะหลัง

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) ซึ่งมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานเป็งมันสำปะหลังที่เข้า และออกจากบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว
2. ประเมินหาระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัด Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solids (SS), Volatile Suspended Solids (VSS), pH, Organic acids, Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Total Phosphorus (TP) ซึ่ง จะทำการทดลองหลังจากที่ค่าซีโอดีเข้าสู่สภาวะคงที่
3. ศึกษาหาค่าจลนศาสตร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว
4. ทำการวิเคราะห์หากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งศึกษาการย่อยสลายของกรดอินทรีย์ในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

## บทที่ 2

### ปรัทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบำบัดชีวภาพ สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียทั่วไปทั้งน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยอาศัยการหมักเพื่อให้เกิดแก๊สมีเทน และอาศัยการสังเคราะห์แสงเพื่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียมีข้อดีคือ ค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบต่ำ ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรกล ค่าซ่อมบำรุงต่ำ แต่มีข้อเสียที่จำเป็นต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมากบ่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ บ่อแอโรบิก (Aerobic pond) บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative pond) และบ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic pond)

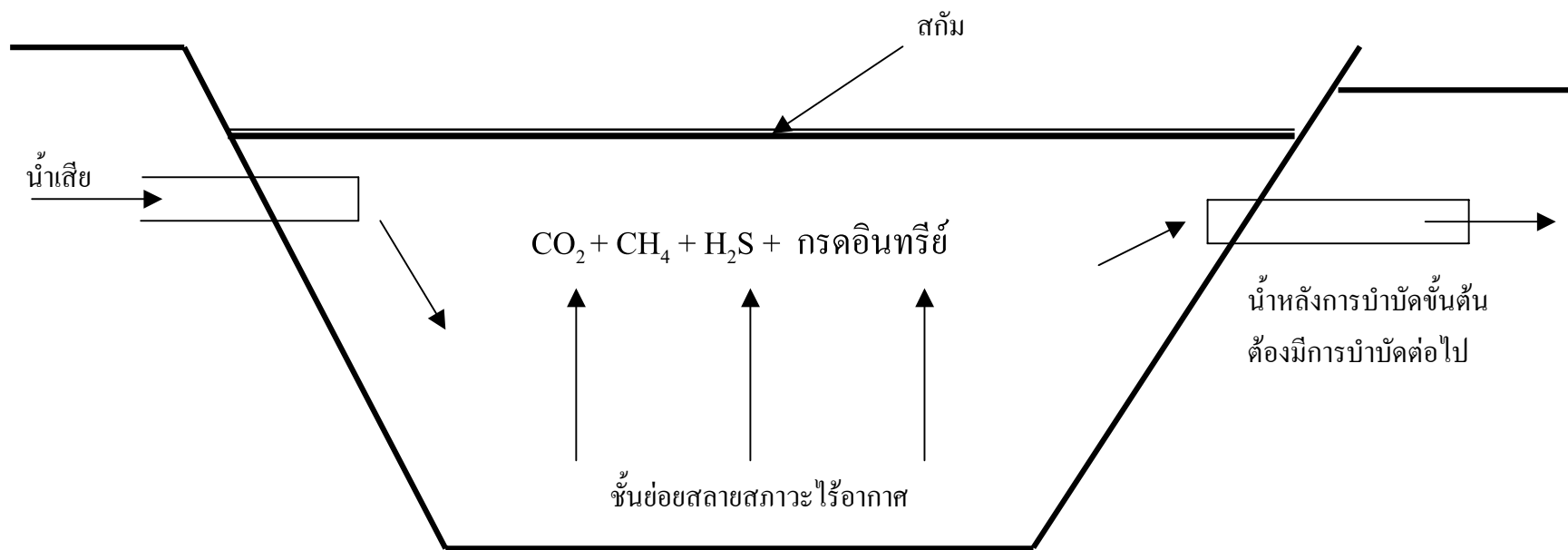
บ่อแอโรบิกเป็นบ่อที่ใช้อากาศตามธรรมชาติ และมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการรักษาประชากรจุลชีพชนิดใช้ออกซิเจนไว้ เพื่อช่วยลดของเสีย เพื่อช่วยย่อยสลายอินทรีย์ วัตถุ และช่วยขจัดจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogenic microorganisms) ปริมาณออกซิเจนในบ่อบำบัดชนิดนี้ จะเพิ่มขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชขนาดเล็ก (Microphytes) ที่มีอยู่ในบ่อ และเพิ่มจากการพัดผ่านของลมที่ระดับผิวน้ำ บ่อบำบัดชนิดนี้ไม่ควรมีความลึกมากนัก กล่าวคือความลึกควรจะน้อยกว่า 1 เมตร เนื่องจากความลึก และความขุ่นของน้ำมีผลต่อการส่องสว่างแสงอาทิตย์ลงสู่พื้นดินใต้น้ำ ดังนั้นความลึก และความขุ่นของน้ำจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ปกติแสงอาทิตย์สามารถส่องแสงได้ลึกประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่พืชน้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้าต้องการให้ได้ผลดีที่สุดคือทำให้เป็นบ่อแอโรบิกจริงๆ อาจใช้เครื่องเติมอากาศเข้าช่วย หลักการของระบบนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.1 อย่างไรก็ตามระบบนี้สามารถลดบีโอดีของน้ำเสียได้ระดับหนึ่ง แต่จะมีพวกสาหร่ายเจริญเติบโตมากมาย ซึ่งเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่คลองสาธารณะก็จะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าในคลองนี้ได้ เนื่องจากสาหร่ายต่างๆ เหล่านี้ไปแย่งใช้ออกซิเจนในคลอง ดังนั้นอาจต้องมีการกรองน้ำทิ้งที่ผ่านบ่อแอโรบิกมาแล้วก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่คลองสาธารณะ

บ่อแฟคัลเททีฟ เป็นบ่อที่มีแบคทีเรียสามชนิดคือ แบคทีเรียต้องการออกซิเจน (Aerobic bacteria) แบคทีเรียไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) และแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน (Facultative bacteria) ซึ่งจะมีปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2 โดยทั่วไปภายในบ่อแบบนี้จะมี 3 ชั้นดังนี้ ชั้นผิวน้ำคือชั้นที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีเหมือนกับของบ่อแอโรบิกซึ่งจะมีสาหร่ายเกิดขึ้น ชั้นกลางคือ ชั้นที่เกิดแบคทีเรียขึ้นใหม่ และมีแบคทีเรียบางส่วนตายอยู่บริเวณนี้ ชั้นล่างสุดคือ ชั้นที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี



เหมือนกับของบ่อแอนแอโรบิกซึ่งจะมีแก๊สแอมโมเนีย แก๊สไข่เน่า และแก๊สมีเทนเกิดขึ้น ลักษณะของบ่อแบบนี้ โดยมากเป็นบ่อดินที่ควรมีการติดตั้งตะแกรงดักขยะก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียลงสู่บ่อ ในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องการสาหร่ายช่วยในการผลิตออกซิเจน แต่อาจใช้เครื่องเติมอากาศทำการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่บ่อบำบัด แต่ต้องไม่ให้เกิดการกวนอย่างสมบูรณ์ภายในบ่อบำบัดเพราะจะไปทำให้สภาพแอนแอโรบิกที่เกิดขึ้นในชั้นล่างสุดของบ่อสูญเสียไปซึ่งทำให้ไม่ได้รับประโยชน์จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยวิธีแอนแอโรบิก บ่อบำบัดชนิดนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นคราบเท่าที่ยังคงมีชั้นของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนอยู่ แต่ถ้าเกิดสูญเสียสภาพแอโรบิกของน้ำชั้นบนไปจะทำให้กลิ่นฟุ้งกระจายได้

บ่อแอนแอโรบิกเป็นบ่อดินหรือคอนกรีต โดยอาจมีความลึกบ่อตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 9 เมตร โดยทั่วไปบ่อประเภทนี้มีสีดำ เนื่องจากมีพวกแบคทีเรียแอนแอโรบิกเกิดขึ้นภายในระบบ บ่อแอนแอโรบิกสามารถรับอัตราภาระอินทรีย์ (Organic loading rate) ได้มากกว่าบ่อแอโรบิก และบ่อแฟลตเทพิฟ เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย เปรียบเสมือนเป็นหน่วยบำบัดที่ใช้การย่อยแบบแอนแอโรบิกแบบเป็นถังเปิด ที่ไม่ต้องมีการให้ความร้อนและไม่ต้องมีการกวนตะกอนภายในบ่อ แต่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยบ่อชนิดนี้ ยังมีคุณสมบัติไม่ดีพอที่จะปล่อยทิ้งไปสู่แหล่งน้ำภายนอกจำเป็นต้องนำไปบำบัดต่อ บ่อแอนแอโรบิกเสมือนเป็นบ่อตกตะกอนเบื้องต้นที่เพิ่มความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ เมื่อเริ่มเดินระบบบ่อแอนแอโรบิกจะเกิดแต่การตกตะกอนเท่านั้น ต่อมาตะกอนเหล่านั้นจะกลายมาเป็นจุลินทรีย์ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 3 เดือน 6 เดือน ถึง 2 ปี จึงจะเกิดสภาวะสมดุลของตะกอน แต่เราสามารถลดระยะเวลาในการทำให้เกิดสภาวะสมดุลของตะกอนได้โดยนำตะกอนจุลินทรีย์ (seeding) ที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาแอนแอโรบิกจากบ่ออื่นๆ มาใส่ก่อน ลักษณะของน้ำเสียที่จะนำมาบำบัดด้วยวิธีนี้จะต้องมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมาก อุณหภูมิก็ค่อนข้างสูง ปราศจากสารพิษและต้องมีสารอาหาร (ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) อย่างเพียงพอ บ่อแอนแอโรบิกต้องการให้มีเศษสวะปกคลุมผิว เพื่อคงสภาพความเป็นแอนแอโรบิก ป้องกันไม่ให้มีการคายความร้อน และป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นเหม็นอันเนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพวกสารประกอบซัลไฟด์อื่นๆ บางครั้งจึงเรียกกันว่า “บ่อเหม็น” ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอโรบิกแสดงดังภาพที่ 2.3 การควบคุมการทำงาน และการบำรุงรักษาบ่อแอนแอโรบิกส่วนใหญ่เป็นการดูแลบ่อกล่าวคือ ตัดหญ้า และวัชพืช เพื่อป้องกันยูงใช้เป็นที่ยึดเกาะแพนธุ์ กำจัดของแข็งที่สะสมตรงทางเข้าและทางออก เอาตะกอนออกเป็นครั้งคราว ไม่จำเป็นต้องกำจัดเศษสวะ เพราะเศษสวะช่วยการทำงานของบ่อแอนแอโรบิก บางทีจำเป็นต้องฉีดยาฆ่าแมลงที่เหมาะสมบนเศษสวะเพื่อป้องกันการวางไข่ของแมลง นอกจากนี้ยังต้องระวังควบคุมการทำงานไม่ให้เกิดกลิ่นน่ารังเกียจ โดยควบคุม



ภาพที่ 2.3 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอรอโรบิค

## สารอินทรีย์ และ pH

Tongkasame (1968) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิก พบว่าสามารถกำจัด BOD ได้ถึง 450 lb/acre.day ในช่วงระยะเวลาเก็บกักน้ำ 11 วัน อัตรารับสารอินทรีย์ประมาณ 750 lb/acre.day Parker (1963) กล่าวถึงบ่อแอนแอโรบิกว่าเป็นหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ใช้ระยะเวลาในการเก็บกักสั้น (1-5 วัน) บ่อแอนแอโรบิกสามารถใช้เป็นการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น และยังใช้เป็นส่วนหนึ่งของการบำบัดขั้นที่สองได้ด้วย McGarry & Pescod (1970) รายงานว่าบ่อแอนแอโรบิกคุ้มค่ามากในการกำจัด BOD ที่มีความเข้มข้นสูง ตามปกติการใช้บ่อแอนแอโรบิกเดียวเพียงพอต่อการบำบัดน้ำเสียเข้าที่มี BOD<sub>5</sub> น้อยกว่า 1000 ก./ม.<sup>3</sup> สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสูง อาจเหมาะที่จะใช้ขบวนการบ่อแอนแอโรบิกจนถึง 3 บ่อ แต่เวลาเก็บกักของแต่ละบ่อไม่ควรน้อยกว่า 1 วัน Uddin (1970) ได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อบำบัดแบบแอนแอโรบิก 3 บ่อ ต่อแบบอนุกรมพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ที่บ่อแรกจะสูงที่สุด Uddin จึงได้แนะนำว่าในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มี BOD 3800 mg/L ควรใช้บ่อแอนแอโรบิก 5 บ่อตามด้วย บ่อแฟลลเทพิฟ 6 บ่อซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD สูงถึง 99%

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของบ่อแอนแอโรบิกคือ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ความลึก ความยาว อากาศ อุณหภูมิ ความเร็วลม ลักษณะน้ำเสีย การตกตะกอน การระเหย การซึม ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานี้ไม่สามารถควบคุมได้หมดทุกตัว Parker et al (1950) ได้ศึกษาว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำในฤดูหนาวประสิทธิภาพในการบำบัดจะต่ำกว่าฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า และอุณหภูมิที่สูงในช่วงระยะเวลาเก็บกักน้ำที่น้อยจะมีผลต่อการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของจุลชีพในการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก Djuharanto (1971) ทำการศึกษาผล กระทบของค่า pH และ ภาวะบรรทุ กซีโอดี ของระบบบำบัดแอนแอโรบิกที่ต่อแบบอนุกรม 3 บ่อ พบว่า ภาวะบรรทุ กค่าซีโอดี ที่อยู่ในช่วง 8,500-50,000 lb/acre-day และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำจาก 0.1-0.2 วัน โดยค่า pH ที่มากกว่า 8.3 หรือ pH ที่ต่ำกว่า 6.1 จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง ดังนั้นค่า pH ที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 6.1-8.3 ทั้ง 3 บ่อ และพบว่า แก๊สต่างๆ ที่เกิดขึ้นของบ่อแอนแอโรบิกไม่ได้มีความสำคัญต่อค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแต่อย่างใด Saqqar & Pescod (1995) ศึกษาบ่อแอนแอโรบิกจากโรงบำบัดน้ำเสีย Alsamra ในประเทศจอร์แดนเป็นระยะเวลามากกว่า 48 เดือนพบว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย 53% 53% และ 74% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในบ่อ ในปี 1987 Marecos & Mara ได้ทำการศึกษาระยะเวลาเก็บกักน้ำของบ่อบำบัดน้ำเสีย 2 บ่อ ซึ่งเป็น

อิสระต่อกัน บ่อแรกเป็นบ่อแฟลตเทพิฟที่รับน้ำเสียมาจากเมือง Portimao และบ่อที่สองรับน้ำเสียมาจากบ่อแอนแอโรบิกของเมือง Vidigueira โดยหาค่า tracer ด้วยวิธี Fluorescent dye tracer technique โดยนำค่า dispersion numbers ที่ได้ในฤดูหนาว และฤดูร้อนมาเปรียบเทียบ พบว่า ค่า dispersion numbers ของบ่อทั้งสองในฤดูหนาวจะสูงกว่าค่าในฤดูร้อน Nejmeddine et al (1999) ศึกษาการลดลงของโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียจาก เมือง Marrakesh ผลการศึกษาพบว่า บ่อบำบัด แอนแอโรบิกสามารถกำจัดโลหะหนัก Zn, Cu และ Pb ได้ถึง 28%, 21% และ 11% ตามลำดับ ขบวนการหลักที่สามารถกำจัดโลหะหนักได้คือ การตกตะกอนภายในบ่อแอนแอโรบิก

## 2.2 บ่อปรับเสถียรแบบติดผิว

บ่อปรับเสถียรแบบติดผิว (Attached-Growth waste stabilization ponds) เป็นบ่อที่เพิ่มตัวกลาง (media) ลงไปในบ่อแอโรบิก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเจริญเติบโตของแผ่นฟิล์มชีวภาพ บ่อชนิดนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจะลดข้อบกพร่องของบ่อธรรมชาติกล่าวคือ มีความหนาแน่นของจุลินทรีย์ต่ำ ข้อบกพร่องดังกล่าวนี้ทำให้บ่อแอโรบิกธรรมชาติสามารถรับอัตราภาระอินทรีย์ได้ต่ำ ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างบ่อบำบัดมาก และยังมีกรอ่อนไหวต่อค่าอัตราภาระอินทรีย์สูงๆด้วย (Polprasert and Shin, 1987) ลักษณะของตัวกลางยึดเกาะควรเป็นวัสดุที่ให้พื้นที่ผิวแก่จุลินทรีย์ได้เจริญเติบโตมาก มีราคาถูก ทนทาน มีอายุการใช้งานยาวนาน โดยสามารถให้น้ำเสียในบ่อบำบัดสามารถไหลผ่านบริเวณหน้าผิวจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ทั่วถึง วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลางยึดเกาะ อาจได้มาจากธรรมชาติโดยทั่วไป หรือทำขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งการเลือกใช้ตัวกลางต่างชนิดกันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบต่างกันไป นอกจากนั้นผิวของตัวกลางก็มีอิทธิพลต่อการเกาะติดหรือแขวนลอยในช่องว่างของตัวกลาง ตัวกลางที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีวิวัฒนาการมาเรื่อย โดยเริ่มตั้งแต่ใช้ หิน กรวด แอคติเวเต็ดคาร์บอน จนกระทั่งในปี 1970 ได้เกิดอุตสาหกรรมด้านพลาสติก จึงได้มีการใช้ตัวกลางพลาสติก เพื่อใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรอง ซึ่งทำให้ตัวกลางมีพื้นที่ผิวมาก น้ำหนักเบา เพื่อให้เมือกจุลินทรีย์ยึดเกาะมีช่องว่างมากเพื่อให้อากาศสามารถกระจายได้ทั่วถึง และให้เมือกจุลินทรีย์หลุดลอกออกได้ง่ายเพื่อป้องกันการอุดตัน ไม่มีสารพิษหรือมีผลทางปฏิกิริยาเคมีต่อจุลินทรีย์ในระบบ (Grady & Lim, 1980) จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆที่ปะปนมากับน้ำเสีย โดยพื้นฐานของระบบบ่อปรับเสถียรแบบติดผิวคือ จะมีการใส่ตัวกลางลงไป ในบ่อ ซึ่งตัวกลางจะไม่สามารถย่อยสลายมวลชีวภาพที่มาเกาะติดได้ มวลชีวภาพที่สามารถเกาะติดได้ก็จะเกาะ และเจริญเติบโตอยู่ที่ผิวหน้าของตัวกลางซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของมวลชีวภาพทั้งหมดภายในบ่อ จุลินทรีย์หลักที่อยู่ในระบบคือ สาหร่าย และแบคทีเรียทั้งในรูปแบบของ attached-growth และ dispersed-growth

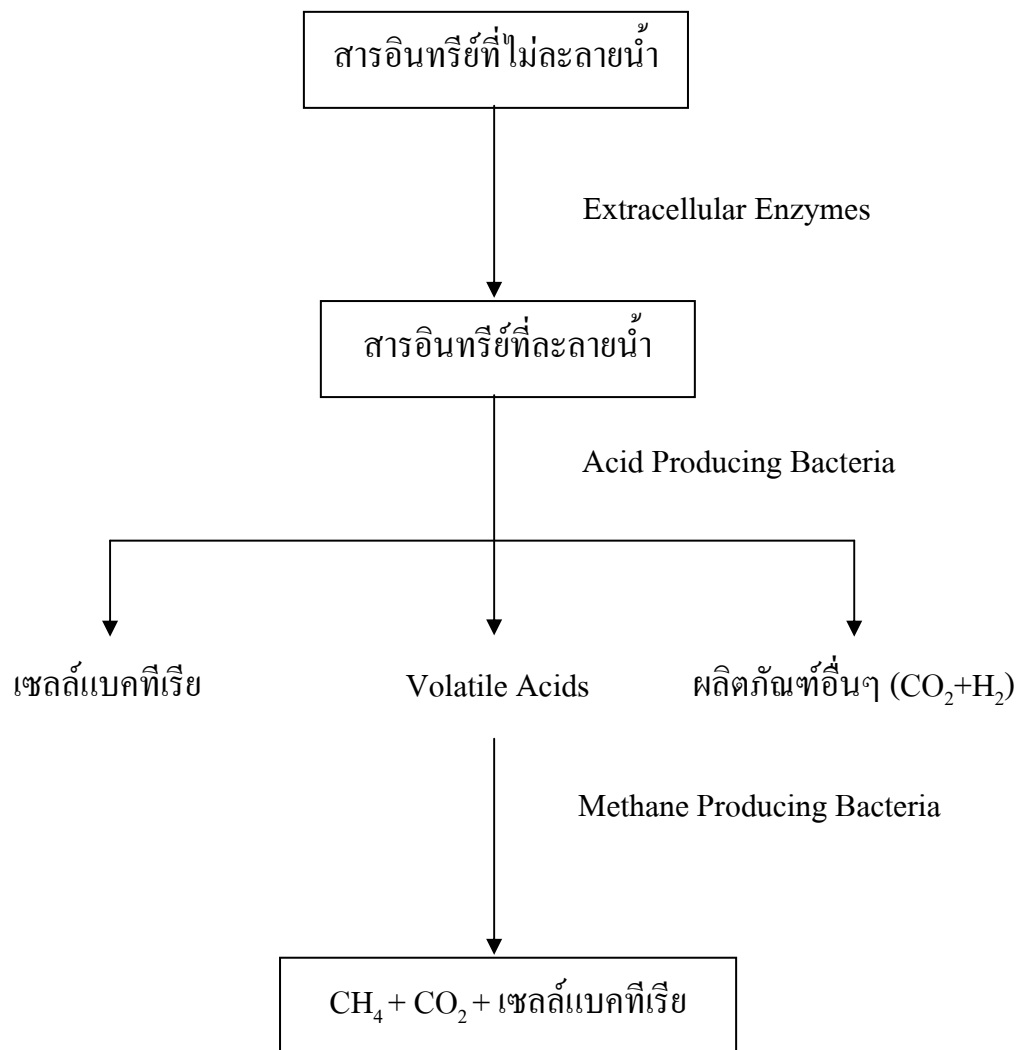
ประชากรหลักของจุลชีพของบ่อแอโรบิกแบบติดผิวคือ สาหร่าย และแบคทีเรียทั้งที่เป็นแบบติดผิว และแบบที่กระจาย พบว่า *Chlorella* เป็นชนิดของสาหร่ายที่พบมากในบ่อบำบัดทั้งสอง แต่อย่างไรก็ตามเงื่อนไขในการควบคุมระบบก็มี ผลต่อปริมาณของสาหร่ายชนิดที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ การเพิ่มสัดส่วนของพื้นที่ผิวโดยการใส่ตัวกลางลงในบ่อบำบัดจะช่วยเพิ่มปริมาณของสาหร่ายสีน้ำตาล, *Baocillariophyta*, *Diatom* และ *Cycclotella* (Shin, 1987) การนำตัวกลางเพิ่มลงไปบ่อทำให้เกิดข้อดีขึ้นหลายประการเช่น สามารถรับ Shock loading ได้ในช่วงเวลาหนึ่ง (Kugaprasatham, 1987), มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากขึ้น (Janolino, 1988), มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้สูงขึ้น (Shin, 1987) และ มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลได้ดีขึ้น (Sookhakich, 1992) โดยทั่วไปความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสในบ่อแอโรบิกจะมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำสาธารณะได้ จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าบ่อบำบัดแบบติดผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึง 88% โดยเปรียบเทียบกับบ่อแอโรบิกได้ 57% ในระยะเวลาเก็บกักน้ำ 15 วัน จากผลการทดลองจะพบว่าตัวกลางพลาสติกสามารถใช้ในบ่อบำบัดแบบติดผิวได้เหมาะสมดี และการใช้ตัวกลางเป็นจำนวนมากไม่ส่งผลดีต่อระบบ เพราะแสงสว่างจะไม่สามารถส่องลงไปสู่บ่อบำบัดในชั้นล่างได้ (Janolino, 1988)

## 2.3 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะแอนแอโรบิก

### 2.3.1 ชีวเคมีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะแอนแอโรบิก

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะแอนแอโรบิกเป็น ขบวนการทางชีววิทยาภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และเป็นสภาวะรีดิวซ์ ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนทางชีวเคมี 3 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2.4

ขั้นที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์และการหมักกรดอินทรีย์ (Hydrolysis and Acidogenesis) เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (polymer) เช่น เซลลูโลส เพคติน โปรตีน เฮมิเซลลูโลส แป้ง และไขมัน ถูกย่อยสลายในสภาวะไม่มีออกซิเจนเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยว (monomer) หรือสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่แบคทีเรียสามารถนำเข้าไปในเซลล์ได้ โดยมีแก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นด้วย การย่อยสลายเกิดจากแบคทีเรียก่อกรด (acid-producing bacteria) จะปล่อยเอนไซม์ออกมาทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ละลายอนุภาคสารอินทรีย์ และลดขนาดสารอินทรีย์ละลายที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลงเพื่อที่จะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ง่าย แบคทีเรียจะใช้โมเลกุลเล็กๆ เหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอน และพลังงานในการหมัก (fermentation) ผลผลิตสุดท้ายของการหมักที่ถูกออกซิไดส์แล้วเป็นพวกกรดระเหย



ภาพที่ 2.4 กระบวนการย่อยสลายแอนแอโรบิก

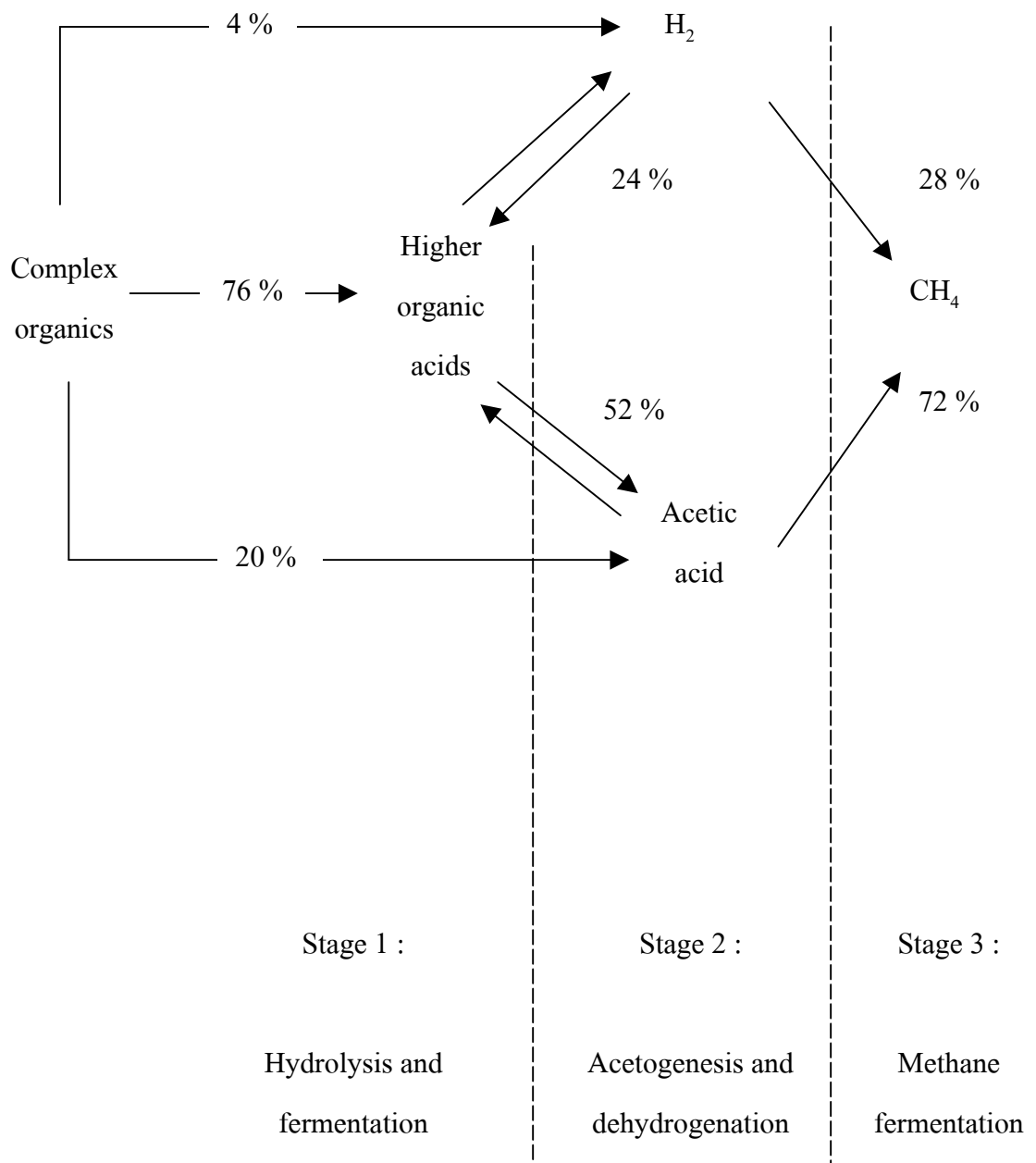
โมเลกุลสั้นเช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริกและกรดวาเลริก การผลิตกรดเหล่านี้เรียกว่า อาซิโดเจเนซิส (acidogenesis)

ขั้นที่ 2 การเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่ากรดอะซิติก และสารประกอบที่เป็นกลางซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเมธานอล ได้แก่ แอลกอฮอล์ กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) กรดบิวทิริก (butyric acid) กรดไอโซบิวทิริก (isobutyric acid) กรดแลคติก (lactic acid) กรดไอโซวาเลอริก (isovaleric acid) กรดวาเลอริก (valeric acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) ไปเป็นกรดอะซิติก (acetic acid) โดยมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นด้วย แก๊สไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบ เพราะแก๊สไฮโดรเจนเป็นสารเริ่มต้นที่ใช้ในการสร้างแก๊สมีเทน และควบคุมอัตราการสร้างแก๊สมีเทนและกรดอะซิติก กิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติกเรียกว่า อาซิโดเจเนซิส (acetogenesis) กรดอะซิติกเป็นกรดอินทรีย์ส่วนมากที่พวก methanogens นำไปใช้เป็นสารตัวกลางในขบวนการเกิดแก๊สมีเทน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริก จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก และกรดอะซิติกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทน

ขั้นที่ 3 การสร้างแก๊สมีเทน (methanogenesis) กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในช่วง acetogenesis จะถูกแบคทีเรียในกลุ่ม methanogenic ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างแท้จริง (strictly anaerobic bacteria) โดยที่ออกซิเจนจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดนี้ แต่แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชกลางๆคือ 6.8-7.2 ซึ่งมีทั้งที่เป็น Mesophile และ Thermophile พวก Mesophile จะเจริญได้ที่อุณหภูมิ 15-40 องศาเซลเซียส ในขณะที่พวก Thermophile เจริญได้ที่อุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส แบคทีเรีย methanogens จะมีอัตราการเจริญได้ช้ากว่า acidogens และ acetogens เนื่องจาก methanogens ต้องใช้เวลา 3-5 วันในการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้น้อยกว่า การย่อยสลายของแบคทีเรียขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นแก๊สต่าง ๆ แก๊สที่สำคัญได้แก่ แก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สองในสามของมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาจากการใช้กรดอะซิติกดังภาพที่ 2.5 นอกเหนือจากนี้จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอรัมเมท เมธานอล (methanol) และเมธิลลามีน (methylamine)

### 2.3.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะแอนแอโรบิก

กระบวนการย่อยสลายในสถานะแอนแอโรบิกในแต่ละขั้นตอน ต้องอาศัยการทำงานที่แตกต่างกันของแบคทีเรียหลายชนิด เพราะของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนไม่สามารถใช้สารอินทรีย์ที่ซับซ้อนเหล่านี้เพื่อผลิตมีเทนได้ ต้องมี hydrolytic fermentative bacteria



ภาพที่ 2.5 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิก และสัดส่วนของแก๊สมีเทนจากการหมักกรดอะซิติก

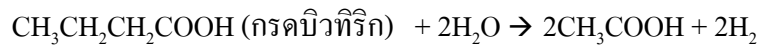
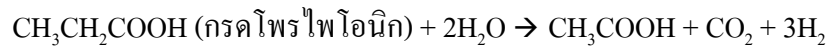


และ acetogen ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารที่ methanogens ใช้ได้ซึ่งได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอะซิติก สามารถแบ่งแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

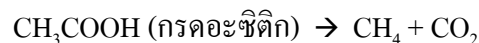
1. The Acid-Forming Bacteria สามารถย่อยสลายกลูโคสไปเป็นกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และ กรดโพรไพโอนิก ดังปฏิกิริยา



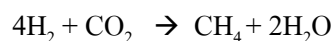
2. The Acetogenic Bacteria สามารถย่อยสลายกรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริกไปเป็นกรดอะซิติก ดังปฏิกิริยา



3. The Acetoclastic Methane Bacteria สามารถย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



4. The Hydrogen-Utilizing Methane Bacteria สามารถใช้พลังงานเปลี่ยนแก๊สไฮโดรเจนไปเป็นแก๊สมีเทนดังปฏิกิริยา



### 2.3.3 การอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิก

ในการผลิตแก๊สชีวภาพนั้นเสถียรภาพของระบบขึ้นอยู่กับ สมดุลของแบคทีเรียที่สร้างกรด และแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน การรักษาอาหารสำหรับแบคทีเรียแต่ละกลุ่ม การขจัดไฮโดรเจนซึ่งยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และการย่อยสลายอินทรีย์ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีความไวต่อการ

เปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมากกว่าแบคทีเรียที่สร้างกรด ดังนั้นเสถียรภาพของระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจึงขึ้นอยู่กับแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน ค่าความเป็นกรดต่างที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยอาจทำให้แบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนชะงักการเจริญได้ ในขณะที่แบคทีเรียสร้างกรดยังคงเจริญได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ความเป็นกรดต่างในระบบมีค่าลดต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวในที่สุด

นอกจากแบคทีเรีย acidogens และ acetogens จะมีความสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลง และอยู่ในรูปที่แบคทีเรีย methanogens สามารถนำไปใช้ในการเติบโต และผลิตมีเทนได้แล้ว ยังมีความสำคัญในการช่วยปรับสภาวะแวดล้อมให้เป็นสภาวะรีดิวซ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ methanogens อีกด้วย โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดเป็นตัวช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบ และอาจจะสร้างสภาวะรีดิวซ์จากการผลิตกรดอินทรีย์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้สภาวะในระบบหมักเป็นสภาวะที่ไร้ออกซิเจนมากขึ้น เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อ methanogens ซึ่งเป็นพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจนดีขึ้น

## 2.4 จลนศาสตร์ของระบบบ่อ

จากการศึกษาของ Thirumurthi (1974) พบว่าระบบบ่อเป็นการไหลแบบใกล้เคียงกับการไหลแบบท่อ และไม่ใช้การไหลแบบกวนสมบูรณ์โดยสิ้นเชิงในทางปฏิบัติการออกแบบบ่อจะไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวแน่นอน จะเปลี่ยนแปลงไปได้ตามสถานที่ที่ก่อสร้าง หรือแม้แต่ตัวผู้ออกแบบเอง ดังนั้นการใช้สมการต่างๆ นั้นสามารถใช้ได้หลายกรณีแล้วแต่วิศวกรผู้ออกแบบนั้น ซึ่งสามารถแสดงสมการดังนี้

สมการการไหลแบบกระจาย(Arbitrary Flow Formula)

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

สมการการไหลแบบท่อ (Plug Flow Formula)

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp[-k \times t] \quad (2-2)$$

สมการการไหลแบบการกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Flow Formula)

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + kt} \quad (2-3)$$

โดยที่  $C_e$  = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำที่ไหลออกจากระบบ, mg/L

$C_o$  = ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำที่ไหลเข้าตู้, mg/L

$k$  = ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง, วัน<sup>-1</sup>

$t$  = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ, วัน

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

$d$  = ค่าการกระจายตัวของการไหล

สมการอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของจลนศาสตร์

$$K_2/K_1 = \theta^{(T_2-T_1)} \quad (2-4)$$

$\theta$  = ค่าคงที่อุณหภูมิ จากรายงานจากบ่อแอนแอโรบิค  $\theta = 1.072$  (Thirumurthi, 1974)

## 2.5 การศึกษาสารติดตาม

การศึกษาถึงลักษณะการแพร่กระจายการไหลของแบบจำลองโดยใช้วิธีการศึกษาสารติดตามซึ่งใช้เกลือ (NaCl) เป็นสารติดตาม เพื่อที่จะนำมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 2-5 เพื่อหาค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ และสมการที่ 2-6 เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการทั้งสองไปแทนค่าในสมการที่ 2-7 เพื่อหาค่าการกระจายตัวของการไหล (Dispersion number: d)

ระยะเวลาเก็บกักน้ำเฉลี่ย (Mean Retention Time =  $t_{\text{mean}}$ )

$$t_{\text{mean}} = \frac{\sum t_i C_i \Delta t}{\sum C_i \Delta t} \quad (2-5)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation =  $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t}{\sum C_i \Delta t} - t_{\text{mean}}^2 \quad (2-6)$$

$$\sigma^2 / t^2 = 2d - 2d^2(1 - e^{-1/d}) \quad (2-7)$$

- โดยที่  $t_i$  = ระยะเวลาภายหลังจากเริ่มปล่อยNaClเข้าสู่ระบบ, (วัน)  
 $C_i$  = ความเข้มข้นNaClที่ระยะเวลา  $t_i$ , mg/L  
 $d$  = ค่าการกระจายตัวของกรไหล  
 $\Delta t$  = ระยะเวลาแตกต่างของเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง, d

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การจัดตั้งระบบ

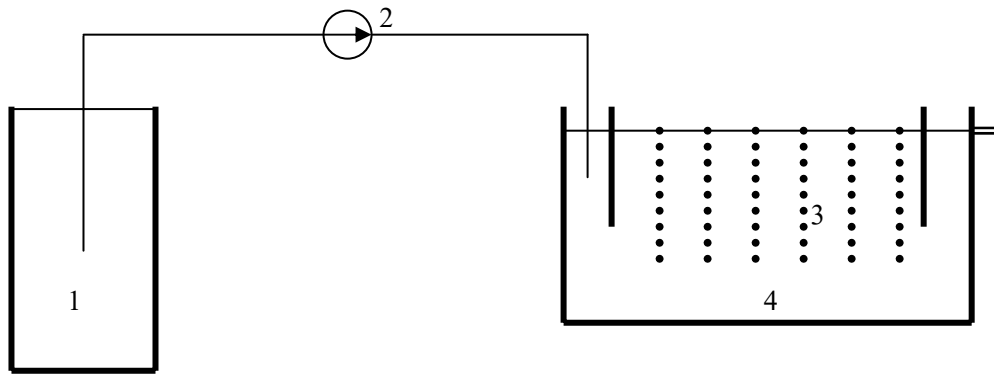
ระบบที่ใช้ในการวิจัยได้ทำการติดตั้งที่ชั้น 2 ของอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 (F5) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยแบบจำลองของระบบบ่อน้ำบาดาลน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย บ่อแอนแอโรบิก 2 บ่อ ตัวกลาง เครื่องสูบน้ำ 2 เครื่อง และถังเก็บน้ำเสีย ดังแสดงในภาพที่ 3.1 บ่อแอนแอโรบิก 2 บ่อ ทำด้วยกระจกใสโดยมีขนาดความกว้าง 0.4 เมตร ความยาว 0.8 เมตร และความสูง 0.6 เมตร มีความสูงของน้ำ 0.55 เมตร ปริมาตรน้ำ 176 ลิตร โดยบ่อหนึ่งใส่ตัวกลาง อีกบ่อหนึ่งไม่ใส่ตัวกลาง ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ตัวกลางที่ใช้ในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว ทำจากดินเผา รูปวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร มีช่องว่างอยู่ระหว่างกลาง 7 ช่องว่าง แต่ละช่องว่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร และมีความหนา 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยใส่ลงไป ในบ่อหนึ่งเป็นจำนวน 5 %ของปริมาตรบ่อ เครื่องสูบน้ำทั้ง 2 เครื่อง เป็นแบบ peristaltic pump สามารถปรับปริมาณการไหลได้ โดยจะสูบน้ำเสียเข้าบ่อละเครื่อง ถังเก็บน้ำเสียทำจากพลาสติก ขนาด 180 ลิตร

#### 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองทั้งหมดได้ใช้น้ำเสียจาก กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของบริษัท เจ้าพระยาพีซี จำกัด จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการเก็บน้ำเสียประมาณ 3 วันต่อ 1 ครั้ง แล้วนำมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ลักษณะของน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานแต่ละครั้งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสภาพการทำงาน of โรงงาน

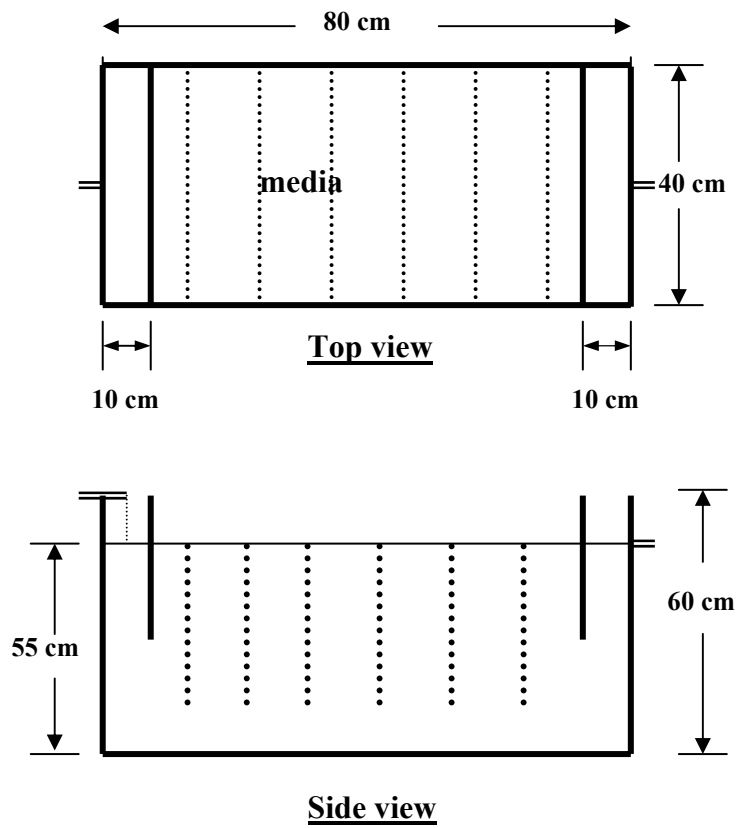
#### 3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

ก่อนเริ่มระบบได้นำตะกอนจุลินทรีย์ จากบ่อแรก of โรงงานเจ้าพระยาพีซีไปมาใส่ใน บ่อแอนแอโรบิกทั้งสอง เพื่อให้ระบบสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพของน้ำเสียจาก โรงงานแป้งมัน สำปะหลังได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว จากนั้นได้ทำการบ่อน้ำเสียลงไปในบ่อทั้ง 2 โดย กำหนดให้เริ่มจากระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8, 6, 4 และ 2 ตามลำดับ โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักน้ำเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady-state conditions) ทำการเก็บน้ำเสียที่ไหลเข้า



1. ถังเก็บน้ำเสีย
2. เครื่องสูบน้ำเสีย
3. ตัวกลาง
4. บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ภาพที่ 3.1 รายละเอียดของระบบบ่อแอนแอโรบิกในการทดลอง



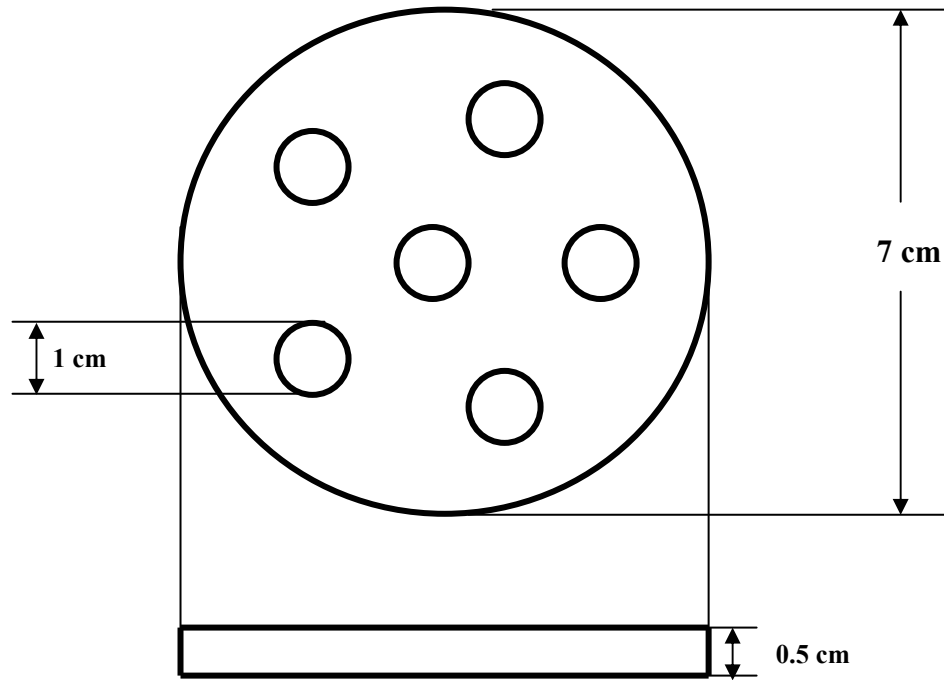
ภาพที่ 3.2 รายละเอียดของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว



ภาพที่ 3.3 บ่อแอนแอโรบิกที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.4 บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.5 รายละเอียดของตัวกลางที่ทำจากดินเผา



ภาพที่ 3.6 ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง



และไหลออกจากระบบบำบัดทุก 2 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดีที่ได้ผ่านการกรอง (SCOD) จนระบบได้เข้าสู่สภาวะคงตัว จะสามารถตรวจสอบได้โดยการหาสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนให้มีค่าไม่เกิน 5% หลังจากเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรคือ COD, SS, VSS, pH, Organic acids, TKN, และTP ทั้งจากน้ำเสียที่ไหลเข้า และน้ำเสียที่ไหลออกจากระบบ เพื่อจะได้ทำการหาค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ

### 3.4 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย

เทคนิคในการวิเคราะห์ ที่ใช้ในการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์นำมาจากวิธีที่อธิบายใน Standard Methods (APHA et al, 1998)

ตารางที่ 3.1 ตัวแปร และวิธีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้

ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์
pH	pH meter โดยเครื่องวัด pH ของ BECKMAN
COD	Open dichromate reflux
SS	Filtration โดยใช้กระดาษกรอง GF/C ของ WHATMAN
VSS	Filtration โดยใช้กระดาษกรอง GF/C ของ WHATMAN
TKN	Digestion/Distillation
TP	Persulphate digestion
Organic acids	โดยเครื่อง Gas Chromatograph (GC) ของ VARIAN GC 3800

กรดอินทรีย์ (Organic acids) ที่ทำการวิเคราะห์ใช้เครื่อง GC จะถูกจำแนกวิเคราะห์หากกรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรไพโอนิก

## บทที่ 4

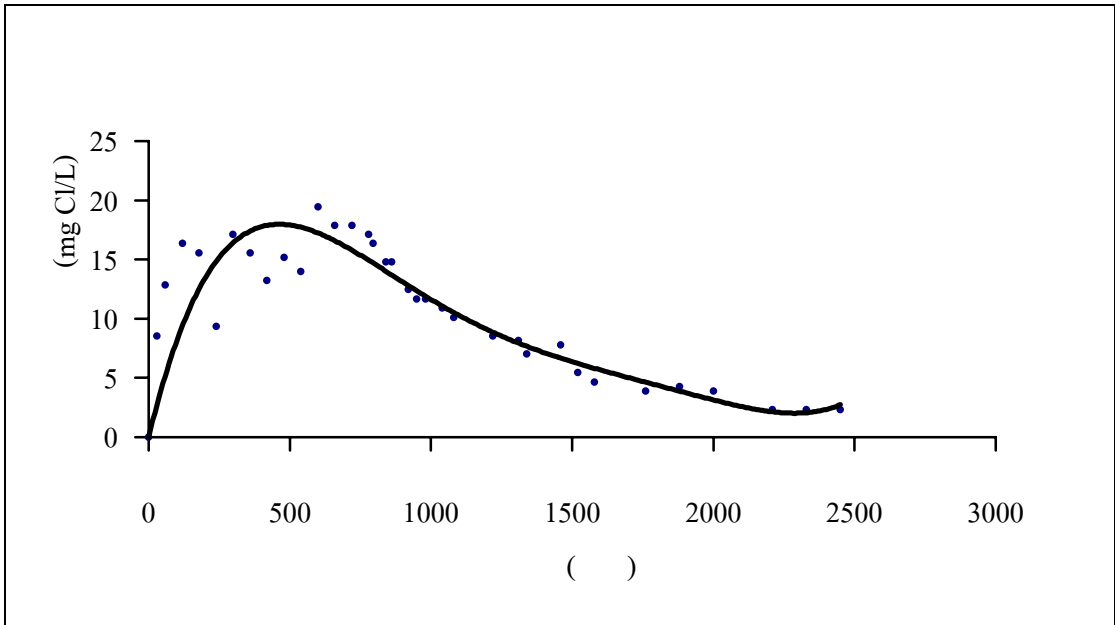
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การศึกษาสารติดตาม

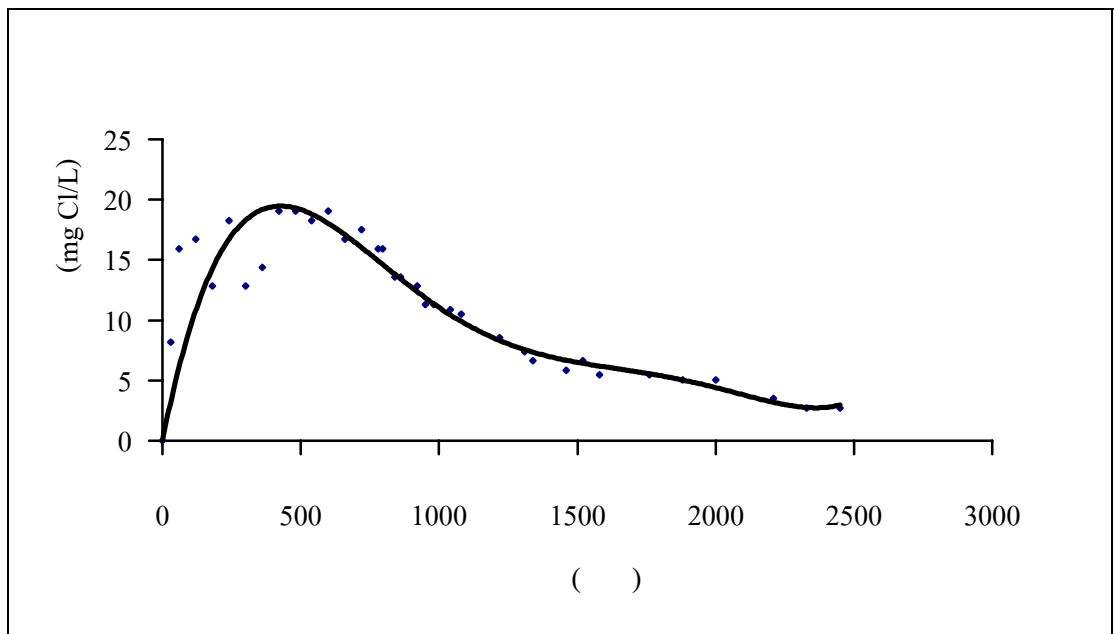
การศึกษาสารติดตาม (Tracer study) ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิกใช้วิธีการแบบ Continuous feed โดยทำการใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ทดลองที่อัตราการไหล 0.28 ลบ.ม.ต่อวัน ซึ่งข้อมูลและการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ 1ก และ 1ข จากการศึกษาสารติดตามซึ่งใช้การคำนวณดังสมการ (2-5) ถึง (2-7) พบว่า บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.61 วัน ค่าการกระจายของการไหล มีค่าเท่ากับ 0.33 และบ่อแอนแอโรบิกมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.62 วัน ค่าการกระจายของการไหลมีค่าเท่ากับ 0.35 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเก็บกักน้ำของระบบ และค่าการกระจายการไหลของทั้งสองระบบมาทำการทดสอบการสติดังตารางที่ 1ค ในภาคผนวก ค พบว่าระบบบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีค่าไม่แตกต่างกันกับระบบบ่อแอนแอโรบิกทั้งระยะเวลาเก็บกักน้ำ และค่าการกระจายของการไหล ในระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหลืออยู่กับเวลา แสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าเมื่อเริ่มต้นความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ออกมาจะมีค่าน้อย แต่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จนเมื่อถึงจุดหนึ่งค่าความเข้มข้นของคลอไรด์จะมีค่าสูงสุด และจะค่อยๆลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในช่วงเริ่มต้นความเข้มข้นของคลอไรด์ยังไหลมาไม่ถึงบริเวณทางน้ำออก แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของคลอไรด์ก็จะไหลมายังทางออก จนกระทั่งที่ทางน้ำออกวัดความเข้มข้นของคลอไรด์ได้เกือบจะเป็นศูนย์ จากลักษณะดังกล่าวกราฟที่ได้เป็นรูปประฆังคว่ำ แสดงให้เห็นว่าเป็นการไหลแบบกระจายตัว

#### 4.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง

จากการทดลองได้วิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังลักษณะของน้ำตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอรีน กับ เวลา ของการศึกษา  
สารติดตามบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอรีน กับ เวลา ของการศึกษา  
สารติดตามบ่อแอนแอโรบิก

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

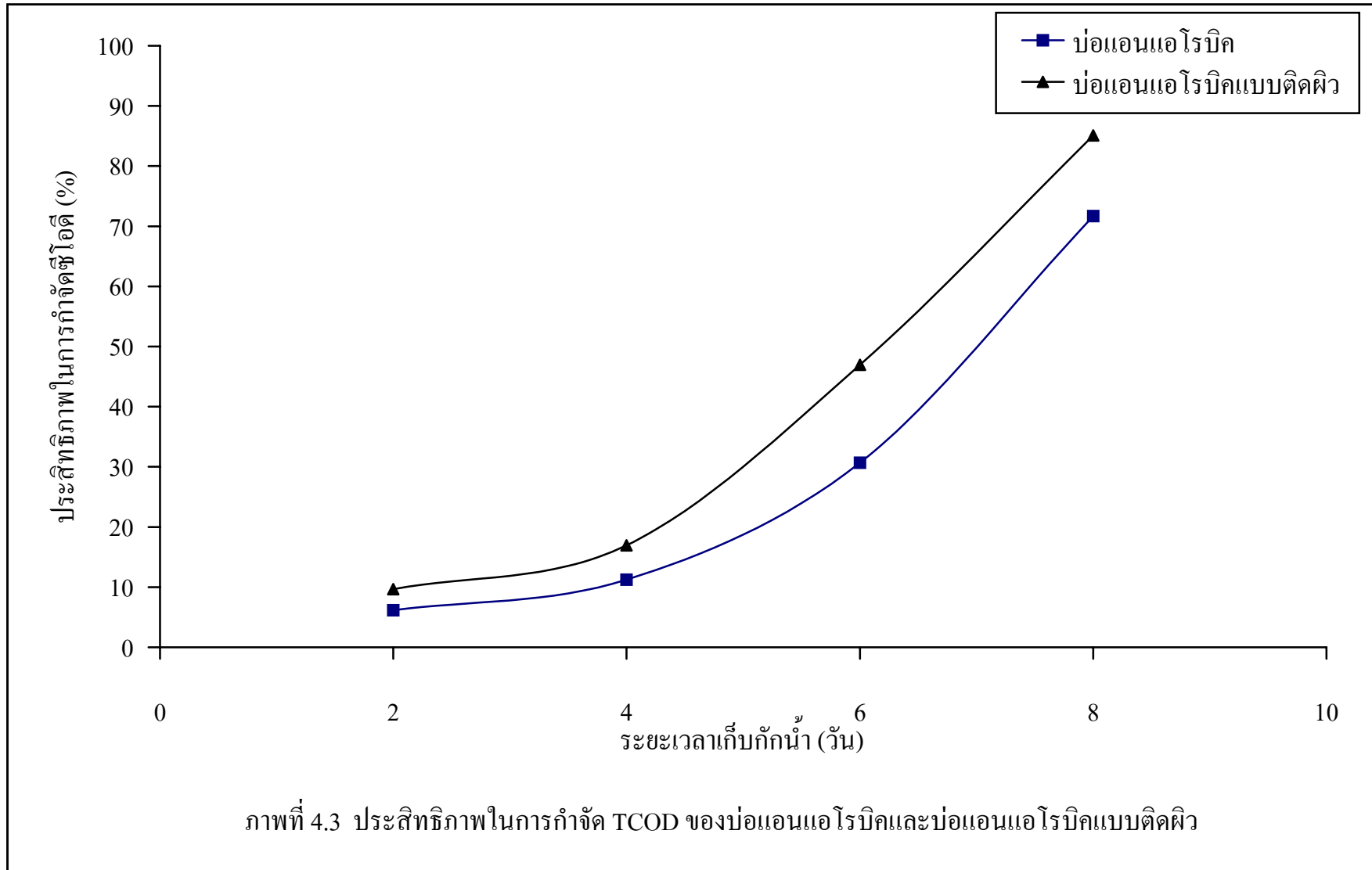
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่มากที่สุด	ค่าที่น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่าง
COD (mg/L)	15000	6500	10750±1724	450
TP (mg/L)	17	8	12±3	140
TKN (mg/L)	54	28	41±7	140
TSS (mg/L)	1840	510	1175±476	140
VSS (mg/L)	2120	580	1350±441	140
pH	4.16	3.40	3.78±0.34	140
อุณหภูมิ (°C)	32	26	29±1	140
Acetic acid (mg/L)	709.31	122.24	415.78±61.70	140
Propionic acid (mg/L)	1041.00	90.89	565.95±272.28	140
Butyric acid (mg/L)	1577.33	149.67	863.50±168.38	140

### 4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

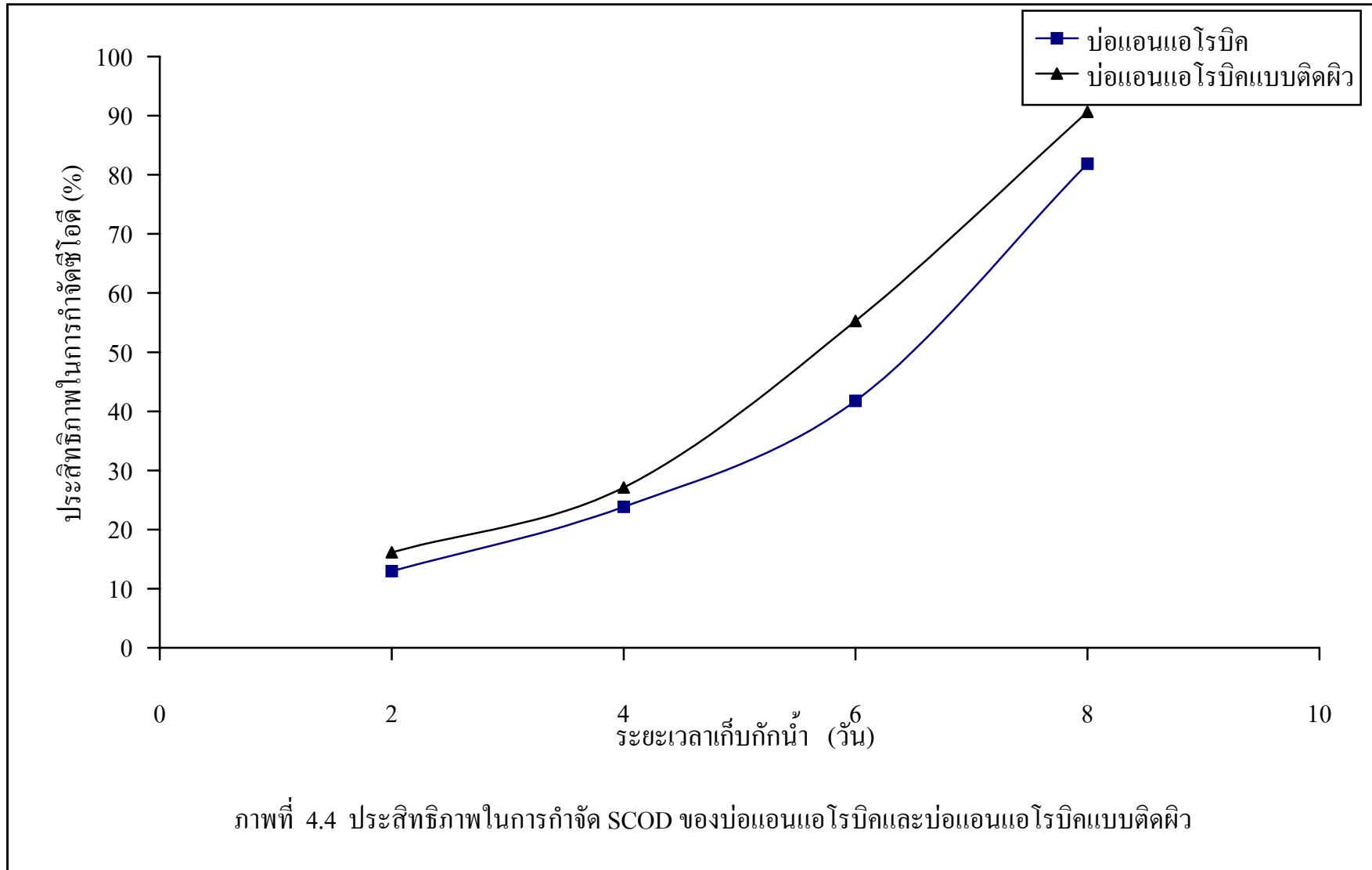
#### 4.3.1 การกำจัดซีโอดี

ปริมาณซีโอดีในน้ำเสียเข้า และออกจากระบบระหว่างทำการทดลอง รวมทั้งประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว แสดงดังตารางที่ 1ข-8ข ในภาคผนวก ข ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของบ่อทั้งสองได้แยกการวิเคราะห์ออกเป็นสองประเภทคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม (TCOD) ซึ่งจะรวมถึงค่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของแข็งแขวนลอยด้วย และอีกประเภทหนึ่งได้แก่การนำน้ำเสียที่ออกจากบ่อมากรองเอาของแข็งแขวนลอยออกแล้วนำ เฉพาะน้ำเสียที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นซีโอดี (SCOD) ซึ่งการคำนวณประสิทธิภาพคิดเทียบกับค่าซีโอดีรวมของน้ำเข้า ประสิทธิภาพในการกำจัดแสดงดังภาพที่ 4.3-4.4

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวดีกว่าบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เท่ากัน ในระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากบ่อแบบติดผิวมีปริมาณแบคทีเรียในการกำจัดสารอินทรีย์มากกว่า โดยแบคทีเรียเหล่านี้ไปเกาะที่ตัวกลางของบ่อ และพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำลดลงประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเป็นเพราะการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ของแบคทีเรียแอนแอโรบิก และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบต่ำส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และยังพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวจะมีประสิทธิ



ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ของบ่อแอนเอโรบิกและบ่อแอนเอโรบิกแบบติดผิว



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD ของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบติดฟิว

ภาพมากที่สุด (90.7%) และประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำลดลง เนื่องจากระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันมีค่า pH เท่ากับ 6.62 ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดซีโอดี ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.1-8.3 ประสิทธิภาพในการทำงานของแบคทีเรียจะดีที่สุดสำหรับการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก และการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็วถ้านอกเหนือจากช่วง pH ดังกล่าว (Djuhanart, 1971)

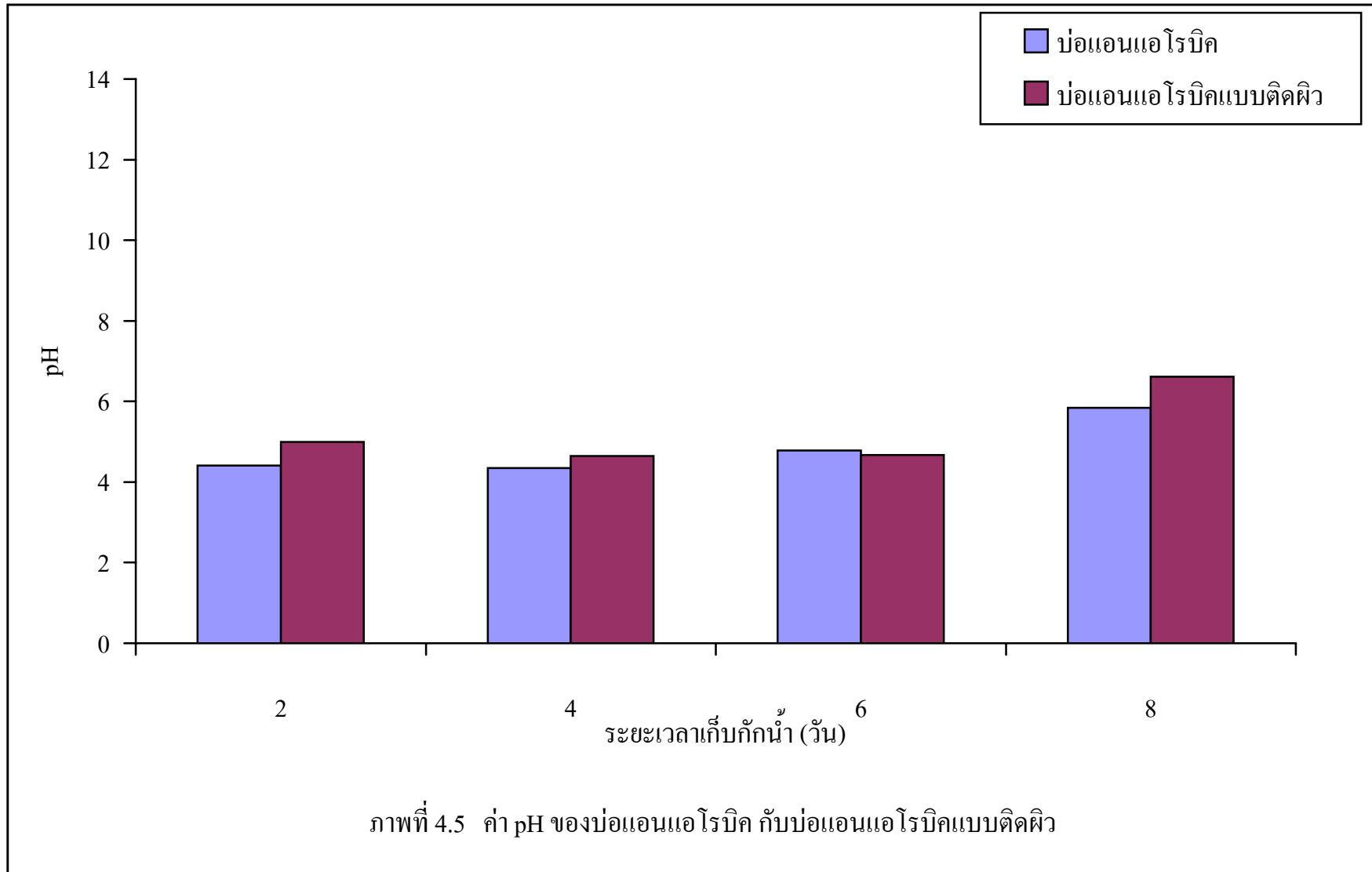
#### 4.3.2 pH

ค่า pH ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและบ่อแอนแอโรบิกแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ 11ข และ 12ข และภาพที่ 4.5 จากการทดลองค่า pH ของน้ำเสียจากโรงงานเป็งมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ย 3.78 จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า pH ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันของทั้งสองบ่อมีค่าใกล้เคียง 6.1 แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6, 4 และ 2 วันของทั้งสองบ่อมีค่าต่ำกว่า 6.1 ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรีย methanogens จะต้องใช้เวลา 3-5 วันในการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า acidogens และ acetogens อีกทั้งยังมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ต่ำกว่าอีกด้วย ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันแบคทีเรีย methanogens จะย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นแก๊สมีเทน ซึ่งต้องใช้แก๊สไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6, 4 และ 2 วันนั้นจุลินทรีย์ methanogens ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทำให้ประสิทธิภาพ การย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นแก๊สมีเทนต่ำลง แก๊สไฮโดรเจนในระบบจึงสูงขึ้น แก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปทำปฏิกิริยากับสารอื่นเช่นซัลเฟต จึงทำให้ค่า pH ลดต่ำลงได้ ค่า pH ที่ลดต่ำลงนั้นอาจทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทนชะงักการเจริญได้ในขณะที่จุลินทรีย์ acidogens และ acetogens ที่สร้างกรดยังคงเจริญได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ความเป็นกรดต่างในระบบยังมีค่าต่ำลง

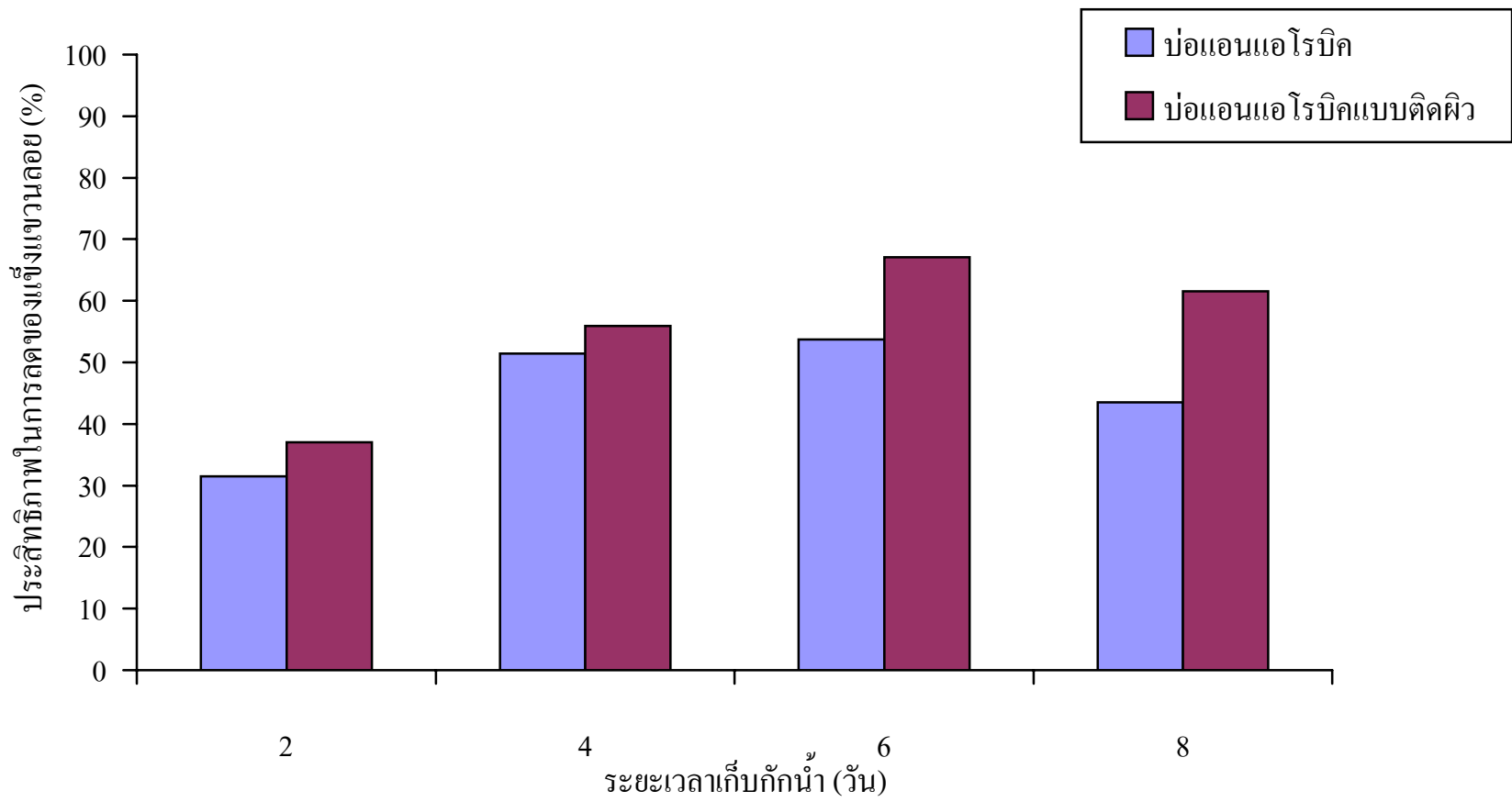
#### 4.3.3 การลดปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย

ผลของของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยที่ได้ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 11ข และ 12ข ในภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอย กับระยะเวลาเก็บกักน้ำของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิก แสดงดังภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยระเหย กับระยะเวลาเก็บกักน้ำของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิก แสดงดังภาพที่ 4.7

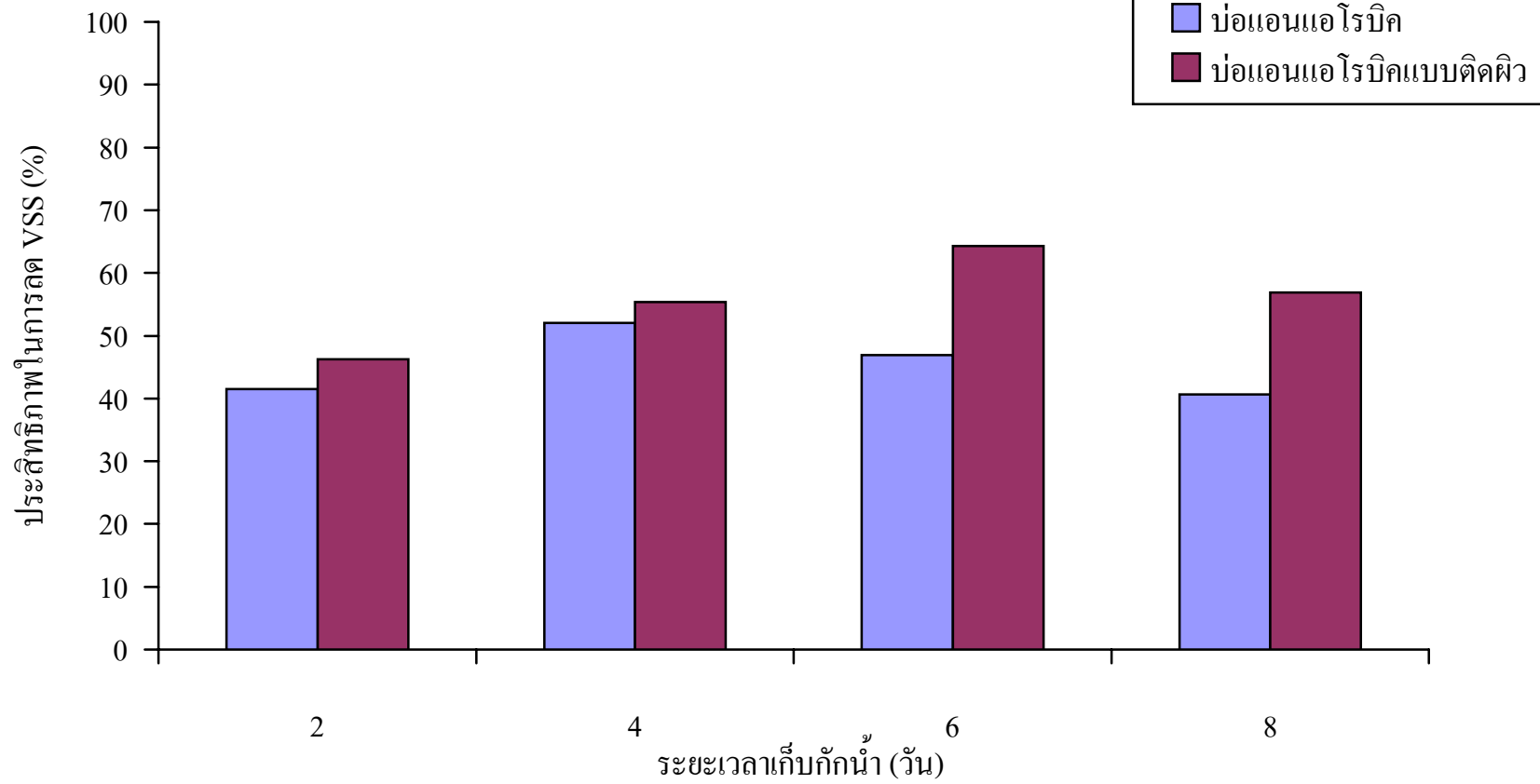
จากกราฟพบว่า ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำเสียที่ออกจากบ่อจะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำลดลง และในแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำบ่อแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าบ่อแอนแอโรบิก ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้เนื่องจากบ่อแอนแอโรบิกเปรียบเสมือนบ่อดกตะกอนบ่อแรก เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำสูงตะกอน







ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยกับระยะเวลาเก็บกักน้ำของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิก

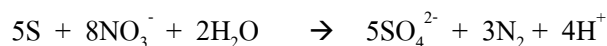
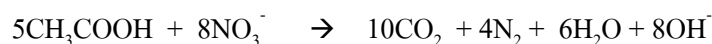


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยระเหยกับระยะเวลาเก็บกักน้ำของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดฝิว และบ่อแอนแอโรบิก

สามารถตกลงสู่กันบ่อได้ดีกว่า ส่วนบ่อแบบติดผิวมีตัวกลางที่ทำให้จุลินทรีย์แขวนลอยที่ลอยอยู่ภายในบ่อสามารถมาเกาะติดที่บริเวณผิวของตัวกลาง ทำให้ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออกตกลง แต่มีข้อสังเกตคือระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันของทั้งสองระบบประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยน้อยกว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6 วัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6 วันจุลินทรีย์ acidogens และ acetogens ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน แป้ง โปรตีน และไขมัน ไปเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กมีปริมาณสูงกว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วัน กล่าวคือที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 วันจุลินทรีย์ methanogens จะชะงักการเจริญเติบโตแต่ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ acidogens และ acetogens ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี อาจทำให้ปริมาณ จุลินทรีย์ acidogens และ acetogens มีปริมาณสูงขึ้นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ถูกย่อยสลายมากขึ้น ปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จึงลดลง

#### 4.3.4 การกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

ค่า TKN และ TP ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิกแสดงดังตารางที่ 11 ข และ 12 ข ในภาคผนวก ข จากผลการทดลองการกำจัด TKN และ TP ของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนนัก ทั้งนี้การกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของบ่อแอนแอโรบิกทั้งสองอาจเกิดจากตะกอนจุลินทรีย์สามารถดูดซับไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ ดังนั้นเมื่อเกิดการตกตะกอนจุลินทรีย์ ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจึงลดลงไป และไนโตรเจนที่อยู่ในระบบอาจถูกย่อยสลายจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) เปลี่ยนไปเป็นแก๊สไนโตรเจนดังปฏิกิริยา (Hovious et al, 1972)



จากปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่า จะต้องมีแหล่งอินทรีย์คาร์บอนพอเพียงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการเปลี่ยน ไนเตรทไปเป็นแก๊สไนโตรเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งอินทรีย์คาร์บอนจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันคือปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำควรมีค่าเท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียงกับศูนย์มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแบคทีเรียในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะใช้ไนเตรทแทนออกซิเจน pH ควรอยู่ในสภาพเป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 40 องศาเซลเซียส

#### 4.3.5 มวลชีวภาพ

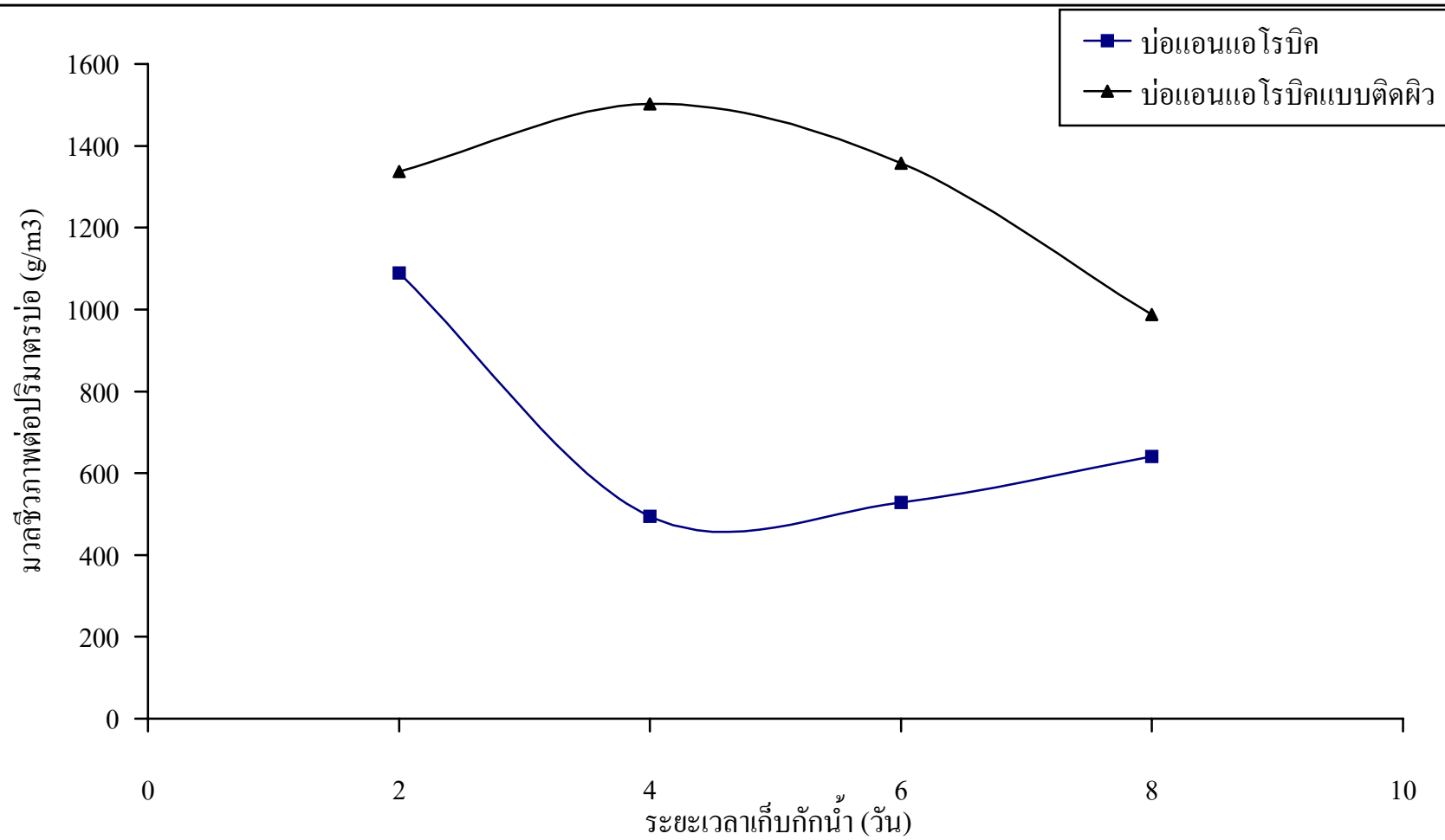
ปริมาณมวลชีวภาพต่อปริมาตรบ่อของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว แสดงดังตารางที่ 15x ในภาคผนวก ข และภาพที่ 4.8

จากผลการทดลองพบว่า บ่อแบบติดผิวมีค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพในรูปแบบแขวนลอยต่ำกว่าบ่อแอนแอโรบิกในระบบที่สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เพราะว่ามวลชีวภาพในบ่อแบบติดผิว สามารถเกาะติดอยู่กับตัวกลางที่ได้ใส่ลงไปภายในบ่อ และสามารถเจริญเติบโตได้ที่ผิวของตัวกลางนั้นด้วย ดังนั้นน้ำที่ออกจากบ่อชนิดนี้จึงมีปริมาณของมวลชีวภาพแบบแขวนลอยน้อยกว่าน้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิก แต่บ่อแบบติดผิวมีปริมาณมวลชีวภาพทั้งแบบแขวนลอยและติดอยู่ที่ผิวของตัวกลาง ดังนั้นจึงมีปริมาณของมวลชีวภาพรวมทั้งหมดภายในบ่อมากกว่าบ่อแอนแอโรบิก จากกราฟพบว่าทุกๆระยะเวลาเก็บกักน้ำบ่อแบบติดผิวมีค่าปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพต่อปริมาตรบ่อมากกว่าบ่อแอนแอโรบิกที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ทั้งนี้เป็นเพราะมวลชีวภาพในบ่อแบบติดผิวสามารถเกาะติดอยู่กับตัวกลางที่ได้ใส่ลงไปภายในบ่อ และสามารถเจริญเติบโตได้ที่ผิวของตัวกลางนั้นด้วย เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำลดลง ค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพของทั้งสองมีแนวโน้มแตกต่างกัน กล่าวคือบ่อแบบติดผิวค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพจะมากขึ้นส่วนบ่อแบบธรรมดาที่มีแนวโน้มลดลง เพราะบ่อแบบติดผิวสามารถสะสมมวลชีวภาพที่ตัวกลางให้เพิ่มมากขึ้น แต่บ่อธรรมดาไม่สามารถสะสมได้ ส่วนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 2 วันค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพมีแนวโน้มที่แตกต่างไป เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 2 วันปริมาณของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้นเป็นสาเหตุ ทำให้มีปริมาณของสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพเพิ่มมากขึ้น แต่มวลชีวภาพบนตัวกลางของบ่อแบบติดผิวจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนหลุดลอกจากตัวกลางได้เป็นผลให้ค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพลดลง และยังพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของค่าปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพของบ่อทั้งสองลดน้อยลงจนอาจทำให้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำมากกว่า 8 วัน มีค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพต่อปริมาตรของบ่อทั้งสองบ่อจะไม่แตกต่างกันได้

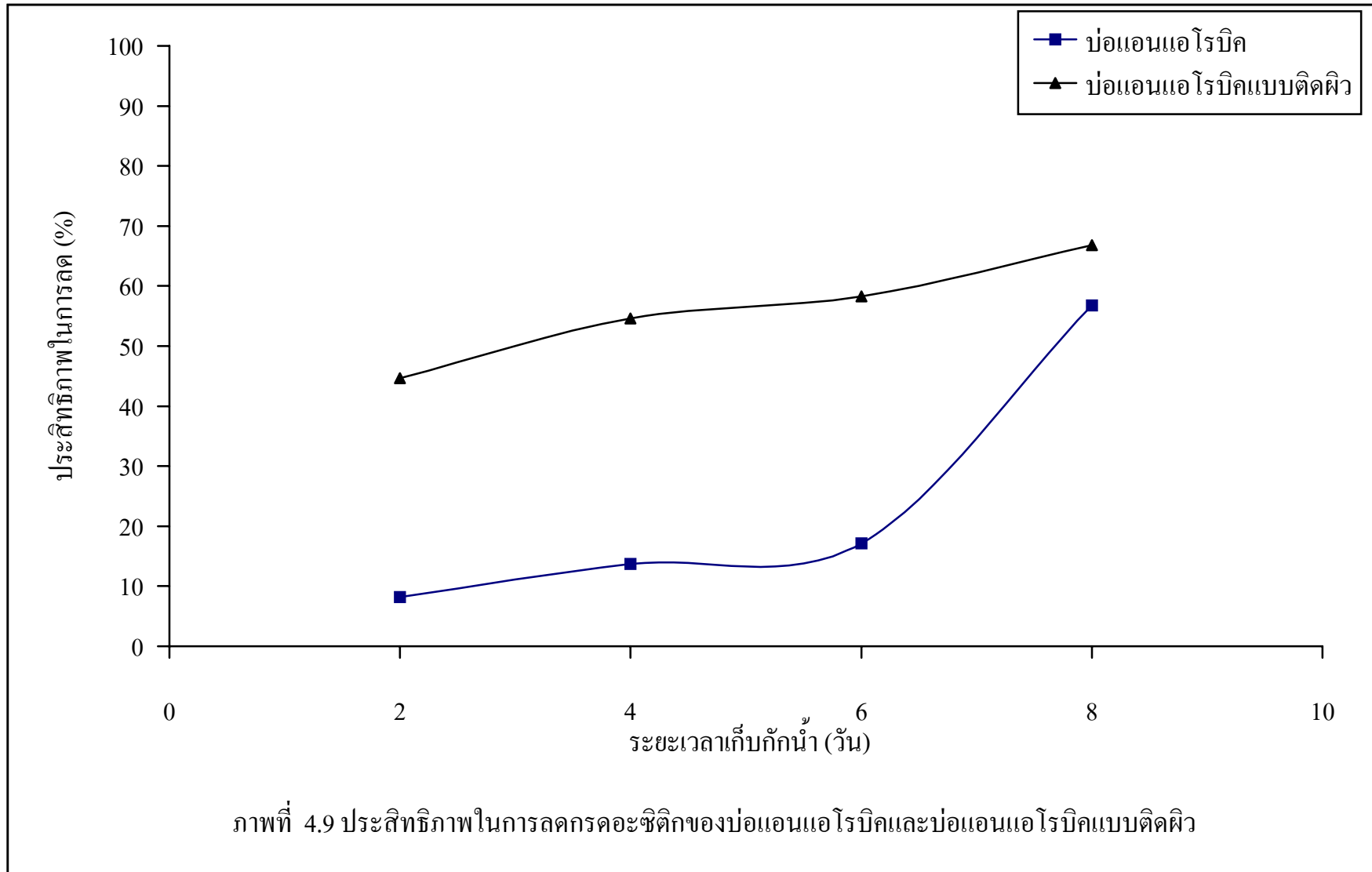
#### 4.3.6 ประสิทธิภาพการลดกรดอะซิดิก, กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริก

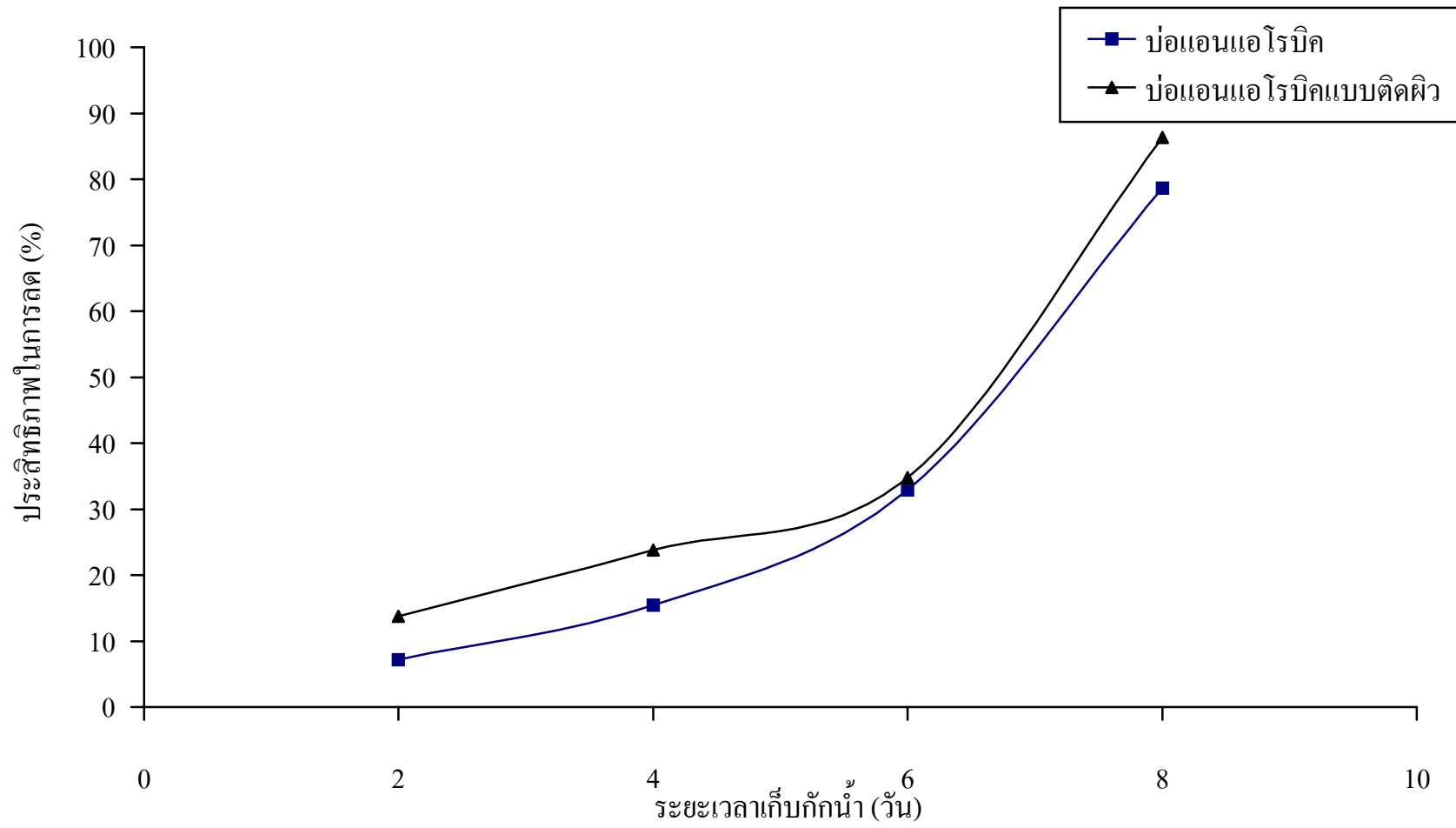
ประสิทธิภาพในการลดกรดอะซิดิก, กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริก ของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวแสดงดังภาพที่ 4.9-4.11 และตารางที่ 16x ในภาคผนวก ข ค่า COD Equivalent ของกรดอะซิดิก, กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริก ของบ่อทั้งสองแสดงดังตารางที่ 17x และ 18x ในภาคผนวก ข

จากกราฟ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดกรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริกของบ่อบำบัดทั้งสองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดของบ่อแบบติดผิว

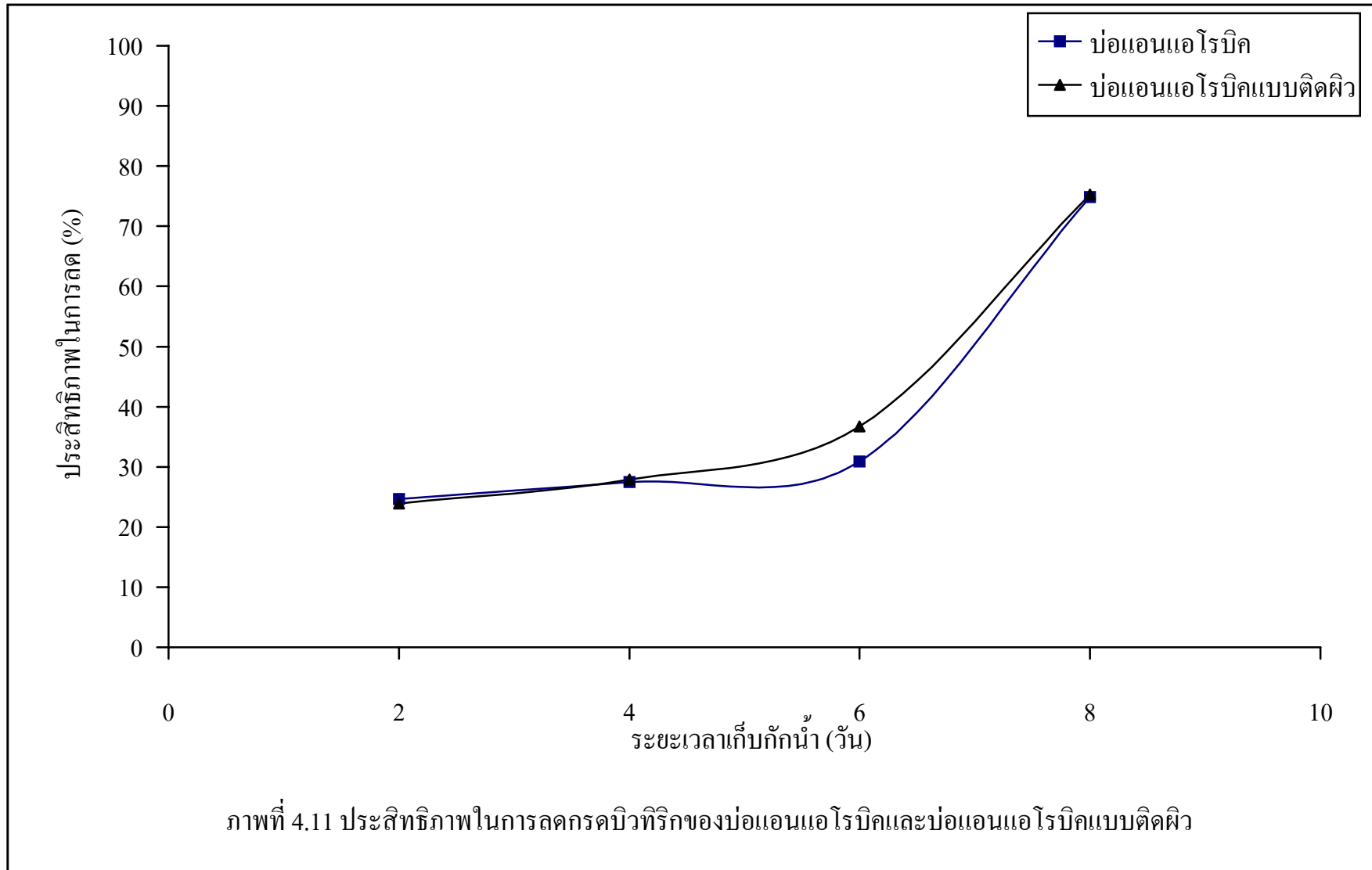


ภาพที่ 4.8 ปริมาณมวลชีวภาพต่อปริมาตรบ่อของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว





ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการลดกรดโพสไฟฟอนิกของบ่อแอนแอโรบิกและบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว



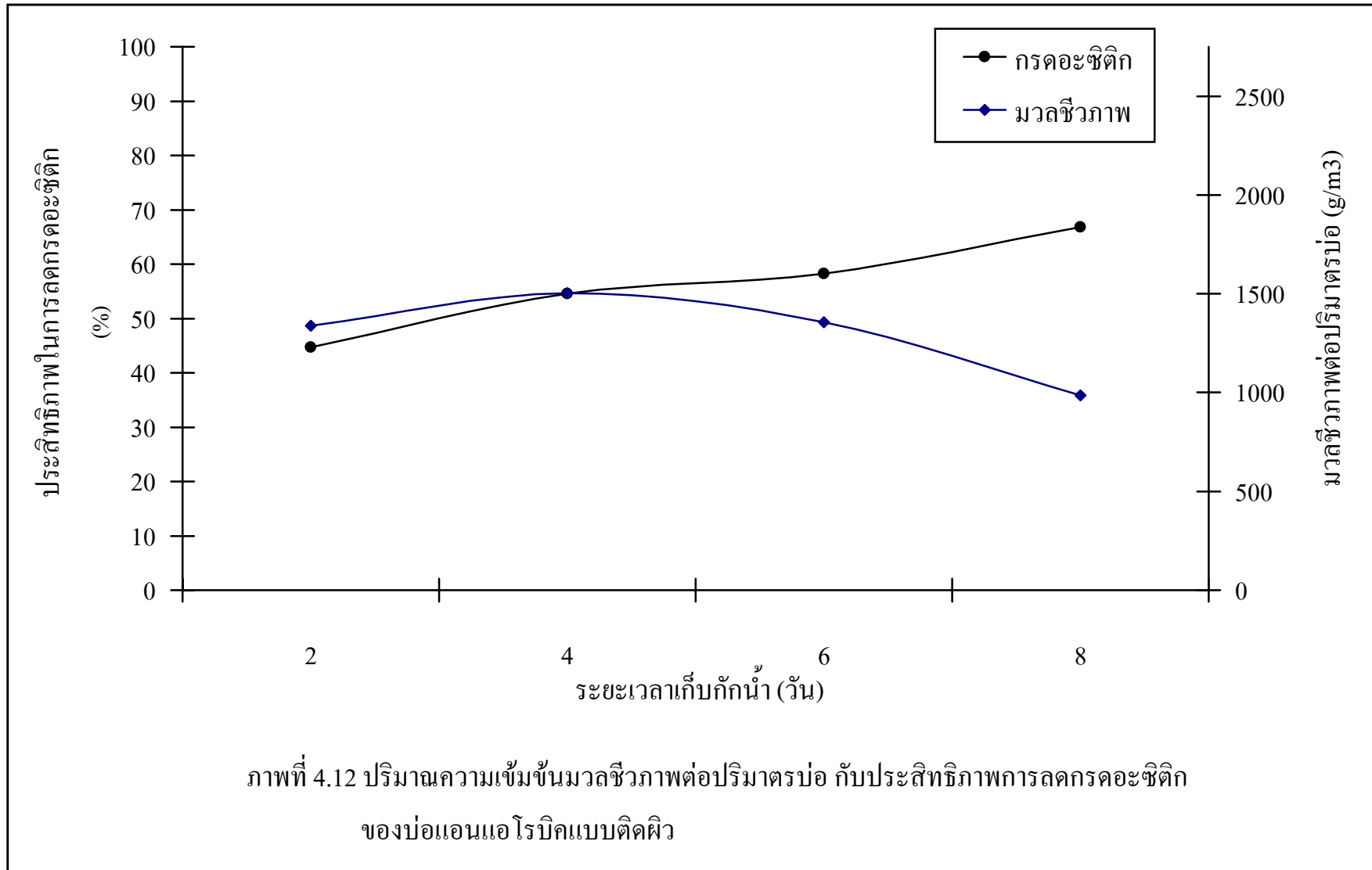


จะดีกว่าบ่อธรรมดา ซึ่งกรดทั้งสองชนิดนี้เป็นกรดที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะถูกแบคทีเรียกลุ่ม Acetogenic ย่อยสลายไปเป็นกรดอะซิติก ส่วนประสิทธิภาพในการลดของกรดอะซิติกของ บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีแนวโน้มแตกต่างจากบ่อแอนแอโรบิกอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากันประสิทธิภาพในการลดของบ่อแบบติดผิวมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก ซึ่งอาจเกิดจากแบคทีเรียกลุ่ม Acetoclastic Methanogens เป็นแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายของ กรดอะซิติกไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สมีเทนในบ่อมีมากกว่า ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้อาจ จะเกาะอยู่บริเวณตัวกลางทำให้ปริมาณแบคทีเรียชนิดนี้มากกว่าบ่อแอนแอโรบิก และสังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพในการลดกรดทั้งสามชนิดลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำลดลง แต่ที่ระยะเวลาเก็บกัก น้ำที่ 8 วันของบ่อทั้งสองจะมีประสิทธิภาพในการลดกรดทั้งสามชนิดได้ดีที่สุดทั้งนี้เป็นเพราะที่ ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วัน ค่า pH ของระบบอยู่ในช่วงที่เป็นสภาวะเหมาะสมในการเจริญเติบโต ของแบคทีเรียได้ดี จึงทำให้การย่อยสลายกรดอินทรีย์ของแบคทีเรียสามารถทำงานได้อย่างเต็มประ สิทธิภาพ แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำอื่นๆ สภาวะแวดล้อม และค่า pH อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ของการเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายกรดอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว

#### 4.3.7 มวลชีวภาพเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการลดกรดอะซิติก

ปริมาณค่าความเข้มข้นของมวลชีวภาพต่อปริมาตรบ่อ กับประสิทธิภาพการลดกรดอะซิติก ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวกับบ่อแอนแอโรบิก แสดงดังภาพที่ 4.12

จากกราฟแสดงให้เห็น ตัวอย่างของการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ กับประสิทธิภาพการลดกรดอะซิติกเพื่อหาจุดที่เหมาะสมของระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยพบว่าที่ระยะ ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 7-8 วันของทั้งสองบ่อ จะมีค่าปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ และประสิทธิ ภาพการลดกรดอะซิติกอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าจุดเหมาะสมของเส้นกราฟระหว่างปริมาณ ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ กับประสิทธิภาพการลดกรดอะซิติกของบ่อแบบติดผิวอยู่ที่ระยะเวลา เก็บกักน้ำ 4 วัน ซึ่งจุดที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมของบ่อแบบติดผิวได้ เนื่องจาก จากจุดนี้บ่อแบบติดผิวจะมีค่าปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพมากที่สุด อีกทั้ง ประสิทธิภาพ การลดกรดอะซิติกมีค่ามากพอที่จะทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายกรดอะซิติกให้เป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกจากระบบ ซึ่งเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ภายในบ่อได้ แต่ ณ จุดเดียวกันบ่อธรรมดามีค่าปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ กับค่าประสิทธิภาพการลด กรดอะซิติกยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเพียงพอ ที่จะทำให้แบคทีเรียย่อยสลายกรดอะซิติกให้เป็นแก๊สมี เเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเต็มที่ ดังนั้นการเพิ่มตัวกลางลงไปในบ่อ แอนแอโรบิกใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วันก็เพียงพอที่จะบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานแป้งมันสำปะหลังได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำถึง 7-8 วัน



#### 4.4 จลนศาสตร์ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

จากข้อมูลการทดลองสามารถหาค่าคงที่ (k) ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในกำจัด COD ได้โดยใช้สมการการไหลแบบกระจาย (2-1) ผลการคำนวณได้ค่าดังที่แสดงในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในกำจัดซีโอดีจากสมการการไหลแบบกระจายระหว่างบ่อแอนแอโรบิก กับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเดียวกันพบว่า บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีค่าคงที่ของการกำจัดซีโอดีสูงกว่าบ่อแอนแอโรบิก เนื่องจากบ่อแบบติดผิวจะมีการย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบมีประสิทธิภาพดีกว่าบ่อแอนแอโรบิก และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำของบ่อแบบติดผิวพบว่า ค่าคงที่นั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วัน จะมีค่าคงที่มากกว่าค่าคงที่ของระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6, 4, 2 วัน แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6 วัน แตกต่างกับที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 4 และ 2 วัน ไม่มากนัก และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 4 และ 2 วัน นั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการทดลองสามารถแบ่งสถานะได้เป็น 3 สถานะกล่าวคือ ในระยะเวลาเก็บกักน้ำช่วง 1-4 วัน ระบบจะไม่สามารถให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สออกจากระบบได้ โดยสถานะเช่นนี้เป็นสถานะสร้างกรดของระบบ ส่วนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 5-6 วัน เป็นสถานะที่ระบบสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สได้เพียงบางส่วน แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 7-8 วัน ระบบจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นมาก ซึ่งจะอยู่ในสถานะสร้างแก๊ส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปัจจัยหรือสภาพแวดล้อม pH อุณหภูมิ ปริมาณแบคทีเรียของระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วัน มีสถานะเหมาะสมในการทำให้เกิด ปฏิกิริยาย่อยสลายของแบคทีเรียทั้งสามกลุ่มนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสถานะที่แตกต่างกันของแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำนั้น จึงทำให้ค่าคงที่ในอัตราการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดซีโอดีสามารถแบ่งได้เป็น 3 สถานะคือสถานะสร้างกรด สถานะสร้างกรดสร้างแก๊สได้ไม่มากนัก และสถานะสร้างแก๊ส เมื่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นค่าคงที่ของการกำจัดซีโอดีก็จะสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัดซีโอดีของ  
 บ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

HRT (วัน)	k (1/d)	
	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว
8	3.61	8.17
6	0.90	1.82
4	0.60	0.86
2	0.57	0.89

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว เพื่อ ประเมิน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างบ่อแบบติดผิวกับบ่อแอนแอโรบิกธรรมดา และ แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใส่ตัวกลางลงไปภายในบ่อแอนแอโรบิก โดยนำน้ำเสียเข้าสู่บ่อ ทั้ง 2 บ่อที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8, 6, 4, และ 2 วัน ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์หาค่า COD, Suspended Solids, pH, Organic acids, TKN, TP ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

- จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 5 วันของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว เป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากค่าปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ กับค่าประสิทธิภาพการลดกรดอะซิติกมีค่ามากพอที่จะสามารถจะทำให้แบคทีเรียที่ย่อยสลายกรดอะซิติกให้เป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกจากระบบ ซึ่งเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ภายในบ่อได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อธรรมดาพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเดียวกัน ประสิทธิภาพในการลดกรดอะซิติกยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเพียงพอที่จะย่อยกรดอะซิติก จำเป็นต้องใช้ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 7-8 วัน ดังนั้นการเพิ่มตัวกลางลงไปภายในบ่อแอนแอโรบิกธรรมดา ช่วยให้โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสามารถลดปริมาณพื้นที่ หรือลดจำนวนบ่อแอนแอโรบิกให้น้อยลงได้

- การศึกษาจลนศาสตร์ของการกำจัด SCOD ของน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบ ว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของการกำจัดซีโอดีของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวจะมีค่ามากกว่าบ่อแอนแอโรบิกที่สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียของบ่อแบบติดผิวมีปริมาณมากกว่าทำให้มีอัตราการกำจัดสูงกว่าบ่อแอนแอโรบิก และแบ่งสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาเป็น 3 สภาวะคือที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 7-8 วันเป็นสภาวะสร้างแก๊สที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 5-6 วันเป็น สภาวะสร้างกรดและสร้างแก๊สได้เล็กน้อย และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 1-4 วันเป็นสภาวะสร้างกรด

- จากการวิเคราะห์หากรดอะซิติก, กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทริกที่เกิดขึ้นภายใน บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และบ่อแอนแอโรบิกพบว่า ประสิทธิภาพในการลดกรดทั้งสามชนิด ของบ่อแบบติดผิวจะมีประสิทธิภาพในการลดดีกว่าบ่อแอนแอโรบิก แต่สังเกตได้ว่าประสิทธิภาพ ในการลดกรดอะซิติกของบ่อแบบติดผิวดีกว่าบ่อธรรมดาอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเกิดจากแบคทีเรีย

กลุ่ม Acetoclastic Methanogens ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของกรดอะซิติกไปเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีมากกว่า และยังสังเกตได้ว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วันจะมีประสิทธิภาพในการลดกรดทั้งสามชนิดได้ดีที่สุดทั้งนี้เป็นเพราะที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 8 วัน ค่า pH อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดี แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำอื่นๆ ค่า pH อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมของการเติบโตของแบคทีเรียจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงอย่างรวดเร็ว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการทดลองเพื่อหาชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ที่เกาะติดบนตัวกลาง เพื่อที่จะได้หาว่าชนิดของแบคทีเรียเป็นชนิดใด มีปริมาณเป็นสัดส่วนกันเท่าใด และมีพฤติกรรมเป็นอย่างไรในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

- ควรมีการศึกษาวิธีการบำบัดตะกอนสดจากน้ำเป้งมันสำปะหลัง ก่อนที่จะลงสู่บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

- ควรมีการทดลองเพิ่มปริมาณตัวกลางที่ใส่ลงไปภายในบ่อทดลอง เพื่อที่จะได้หาปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

## รายการอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2539). **การบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์.
- ธีระ เกรอด. (2539). **วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ**. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พิศมัย ภูริสินสิทธิ์ และ ศักกรินทร์ ภูมिरัตน. (2529). **การวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ประโยชน์ และเพื่อกำจัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ในระดับห้องปฏิบัติการ**. รายงานเสนอต่อศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.
- Alivoio, G.M. (1968). **Studies on High-Rate Anaerobic Stabilization Ponds**. Master's Thesis, No.193, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- APHA, AWWA and WPCF (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. (19 th ed.). Washington, DC:American Public Health Association .
- Chatsanguthai, S. (1986). **Kinetics of Anaerobic Waste Stabilization Pond Treatment**. Master's Thesis, No.Ev 86-18, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Djuhanarto (1971). **Effect of pH on Anaerobic Ponds Performance**. Master's Thesis, No. 435, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Grady, C.P.L. Jr., and Lim, H.C. (1980). **Biological Wastewater Treatment: Theory and Applications**. New York :Marcel Dekker.
- Hovious, J.C., Fisher, J.A. and Conway, R.A. (1972). **Anaerobic Treatment of Synthetic Organic Wastes**. The Office of Research and Monitoring Enviroment Protection Agency, Washington.
- Janolino, R.B. (1988). **Phosphorus Removal in Attached-Growth Waste Stabilization Ponds**. Master's Thesis, No.Ev 98-20, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Kugaprasatham, S. (1987).**Response of Attach-Growth Waste Stabilization Ponds to Shock Loadings**. Master's Thesis, No.Ev 87-14, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Marecos do Monte, M.H.F. and Mara, D.D. (1987). The Hydraulic Performance of Waste Stabilization Ponds in Portugal. **Journal of Water Science & Technology**. Vol. 19, No.12, pp.219-227.

- McGarry, M.G. and Pescod, M.B. (1970). **Waste Stabilization Pond Design Criteria for Tropical Asia**. Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International symposium on Water Treatment Lagoons, pp. 114-132. Lawrence, Kansas:University of Kansas.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991). **Wastewater Engineering:Treatment, Disposal, Reuse**. (3<sup>rd</sup> ed.), New York:McGraw-Hill.
- Nejmeddine, A., Fars, S. and Echab, A. (1999). Removal of dissolved and particulate form of metals by an anaerobic pond system in Marrakesh(Morocco). **Journal of Environmental Technology**. Vol. 21,No.3, pp. 225-230.
- Paker, C.D., Jones, H.L. and Taylor, W.S.(1950). **Purification of Sewage in Lagoon**. Sewage and Industrial Waste, Vol. 31 No.2, pp.133-152.
- Paker, C.D. (1963). Microbiological aspects of lagoon treatment. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol. 34, pp.149-151.
- Polprasert, C. (1996). **Organic Waste Recycling**. (2<sup>nd</sup> ed.), Singapore:John Wiley & Sons.
- Polprasert, C. and Shin, H.K. (1988). Attached-growth Waste Stabilization Pond Treatment Evaluation. **Journal of Water Science & Technology**. Vol. 19, No.124, pp. 229-235.
- Potprasart, W. (1995). **Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater by Attached-Growth Waste Stabilization Ponds**. Master's Thesis, No.Ev.95-41, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Puetpaiboon, U. (1996). **Nitrogen Removal in Baffled Waste Stabilization Ponds**. Ph.D. Thesis, No.Ev.96-2, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Saqqar, M.M. and Pescod, M.B. (1995). Modelling the Performance of Anaerobic Wastewater Stabilization Ponds. **Journal of Water Science & Technology**. Vol. 31, No.12, pp.171-183.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkins, G.F. (1994). **Chemistry for Environmental Engineering**. (4<sup>th</sup> ed.), New York:McGraw-Hill.
- Sookhakich, S. (1992). **Treatment of Phenolic Wastewater in Attached-Growth Waste Stabilization Ponds**. Master's Thesis, No.Ev.92-22, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand.
- Shin, H.K.(1987). **Attached-Growth Wastewater Stabilization Ponds Treatment**. Ph.D. Thesis, No.Ev.87-2, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Thirumurthi, D. (1974). Design Criteria for Waste Stabilization Ponds. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.46, No.9, pp.2094-2106.



Tongkasame, C. (1968). **Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Waste.** Master's Thesis, No.228, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Uddin, M.S. (1970). **Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Waste.** Master's Thesis, No.440, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก ก  
การศึกษาริศาสตร์ติดตาม

ตารางที่ 1.ก ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษารีดตามของป้อนแอนแอโรบิก

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	0.00	0	0	0	0
30	30	4.95	0.0016	0.0490	1.47	44.11
60	30	9.67	0.0032	0.0957	5.74	344.47
120	60	10.14	0.0033	0.2007	24.09	2890.24
180	60	7.78	0.0026	0.1540	27.73	4990.70
240	60	11.08	0.0037	0.2194	52.65	12636.40
300	60	7.78	0.0026	0.1540	46.21	13863.07
360	60	8.72	0.0029	0.1727	62.17	22382.56
420	60	11.55	0.0038	0.2287	96.06	40345.74
480	60	11.55	0.0038	0.2287	109.78	52696.48
540	60	11.08	0.0037	0.2194	118.47	63971.78
600	60	11.55	0.0038	0.2287	137.23	82338.25
660	60	10.14	0.0033	0.2007	132.47	87429.78
720	60	10.61	0.0035	0.2100	151.23	108888.14
780	60	9.67	0.0032	0.1914	149.27	116433.01
795	15	9.67	0.0032	0.0478	38.03	30238.56
840	45	8.25	0.0027	0.1225	102.92	86455.16
860	20	8.25	0.0027	0.0545	46.83	40276.04
920	60	7.78	0.0026	0.1540	141.71	130374.50
950	30	6.84	0.0023	0.0677	64.29	61082.71
980	30	6.84	0.0023	0.0677	66.33	65001.48
1040	60	6.60	0.0023	0.1307	135.92	141360.41
1080	40	6.37	0.0021	0.0840	90.74	97999.33
1220	140	5.19	0.0017	0.2396	292.32	356633.56
1310	90	4.48	0.0015	0.1330	174.27	228291.91

๓ 1.ก (ต่อ)

t (mins)	$\Delta t_i$ (mins)	C (mg/L)	$C_i=C/C_0$	$C_i\Delta t_i$	$t_i C_i\Delta t_i$	$t_i^2 C_i\Delta t_i$
1340	30	4.01	0.0013	0.0397	53.17	71241.26
1460	120	3.54	0.0012	0.1400	204.45	298490.18
1520	60	4.01	0.0013	0.0794	120.61	183332.38
1580	60	3.30	0.0011	0.0653	103.25	163134.30
1760	180	3.30	0.0011	0.1960	345.04	607264.23
1880	120	3.06	0.0010	0.1214	228.16	428935.63
2000	120	3.06	0.0010	0.1214	242.72	485440.96
2210	210	2.12	0.0007	0.1470	324.94	718121.91
2330	120	1.65	0.0005	0.0653	152.26	354766.79
2450	120	1.65	0.0005	0.0653	160.10	392250.30
SUM=				4.6957	4202.65	5549946.36

หมายเหตุ:  $C_0 = 5 \text{ g/l}$

ตารางที่ 2.ก ผลการทดลองและการคำนวณการศึกษาสารติดตามของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

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	0.00	0	0	0	0
30	30	5.19	0.0017	0.0513	1.54	46.21
60	30	7.79	0.0026	0.0772	4.63	277.77
120	60	9.90	0.0033	0.1960	23.53	2823.03
180	60	9.43	0.0031	0.1867	33.61	6049.34
240	60	5.66	0.0019	0.1120	26.89	6452.63
300	60	10.37	0.0034	0.2054	61.61	18484.10
360	60	9.43	0.0031	0.1867	67.21	24197.36
420	60	8.02	0.0026	0.1587	66.65	27995.01
480	60	9.19	0.0030	0.1820	87.38	41942.10
540	60	8.49	0.0028	0.1680	90.74	48999.66
600	60	11.79	0.0039	0.2334	140.03	84018.63
660	60	10.84	0.0036	0.2147	141.71	93529.54
720	60	10.84	0.0036	0.2147	154.59	111307.88
780	60	10.37	0.0034	0.2054	160.20	124952.50
795	15	9.67	0.0032	0.0478	38.04	30238.57
840	45	8.96	0.0030	0.1330	111.74	93865.61
860	20	8.96	0.0030	0.0591	50.85	43728.27
920	60	7.54	0.0025	0.1494	137.42	126423.76
950	30	7.07	0.0023	0.0700	66.51	63189.01
980	30	6.84	0.0023	0.0677	66.33	65001.48
1040	60	6.60	0.0022	0.1307	135.92	141360.41
1080	40	6.13	0.0020	0.0809	87.38	94369.72
1220	140	5.19	0.0017	0.2396	292.32	356633.56
1310	90	4.95	0.0016	0.1470	192.61	252322.64

ตารางที่ 2.ก (ต่อ)

t (mins)	$\Delta t_i$ (mins)	C (mg/L)	$C_i=C/C_o$	$C_i\Delta t_i$	$t_i C_i\Delta t_i$	$t_i^2 C_i\Delta t_i$
1340	30	4.24	0.0014	0.0420	56.29	75431.92
1460	120	4.71	0.0016	0.1867	272.59	397986.90
1520	60	3.30	0.0011	0.0653	99.33	150979.61
1580	60	2.83	0.0009	0.0560	88.50	139829.40
1760	180	2.36	0.0008	0.1400	246.45	433760.17
1880	120	2.59	0.0009	0.1027	193.06	362945.53
2000	120	2.36	0.0008	0.0934	186.71	373416.12
2210	210	1.41	0.0005	0.0980	216.63	478747.94
2330	120	1.41	0.0005	0.0560	130.51	304085.82
2450	120	1.41	0.0005	0.0560	137.23	336214.54
SUM=				4.4138	3866.75	4911606.71

หมายเหตุ:  $C_o = 5$  g/l

ภาคผนวก ข  
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 1.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะ  
เวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
18/4/44	9000	3700	14/5/44	14394	5966	9/6/44	10468	2335
19/4/44	6800	5800	15/5/44	13853	5515	10/6/44	11765	2146
20/4/44	10600	5400	16/5/44	11029	3433	11/6/44	11137	2080
21/4/44	9700	4400	17/5/44	15217	3476	12/6/44	10894	2196
22/4/44	10442	1205	18/5/44	14000	3645	13/6/44	13600	2179
23/4/44	16867	3012	19/5/44	11284	5447			
24/4/44	8635	2008	20/5/44	10506	6420			
25/4/44	9639	2108	21/5/44	14428	5481			
26/4/44	11706	2976	22/5/44	16731	6058			
27/4/44	9325	2976	23/5/44	15019	6368			
28/4/44	10317	3075	24/5/44	14767	7073			
29/4/44	10956	3586	25/5/44	15720	6439			
30/4/44	8738	3495	26/5/44	11122	5906			
1/5/44	11868	2918	27/5/44	10425	5888			
2/5/44	11089	2918	28/5/44	9885	5228			
3/5/44	12549	3016	29/5/44	11914	5469			
4/5/44	9160	3053	30/5/44	12216	6223			
5/5/44	10568	3523	31/5/44	12031	6130			
6/5/44	14981	3696	1/6/44	10424	6486			
7/5/44	14423	4389	2/6/44	11553	6439			
8/5/44	12885	5481	3/6/44	12769	6230			
9/5/44	8491	3868	4/6/44	13787	6667			
10/5/44	7549	4608	5/6/44	11307	5846			
11/5/44	7549	3284	6/6/44	10992	6107			
12/5/44	9885	2281	7/6/44	10874	3292			
13/5/44	13168	5214	8/6/44	10988	2220			



ตารางที่ 2.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะ  
เวลาเก็บกักน้ำ 6 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
22/6/44	13853	4864	18/7/44	11765	7514	13/8/44	9764	5117
23/6/44	13457	4234	19/7/44	11137	9571	14/8/44	8923	5216
24/6/44	15217	5891	20/7/44	10894	8124			
25/6/44	14000	5217	21/7/44	13600	6217			
26/6/44	14874	7346	22/7/44	13600	5163			
27/6/44	14024	7895	23/7/44	14776	5517			
28/6/44	14428	8730	24/7/44	15217	6172			
29/6/44	16731	9883	25/7/44	13474	6576			
30/6/44	15019	9772	26/7/44	14615	5925			
1/7/44	14767	9651	27/7/44	11648	6214			
2/7/44	15720	7215	28/7/44	13926	7245			
3/7/44	11122	11271	29/7/44	12687	7514			
4/7/44	10425	10798	30/7/44	8254	8934			
5/7/44	11024	9216	31/7/44	10924	7509			
6/7/44	11914	5246	1/8/44	10557	6898			
7/7/44	12216	6851	2/8/44	6895	6589			
8/7/44	12031	8692	3/8/44	10336	7584			
9/7/44	10424	6360	4/8/44	7735	5218			
10/7/44	11553	6593	5/8/44	8582	4246			
11/7/44	12769	5375	6/8/44	8660	5375			
12/7/44	13787	4257	7/8/44	9012	6693			
13/7/44	11307	6851	8/8/44	8529	4693			
14/7/44	10992	6241	9/8/44	7795	6154			
15/7/44	12874	5832	10/8/44	7798	4974			
16/7/44	10988	7120	11/8/44	8660	5214			
17/7/44	10468	6910	12/8/44	8379	5119			

ตารางที่ 3.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะ  
เวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
25/8/44	14941	5991	20/9/44	10528	7275	16/10/44	12345	8210
26/8/44	13111	7717	21/9/44	10421	7747	17/10/44	12674	8923
27/8/44	12749	6757	22/9/44	10143	6834	18/10/44	11875	6774
28/8/44	13155	5678	23/9/44	10957	5174	19/10/44	11958	5111
29/8/44	12185	8874	24/9/44	11479	3857	20/10/44	12747	4874
30/8/44	10215	8874	25/9/44	8307	4038	21/10/44	12147	4897
31/8/44	11214	8874	26/9/44	9214	4124	22/10/44	13427	5989
1/9/44	10124	5578	27/9/44	8269	4585	23/10/44	12747	6927
2/9/44	9987	5578	28/9/44	8575	5053	24/10/44	12024	7957
3/9/44	10075	4557	29/9/44	5975	4224	25/10/44	11112	7474
4/9/44	8247	4343	30/9/44	11270	5327	26/10/44	8476	7574
5/9/44	9884	6678	1/10/44	10007	4357	27/10/44	8817	5228
6/9/44	9784	7788	2/10/44	9878	4579	28/10/44	9857	7657
7/9/44	9874	7757	3/10/44	12727	4349	29/10/44	8874	4627
8/9/44	13248	5574	4/10/44	11524	6532	30/10/44	8272	5657
9/9/44	12977	5574	5/10/44	11528	5959	31/10/44	10978	6997
10/9/44	14762	8271	6/10/44	10740	7852	1/11/44	12127	7247
11/9/44	12487	8172	7/10/44	9724	8023	2/11/44	11787	6217
12/9/44	14528	10037	8/10/44	10998	7834	3/11/44	11027	5551
13/9/44	13677	6777	9/10/44	12422	8906	4/11/44	12135	7988
14/9/44	13633	8787	10/10/44	13596	8672	5/11/44	11987	8897
15/9/44	12471	7678	11/10/44	11673	8541	6/11/44	11888	8451
16/9/44	14234	7747	12/10/44	11435	8826	7/11/44	12754	8217
17/9/44	12891	8909	13/10/44	9972	8574	8/11/44	9957	8742
18/9/44	13248	5787	14/10/44	11640	8750	9/11/44	10798	8663
19/9/44	11243	7867	15/10/44	12477	8712	10/11/44	11348	8614

ตารางที่ 4.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะ  
เวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
22/11/44	8340	6640	17/12/44	11245	11024	11/1/45	12946	11989
23/11/44	8245	7258	18/12/44	10324	9245			
24/11/44	8342	6748	19/12/44	10484	10240			
25/11/44	8642	6772	20/12/44	12496	9457			
26/11/44	8342	7202	21/12/44	13464	9657			
27/11/44	9210	6947	22/12/44	12345	11240			
28/11/44	10210	8056	23/12/44	12245	11584			
29/11/44	11024	7126	24/12/44	12497	10245			
30/11/44	11000	7742	25/12/44	12764	10245			
1/12/44	12435	9246	26/12/44	12486	11134			
2/12/44	11245	9654	27/12/44	11942	11470			
3/12/44	12347	8754	28/12/44	12471	9847			
4/12/44	11484	9204	29/12/44	12747	11311			
5/12/44	11496	8893	30/12/44	13773	10001			
6/12/44	12046	7424	31/12/44	12718	11604			
7/12/44	11345	9011	1/1/45	13494	12321			
8/12/44	10245	8423	2/1/45	13242	11924			
9/12/44	11246	9123	3/1/45	13642	11648			
10/12/44	13764	8824	4/1/45	13246	11184			
11/12/44	11498	8956	5/1/45	14863	11694			
12/12/44	11942	9477	6/1/45	13249	11747			
13/12/44	10234	9073	7/1/45	13802	12247			
14/12/44	11247	9830	8/1/45	14227	11958			
15/12/44	11942	9248	9/1/45	13547	11924			
16/12/44	12464	8249	10/1/45	13467	12104			

ตารางที่ 5.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว  
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
26/5/44	11122	4600	21/6/44	14394	3977	20/7/44	10894	1868
27/5/44	14424	3800	22/6/44	13853	4779	21/7/44	13600	2179
28/5/44	9885	4000	23/6/44	13457	6158	22/7/44	13600	1760
29/5/44	10191	5400	24/6/44	15217	6114	23/7/44	14776	3582
30/5/44	10214	3212	25/6/44	14000	6182	24/7/44	15217	3073
31/5/44	11031	2410	26/6/44	14874	5885	25/7/44	13474	2257
1/6/44	10424	2008	27/6/44	14024	6226	26/7/44	14615	2769
2/6/44	13512	1205	28/6/44	14428	5865	27/7/44	11648	2474
3/6/44	10947	5258	29/6/44	16731	5961	28/7/44	13926	2970
4/6/44	9954	3571	30/6/44	15019	6036	29/7/44	12687	2875
5/6/44	11307	3968	1/7/44	14767	6395	30/7/44	8254	2992
6/6/44	10992	4183	2/7/44	15720	5871	31/7/44	10924	3240
7/6/44	10847	2913	3/7/44	11122	5610	1/8/44	10557	1190
8/6/44	13245	2724	4/7/44	10425	5212	2/8/44	6895	1024
9/6/44	9997	3599	5/7/44	11024	4183	3/8/44	10336	1105
10/6/44	11760	3599	6/7/44	11914	4883	4/8/44	7735	663
11/6/44	9842	2385	7/7/44	12216	4764	5/8/44	8582	1002
12/6/44	12464	4501	8/7/44	12031	4885	6/8/44	8660	1200
13/6/44	11360	3502	9/7/44	10424	4710	7/8/44	9012	941
14/6/44	12462	3269	10/7/44	11553	5454	8/8/44	8529	882
15/6/44	14442	4423	11/7/44	12769	4923	9/8/44	7795	624
16/6/44	14491	2880	12/7/44	13787	4545	10/8/44	7798	870
17/6/44	13457	2745	13/7/44	11307	4531	11/8/44	8660	849
18/6/44	14442	2010	14/7/44	10992	4351	12/8/44	8379	846
19/6/44	14211	4563	15/7/44	12874	2319	13/8/44	9764	854
20/6/44	13168	2583	16/7/44	10988	2205	14/8/44	8923	882

ตารางที่ 6.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว  
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
25/8/44	14941	1167	20/9/44	10528	5278	16/10/44	12345	6124
26/8/44	13111	1867	21/9/44	10421	4787	17/10/44	12674	7385
27/8/44	12749	3247	22/9/44	10143	4872	18/10/44	11875	6214
28/8/44	13155	1874	23/9/44	10957	6727	19/10/44	11958	5475
29/8/44	12185	2357	24/9/44	11479	5217	20/10/44	12747	5217
30/8/44	10215	2127	25/9/44	8307	3992	21/10/44	12147	5472
31/8/44	11214	3562	26/9/44	9214	3567	22/10/44	13427	5747
1/9/44	10124	4175	27/9/44	8269	4111	23/10/44	12747	5678
2/9/44	9987	4027	28/9/44	8575	3987	24/10/44	12024	5379
3/9/44	10075	4175	29/9/44	5975	4777			
4/9/44	8247	2417	30/9/44	11270	5248			
5/9/44	9884	4991	1/10/44	10007	3248			
6/9/44	9784	1987	2/10/44	9878	4876			
7/9/44	9874	3578	3/10/44	12727	4111			
8/9/44	13248	2275	4/10/44	11524	2574			
9/9/44	12977	2256	5/10/44	11528	4578			
10/9/44	14762	1867	6/10/44	10740	6075			
11/9/44	12487	3587	7/10/44	9724	4423			
12/9/44	14528	5993	8/10/44	10998	6780			
13/9/44	13677	3248	9/10/44	12422	8516			
14/9/44	13633	6248	10/10/44	13596	7109			
15/9/44	12471	2111	11/10/44	11673	3487			
16/9/44	14234	5397	12/10/44	11435	5478			
17/9/44	12891	8363	13/10/44	9972	5324			
18/9/44	13248	5489	14/10/44	11640	7734			
19/9/44	11243	8975	15/10/44	12477	6328			

ตารางที่ 7.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว  
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
12/11/44	8340	7568
13/11/44	8245	6532
14/11/44	8342	7214
15/11/44	8642	6687
16/11/44	8342	5952
17/11/44	9210	5532
18/11/44	10210	5894
19/11/44	11024	5241
20/11/44	11000	6099
21/11/44	12435	5775
22/11/44	11245	7248
23/11/44	12347	8349
24/11/44	11484	7348
25/11/44	11496	6248
26/11/44	12046	7099
27/11/44	11345	8642
28/11/44	10245	8964
29/11/44	11246	8424
30/11/44	13764	8324
1/12/44	11498	7667
2/12/44	11942	7714
3/12/44	10234	8847
4/12/44	11247	9921
5/12/44	11942	9002
6/12/44	12464	7824
7/12/44	11245	7762

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
8/12/44	10324	8666
9/12/44	10484	9246
10/12/44	12496	8894
11/12/44	13464	9022
12/12/44	12345	9111
13/12/44	12245	7674
14/12/44	12497	9424
15/12/44	12764	9848
16/12/44	12486	9234
17/12/44	11942	8988
18/12/44	12471	9137
19/12/44	12747	9144

ตารางที่ 8.ข ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี(mg/L) ของน้ำเข้า และน้ำออกจากบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว  
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน

วันที่	น้ำเข้า	น้ำออก
20/12/44	13773	10989
21/12/44	12718	10549
22/12/44	13494	10249
23/12/44	13242	11024
24/12/44	13642	10240
25/12/44	13246	11024
26/12/44	14863	11960
27/12/44	13249	10048
28/12/44	13802	11024
29/12/44	14227	9947
30/12/44	13547	10324
31/12/44	13467	10346
1/1/45	12946	11246
2/1/45	10111	9924
3/1/45	9910	10245
4/1/45	9541	8426
5/1/45	9244	8824
6/1/45	8864	9024
7/1/45	8841	8261
8/1/45	8986	7536
9/1/45	8947	6642
10/1/45	8747	7206
11/1/45	9110	7246
12/1/45	8824	6971
13/1/45	9210	7260

ตารางที่ 9.ข ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของบ่อแอนแอโรบิก

HRT (วัน)	COD น้ำเข้า (mg/L)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	% การกำจัด TCOD	% การกำจัด SCOD
8	11849	3353	2150	71.70	81.85
6	9305	6451	5419	30.67	41.76
4	11224	9962	8549	11.24	23.83
2	13773	12923	11989	6.17	12.95

ตารางที่ 10.ข ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

HRT (วัน)	COD น้ำเข้า (mg/L)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	% การกำจัด TCOD	% การกำจัด SCOD
8	9305	1386	869	85.11	90.66
6	12345	6548	5520	46.96	55.29
4	12792	10622	9324	16.96	27.11
2	8985	8116	7536	9.67	16.13



ตารางที่ 11.๗ ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของบ่อแอนแอโรบิก

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ			
	8 วัน	6 วัน	4 วัน	2 วัน
pH				
น้ำเข้า	3.47	3.56	3.35	3.49
น้ำออก	5.94	4.78	4.35	4.41
TSS (mg/L)				
น้ำเข้า	1006	937	912	1562
น้ำออก	568	434	443	1071
%การกำจัด	43.53	53.69	51.39	31.49
VSS (mg/L)				
น้ำเข้า	1080	995	1030	1861
น้ำออก	641	528	494	1089
%การกำจัด	40.61	52.05	46.91	41.49
TKN (mg/L)				
น้ำเข้า	29.10	30.94	28.82	46.59
น้ำออก	9.66	19.65	25.90	22.46
%การกำจัด	66.80	36.49	10.12	51.80
TP (mg/L)				
น้ำเข้า	8.27	14.88	15.15	15.69
น้ำออก	5.47	13.4	12.15	13.15
%การกำจัด	33.82	9.95	19.80	16.19

ตารางที่ 12.ข ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของบ่อแอนแอโรบิก  
แบบติดผิว

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ			
	8 วัน	6 วัน	4 วัน	2 วัน
pH				
น้ำเข้า	3.56	3.35	3.45	3.97
น้ำออก	6.62	4.65	4.67	4.97
TSS (mg/L)				
น้ำเข้า	937	1680	1270	813
น้ำออก	360	554	560	512
%การกำจัด	61.59	67.03	55.91	37.02
VSS (mg/L)				
น้ำเข้า	995	1730.75	1613	1020
น้ำออก	429	617.5	720	548.09
%การกำจัด	56.88	64.32	55.36	46.27
TKN (mg/L)				
น้ำเข้า	30.94	28.82	44.21	38.57
น้ำออก	23.74	27.16	32.94	33.22
%การกำจัด	23.29	5.74	25.48	13.87
TP (mg/L)				
น้ำเข้า	14.88	17.83	15.48	10.1
น้ำออก	14.21	15.15	13.15	8.82
%การกำจัด	4.50	15.01	15.05	12.72

ตารางที่ 13.ข ค่ากรดอะซิติค กรดโพรไฟโอนิก และกรดบิวทิริก ของบ่อแอนแอโรบิก

HRT		กรดอะซิติค	กรดโพรไฟโอนิก	กรดบิวทิริก
HRT 8 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	320.28	715.29	418.12
	น้ำออก (mg/L)	138.46	152.84	105.03
HRT 6 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	317.05	805.37	489.62
	น้ำออก (mg/L)	262.73	540.41	338.28
HRT 4 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	299.40	489.33	804.4
	น้ำออก (mg/L)	258.29	413.63	583.22
HRT 2 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	305.62	212.26	411.14
	น้ำออก (mg/L)	280.61	197.10	309.97

ตารางที่ 14.๗ ค่ากรดอะซิดิก กรดโพรไฟโอนิก และกรดบิวทริก ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

HRT		กรดอะซิดิก	กรดโพรไฟโอนิก	กรดบิวทริก
HRT 8 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	317.05	805.37	489.62
	น้ำออก (mg/L)	105.29	110.39	121.28
HRT 6 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	406.5	686.01	802.79
	น้ำออก (mg/L)	169.64	237.52	605.14
HRT 4 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	475.075	109.65	623.77
	น้ำออก (mg/L)	215.69	88.27	249.76
HRT 2 วัน	น้ำเข้า (mg/L)	332.21	357.52	406.18
	น้ำออก (mg/L)	133.82	108.36	369.25

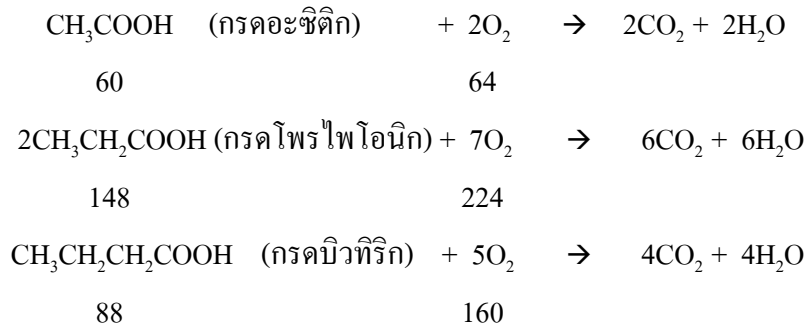
ตารางที่ 15.ข ปริมาณมวลชีวภาพของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ตัวแปร	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว	
HRT	ปริมาณความเข้มข้นของ มวลชีวภาพ(g/m <sup>3</sup> )	ตัวกลาง	ปริมาณความเข้มข้นของ มวลชีวภาพ (g/m <sup>3</sup> )
8	641	558	987
6	528	739	1357
4	494	782	1502
2	1089	789	1337

ตารางที่ 16.ข ประสิทธิภาพในการลดกรดอะซิติค กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริกของบ่อแอนแอโรบิก และบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว (%)

HRT	กรดอะซิติค		กรดโพรไพโอนิก		กรดบิวทิริก	
	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว
8	56.77	66.79	78.63	86.29	74.88	75.23
6	17.13	58.27	32.89	34.8	30.91	36.72
4	13.73	54.59	15.47	23.82	27.49	27.89
2	8.18	44.67	7.14	13.75	24.61	23.86

ปฏิกิริยาหาค่า COD Equivalent แสดงดังต่อไปนี้



ตารางที่ 17.ข COD Eq ของกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทิริกของบ่อแอนแอโรบิก

ตัวแปร		กรดอะซิติก	กรดโพรไพโอนิก	กรดบิวทิริก
HRT 8 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	341.63	1082.60	760.22
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	147.69	231.33	191.51
HRT 6 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	338.19	1218.93	890.22
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	280.25	817.92	615.05
HRT 4 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	319.36	740.61	1462.55
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	275.51	626.03	1060.4
HRT 2 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	325.99	321.26	747.53
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	299.31	298.31	563.58

ตารางที่ 18.ข COD Eq ของกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก และกรดบิวทีริกของบ่อแอนแอโรบิก  
แบบติดผิว

ตัวแปร		กรดอะซิติก (Acetic acid)	กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid)	กรดบิวทีริก (Butyric acid)
HRT 8 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	338.19	1218.94	890.22
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	112.31	167.08	220.51
HRT 6 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	433.6	1038.29	1459.62
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	180.95	359.49	1100.25
HRT 4 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	506.75	165.96	1134.13
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	230.07	133.6	454.11
HRT 2 วัน	COD Eq น้ำเข้า (mg/L)	354.36	541.11	738.51
	COD Eq น้ำออก (mg/L)	142.74	164.0	671.36

ภาคผนวก ค  
ผลการทดสอบทางสถิติ



ตารางที่ 1.ค ผลการทดสอบสถิติการเปรียบเทียบค่ากระจายของการไหลระหว่าง บ่อแอนแอโรบิก กับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ตัวแปร	Mean	Standard deviation	Coefficient of Variance (%)
ระยะเวลาเก็บกักน้ำเฉลี่ย	0.615	0.01	1.16
ค่ากระจายของการไหล	0.34	0.0141	4.16

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

ตารางที่ 2.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคังที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	11572.80	1226.56	10.60
น้ำออก	2187.20	93.78	4.29

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

ตารางที่ 3.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคังที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	8705	724.56	8.32
น้ำออก	5128	98.82	1.93

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

ตารางที่ 4.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคังที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	11349	1061.35	9.35
น้ำออก	8537	208.34	2.44

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

ตารางที่ 5.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกที่ระยะเวลาเก็บกัก 2 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	13598	469.61	3.45
น้ำออก	12044	131.94	1.10

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

ตารางที่ 6.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	8705	724.56	8.32
น้ำออก	860	15.30	1.78

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

ตารางที่ 7.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	12618	561.79	4.45
น้ำออก	5499	216.91	3.94

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

ตารางที่ 8.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	12482	332.22	2.66
น้ำออก	9270	334.84	3.61

ตารางที่ 9.ค ผลการทดสอบทางสถิติเมื่อระบบคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บ  
กัก 2 วัน

น้ำตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
น้ำเข้า	8968	192.84	2.15
น้ำออก	7065	263.83	3.73

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

ตารางที่ 10.ค ผลการทดสอบทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD เปรียบเทียบ  
ระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ระยะเวลา เก็บกัก	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
8	71.70	85.11	78.41	9.48	12.09
6	30.67	46.96	38.82	11.52	29.68
4	11.24	16.96	14.10	4.04	28.69
2	6.17	9.67	7.92	2.47	31.25

ตารางที่ 11.ค ผลการทดสอบทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการกำจัด SCOD เปรียบเทียบ  
ระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ระยะเวลา เก็บกัก	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
8	81.85	90.66	86.26	6.23	7.22
6	41.76	55.29	48.53	9.57	19.72
4	23.83	27.11	25.47	2.32	9.11
2	12.95	16.13	14.54	2.25	15.46

ตารางที่ 12.ค ผลการทดสอบทางสถิติ ของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอย  
เปรียบเทียบระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ระยะเวลา เก็บกัก	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
8	43.53	61.59	52.56	12.77	24.30
6	53.69	67.03	60.36	9.43	15.63
4	51.39	55.91	53.65	3.20	5.96
2	31.49	37.02	34.26	3.91	11.42

ตารางที่ 13.ค ผลการทดสอบทางสถิติ ของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอย  
ระเหยเปรียบเทียบระหว่างบ่อแอนแอโรบิกกับบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ระยะเวลา เก็บกัก	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแอนแอโรบิก แบบติดผิว	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
8	40.61	56.88	48.75	11.50	23.60
6	52.05	64.32	58.19	8.68	14.91
4	46.91	55.36	51.14	5.98	11.68
2	41.49	46.27	43.88	3.38	7.70

ตารางที่ 14.ค ผลการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	ค่าทางสถิติ		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of variance
8 กับ 6	5.00	4.49	89.89
6 กับ 4	1.34	0.68	50.66
4 กับ 2	0.88	0.02	2.42
4 กับ 8	4.52	5.17	114.48
2 กับ 8	4.53	5.15	113.64
2 กับ 6	1.36	0.66	48.53

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

## ประวัติผู้เขียน

นายธีรวัฒน์ รักรวิจิตรกุล เกิดวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2519 ได้เข้าศึกษาปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2537 โดยศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ และจบการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2540 จากการพิจารณาถึงอนาคตของสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในประเทศไทย ซึ่งมีส่วนสำคัญในการพัฒนาประเทศ จึงตัดสินใจเข้าศึกษาปริญญาโทในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาในปีพ.ศ. 2537 เพื่อที่จะนำความรู้ที่ได้ไปช่วยพัฒนาประเทศในก้าวหน้าต่อไป