

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ปอแอนแอโรบิค  
แบบติดผิวและการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งเพื่อการเกษตร

นาย ทวีศักดิ์ อิงเจริญวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2544  
ISBN 974-533-063-9

**The Performances of Tapioca-Starch Wastewater Treatment Using  
Attached-growth Anaerobic Pond and Effluent Recovery for Agricultural Use**

**Mr. Taweesak ungjaroenwong**

**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 947-533-063-9**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว  
และการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งเพื่อการเกษตร

THE PERFORMANCES OF TAPIOCA-STARCH WASTEWATER TREATMENT USING  
ATTACHED-GROWTH ANAEROBIC POND AND EFFLUENT RECOVERY FOR  
AGRICULTURAL USE

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ)

ประธานกรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ดร.อุดมผล พิชน์ไพบูลย์)

กรรมการ

.....

(ดร.ธรรมรัตน์ กุตตะเทพ)

กรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีช จิตรสมบูรณ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วราภรณ์ ขำพิศ)

คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ทวิศักดิ์ อึ้งเจริญวงศ์ : ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งเพื่อการเกษตร

(THE PERFORMANCES OF TAPIOCA-STARCH WASTEWATER TREATMENT USING ATTACHED-GROWTH ANAEROBIC POND AND EFFLUENT RECOVERY FOR AGRICULTURAL USE.) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ, 86 หน้า. ISBN 974-533-063-9

จากการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งเพื่อการเกษตร โดยน้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะดังนี้คือ COD = 11,023 mg/L, TKN = 170 mg/L, TP = 17.42 mg/L, SS = 2,997 mg/L, pH = 4.16, Acetic acid = 1217.8 mg/L, Propionic acid = 1745.7 mg/L, Lactic acid = 871.77 mg/L, Butyric acid = 3109.9 mg/L

ผลการทดลองพบว่าเมื่อน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังผ่านระบบบำบัดโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีค่าเฉลี่ยของ COD = 305 mg/L, TKN = 123 mg/L, TP = 11.5 mg/L และ SS = 1568 mg/L สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวของน้ำออกมี Acetic acid = 4.2 mg/L, Propionic acid = 10.6 mg/L, Lactic acid = 28.3 mg/L, Butyric acid = 4.7 mg/L เหลืออยู่ในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำเข้าและแปลงหญ้าที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว พบว่า มีน้ำหนักหญ้า สารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมในดินมากกว่าแปลงหญ้าที่รับน้ำเสียดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังควรผ่านอย่างน้อยบ่อแอนแอโรบิกก่อนที่จะนำไปใช้เพื่อการเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2544

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

TAWEESEK UNGJAROENWONG : THE PERFORMANCES OF TAPIOCA-  
STARCH WASTEWATER TREATMENT USING ATTACHED-GROWTH  
ANAEROBIC POND AND EFFLUENT RECOVERY FOR AGRICULTURAL USE. :  
THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. CHONGCHIN POLPRASERT. Ph.D. 86 PP.  
ISBN 974-533-063-9

The overall aim of this study is to treat wastewater from Tapioca-Starch using attach-growth anaerobic pond and effluent recovery for agricultural use. The tapioca-starch wastewater used in the experiments had the following characteristics: COD = 11,023 mg/L, TKN = 170 mg/L, TP = 17.42 mg/L, SS = 2,997 mg/L, pH = 4.16, Acetic acid = 1217.8 mg/L, Propionic acid = 1745.7 mg/L, Lactic acid = 871.77 mg/L, Butyric acid = 3109.9 mg/L.

The experimental results showed that the effluent after attach-growth anaerobic pond contained the following characteristics: COD 305 mg/L, TKN 123 mg/L, TP 11.5 mg/L and SS 1568 mg/L. Organic matter found in the effluent could be characterized as Acetic acid = 4.2 mg/L, Propionic acid = 10.6 mg/L, Lactic acid = 28.3 mg/L, Butyric acid = 4.7 mg/L. which were very small compared to those of the influent. The grass grown on the land applied with the pond effluent had higher productivity with higher contents of nitrogen and phosphorus accumulated in the soil than did the grass grown with fresh tapioca-starch wastewater. This indicates that tapioca-starch wastewater should be treated, a last, using anaerobic pond, prior to agricultural use.

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2544

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

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคลต่างๆที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัยดังนี้

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- ดร.อุดมผล พิชน์ไพบูลย์ และ ดร.ธรรมรัตน์ คุณตะเทพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนทางการเงินในงานวิจัยนี้
- บุคลากรประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความสะดวกในทุกๆด้าน

- บริษัท เจ้าพระยาพีชไร้ จำกัด ที่ให้ความสะดวกในการเก็บน้ำเสียตัวอย่าง

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

ทวิศักดิ์ อึ้งเจริญวงศ์

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
<b>2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 แหล่งที่มาและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือจากโรงงานผลิต แป้งมันสำปะหลัง.....	4
2.2 ทฤษฎีการบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางชีววิทยา.....	6
2.3 ทฤษฎีฟิล์มจุลชีพ.....	7
2.4 บ่อแอนแอโรบิก.....	12
2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการกระจายบนดิน.....	14
2.6 ลักษณะการแปรเปลี่ยนของสิ่งเจ็ดปนในน้ำเสียของการบำบัดแบบกระจาย บนดิน.....	17
2.7 พีชคลุมดิน.....	21
<b>3 การดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>23</b>
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	23

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การดำเนินการวิจัย.....	24
3.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	24
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	24
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์น้ำและดิน .....	27
3.6 การศึกษาสารติดตาม.....	27
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
<b>4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล .....</b>	<b>30</b>
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้ง.....	30
4.2 ผลศึกษาสารติดตาม .....	30
4.3 ผลการทดลอง .....	32
4.3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD .....	32
4.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนโตรเจน .....	32
4.3.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าฟอสฟอรัส .....	37
4.3.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย .....	37
4.3.5 ค่า pH ของการทดลอง .....	40
4.3.6 ปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น .....	40
4.4 ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร .....	42
4.4.1 อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้า.....	45
4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว.....	46
4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร .....	53
<b>5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>58</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาสารติดตาม .....	64



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาน้ำ.....	66
ภาคผนวก ค ผลการศึกษาน้ำ.....	76
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบทางสถิติและผลการศึกษาดิน .....	83
ประวัติผู้เขียน .....	86

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่เป็นของแข็งจากมันสำปะหลัง ..... 3
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียจากเครื่องแยกของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ..... 6
2.3	ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในฟิล์มจุลชีพในถังปฏิกรณ์และที่ความหนาแน่นต่างๆ ..... 9
2.4	คุณสมบัติของตัวกลางยัดเกาะที่ใช้ในบ่อแอนแอรโรบิค ..... 15
3.1	ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง..... 27
3.2	วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ..... 28
3.3	วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน ..... 28
4.1	ผลวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้งเฉลี่ยของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ..... 31
4.2	การวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบ่อแอนแอรโรบิคแบบติดผิว..... 31
4.3	การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในบ่อแอนแอรโรบิคแบบติดผิว ..... 42
4.4	การวิเคราะห์ทางสถิติหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์..... 57

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	แผนภูมิแสดงการผลิตแป้งเกรดหนึ่ง..... 4
2.2	แผนภูมิแสดงการผลิตแป้งเกรดสอง ..... 5
2.3	การเจริญเติบโตของฟิล์มจุลชีพนบนผิวตัวกลา ..... 8
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $k_s$ และ $\mu_m$ ..... 10
2.5	กระบวนการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก ..... 13
2.6	ลักษณะของตัวกลางพลาสติกที่นำมาใช้ในบ่อแอนแอโรบิก ..... 15
2.7	ระบบอัตราการไหลช้า ..... 18
2.8	ระบบไหลซึมเร็ว..... 18
2.9	ระบบน้ำไหลนอง..... 18
2.10	วัฏจักรไนโตรเจนในดิน..... 20
3.1	รายละเอียดของการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรโดยตรง..... 25
3.2	รายละเอียดของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งเพื่อการเกษตร..... 26
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง NaCl กับ Time ..... 33
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การกำจัด COD กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ..... 34
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การกำจัด ไนโตรเจน กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ..... 35
4.4	การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ..... 36
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การกำจัด ฟอสฟอรัส กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ..... 38
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การกำจัด SS กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ..... 39
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การกำจัด ไนโตรเจนในดิน กับภาระบรรทุกไนโตรเจน ..... 43
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การกำจัด ฟอสฟอรัสในดิน กับ ภาระบรรทุกฟอสฟอรัส ..... 44
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหุ้ชาวน กับ ภาระชลศาสตร์(แปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว) ..... 47
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหุ้ชาสตาร์ กับ ภาระชลศาสตร์(แปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว)..... 48

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหญาฐูฐี กับ ภาวะชลศศศศ(แปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ).....	49
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหญาฐน กับ ภาวะชลศศศศ(แปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ) .....	50
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหญาฐศศศ กับ ภาวะชลศศศศ(แปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ) .....	51
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหญาฐูฐี กับ ภาวะชลศศศศ(แปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ).....	52
4.15 เปรลยเทียบหญาฐนที่รับที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ .....	54
4.16 เปรลยเทียบหญาฐศศศที่รับที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ .....	55
4.17 เปรลยเทียบหญาฐูฐีที่รับที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบตลศศศ .....	56

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคและปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากบ่อดก ตะกอน .....	43
4.11 ประสิทธิภาพของบ่อดกตะกอน.....	45
4.12 ความสัมพันธ์ของความขุ่นกับปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ในการก่อบ่อดกที่อัตราส่วน ต่างๆ.....	48
1ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:0 .....	72
2ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 4:1 .....	74
3ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 3:1 .....	76
4ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 2:1 .....	78
5ก ความสัมพันธ์ของแก๊สแต่ละชนิดและอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ที่อัตราส่วน 1:1 .....	80
1ค แบบเตาเผาขยะชุมชน ระบบบำบัดอากาศและน้ำ.....	103
2ค แบบบ่อดกตะกอน .....	104

### คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

BOD	=	Biochemical oxygen demand
COD	=	Chemical oxygen demand
TSS	=	Total suspended solids
TKN	=	Total kjeldahl nitrogen
TP	=	Total phosphorus
m/yr	=	Meter per year
kg COD/m <sup>2</sup> -d	=	Kilogram COD per meter square per day
kg	=	Kilogram
m <sup>3</sup>	=	Cubic meter
L/m <sup>3</sup>	=	Liter per cubic meter
m/s	=	Meter per second

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลังเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของไทยเนื่องจากสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดทั้งที่ใช้ในประเทศและเป็นสินค้าส่งออกนารายได้เข้าสู่ประเทศ สำหรับอุตสาหกรรมมันสำปะหลังในประเทศไทยแบ่งออกเป็น มันเส้น มันเม็ด และแป้งมัน ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันจากมันสำปะหลังจะมีการใช้น้ำเป็นปริมาณมากในกระบวนการผลิต และก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์และสารแขวนลอย (Suspended Solids) ปัจจุบันโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังทั่วประเทศมีประมาณ 100 โรงงาน ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบ่งเป็นเกรดหนึ่งและเกรดสอง โดยที่โรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานผลิตแป้งมันเกรดสอง ซึ่งสภาพการผลิต เครื่องมือ วิธีการและการบำรุงรักษาสถานที่ซึ่งขาดระบบการจัดการที่ดี ระบบการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ (บ่อแอนแอโรบิก) ประสิทธิภาพยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เรื่องผลกระทบจากกลิ่นที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย ปัญหาทางด้านการใช้พื้นที่สร้างบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นจำนวนมากเมื่อมีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นซึ่งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและประชาชนที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้น

จากปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานๆ ที่มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจและต้องสามารถรองรับน้ำในปริมาณมากได้ ในการศึกษานี้จะใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว (Anaerobic Attached-growth Pond) และการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรเป็นวิธีการที่อาศัยหลักการบำบัดทางธรรมชาติ โดยนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมาแล้วปล่อยน้ำเสียสู่แปลงหญ้าโดยตรง เปรียบเทียบกับการบำบัดขั้นต้นด้วยบ่อแอนแอโรบิกก่อน แล้วปล่อยน้ำที่ไหลล้นออกจากบ่อแอนแอโรบิกสู่แปลงหญ้า เพื่อเป็นการบำบัดคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเก็บเกี่ยวหญ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีกทั้งเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร
2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรเปรียบเทียบกับการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรโดยตรง
3. เพื่อศึกษาการย่อยสลายของกรดอินทรีย์ (Acetic, Propionic, Lactic และ Butyric acids) ที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่กล่าวถึงไว้ข้างต้นจึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

1. ทำการวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นดัชนีชี้วัดลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง COD, pH, TKN, TP และวิเคราะห์กรดอินทรีย์ (Acetic, Propionic, Lactic และ Butyric acids)
2. ทำการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น จากการย่อยสลายในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร เปรียบเทียบกับการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร โดยตรง โดยศึกษาหญ้า 3 ชนิด คือ หญ้าขน หญ้ารูซี่ และ หญ้าสตาร์
3. วิเคราะห์ปริมาณ N, P, pH และกรดอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินหลังการบำบัดน้ำเสีย
4. ศึกษาการใช้พื้นที่ปลูกหญ้าให้พอเพียงเพื่อรองรับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น
5. ศึกษาปริมาณผลผลิตหญ้าที่ได้ต่อปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้



## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

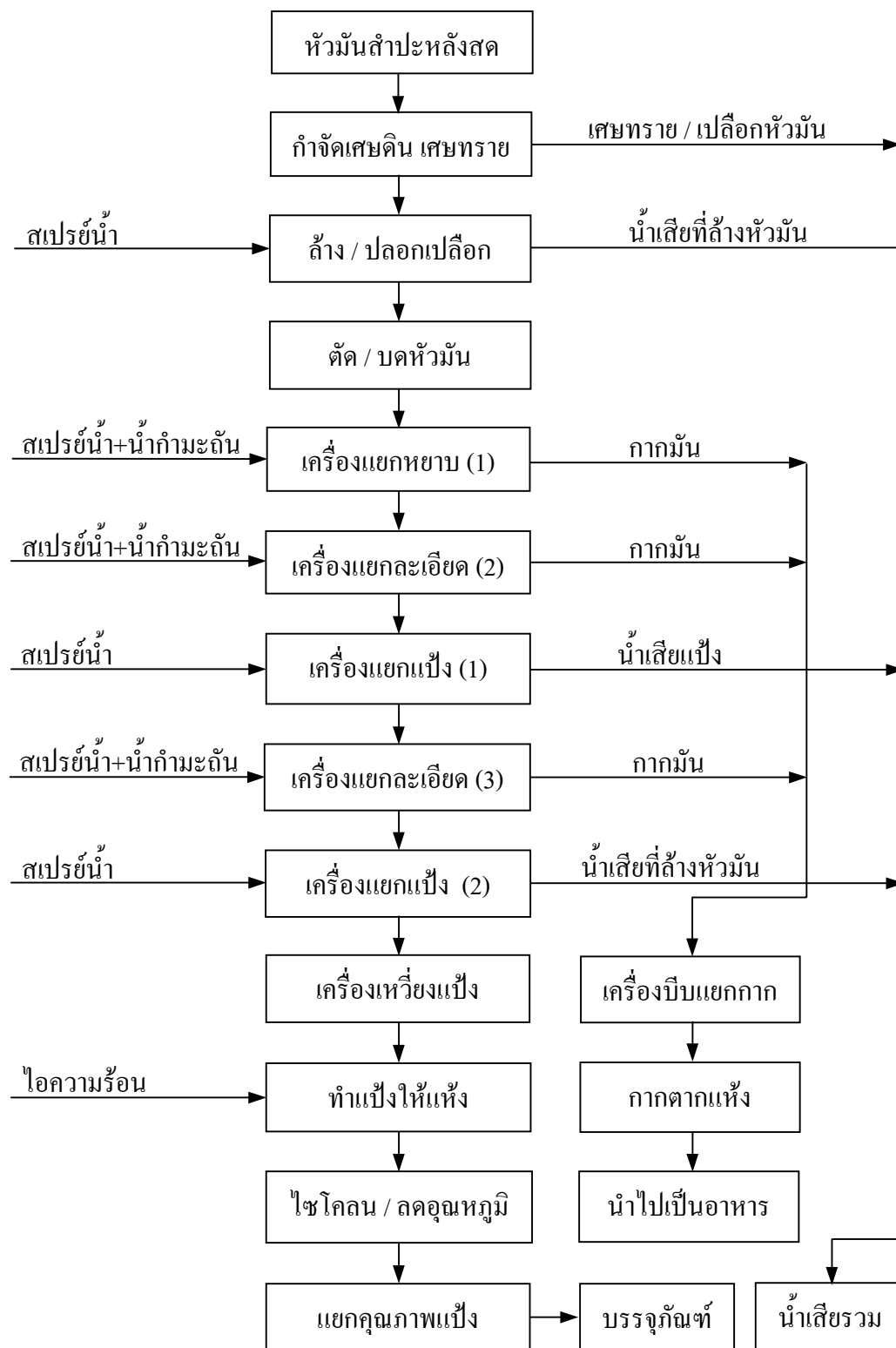
#### 2.1 แหล่งที่มาและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ในปัจจุบัน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังทั่วประเทศมีอยู่ประมาณ 100 โรงงานกรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นเกรดหนึ่งและเกรดสอง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ โดยที่การผลิตแป้งเกรดหนึ่งจะใช้เครื่องแยก (Separator) ในการแยกน้ำออกจากแป้ง จะได้น้ำเสียที่มีค่า COD 15,000-18,000 mg/L ส่วนแป้งเกรดสองจะใช้เครื่องดีแคนเตอร์ (Decanter) เป็นตัวแยกน้ำออกจากแป้ง ซึ่งจะได้น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงกว่าการผลิตแป้งเกรดหนึ่ง มีค่า COD 25,000-40,000 mg/L (Tanticharoen and Bhumirattana, 1986) มีวัสดุเศษเหลือในรูปของแข็ง (Cassava Solid Waste, CSW) และน้ำทิ้ง (Effluents) องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 2.1 ในรูปของแข็งนั้น มีการนำเศษมันสำปะหลังไปตากแห้งใช้เป็นอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนต่ำ น้ำทิ้งได้จากน้ำที่ล้างรากมันสำปะหลังและจากสารละลายส่วนใส (Supernatant) ในขั้นตอนการแยกและจากขั้นตอนการตกตะกอนจะได้น้ำทิ้งจาก 4 แหล่ง ได้แก่ น้ำล้างมันสำปะหลัง น้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ (ต่อด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องแยก) น้ำทิ้งจากเครื่องแยก 1 และ 2 และน้ำทิ้งรวม องค์ประกอบของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องแยกแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากมันสำปะหลัง

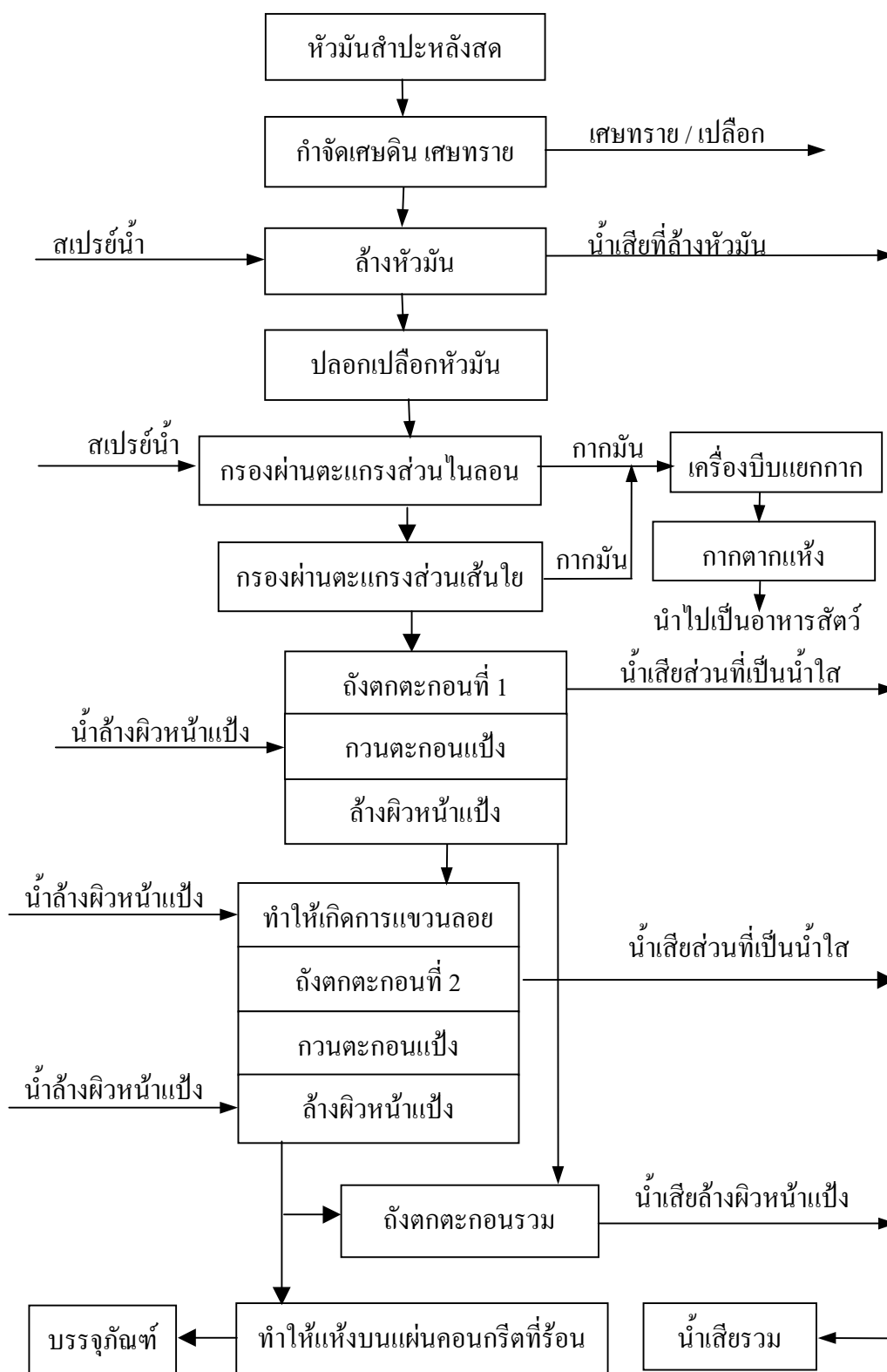
องค์ประกอบทางเคมี	ความเข้มข้น
เปอร์เซ็นต์แป้ง (%)	59.8
ไนโตรเจน (N, mg/g น้ำหนักแห้ง)	0.3
ความชื้น (%)	9.3
แมกเนเซียม (Mg, mg/g น้ำหนักแห้ง)	1.1
เหล็ก (Fe, mg/g น้ำหนักแห้ง)	0.16
สังกะสี (Zn, mg/g น้ำหนักแห้ง)	0.02
แมงกานีส (Mn, mg/g น้ำหนักแห้ง)	0.004
ทองแดง (Cu, mg/g น้ำหนักแห้ง)	0.004

ที่มา : Naparatnaraporn (1987)



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิแสดงการผลิตแป้งเกรดหนึ่ง

ที่มา : Tanticharoen and Bhumirattana (1987)



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิแสดงการผลิตแป้งเกรดสอง

ที่มา : Tanticharoen and Bhumirattana (1987)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียจากเครื่องแยกของโรงงานแปรงมันสำปะหลัง

ตัวแปร	เครื่องแยก*	เครื่องแยก 1	เครื่องแยก 2
พีเอช, pH	4.5-6	6-6.2	6
ซีโอดี, COD (g/L)	3.2-16.7	16-17	5.2-5.3
ไนโตรเจนทั้งหมด, (mg/L)	40-170	240-270	72-73
โปรตีนที่ละลายน้ำได้, (mg/L)	1-3	0-1	0-0.3
แป้ง, (g/L)	10-17	9-22	8-22
CN, (mg/L)	0-13	0-2	0
แคลเซียม, Ca (mg/L)	33-36	10-520	0-450
แมกเนเซียม, Mg (mg/L)	0-850	0-600	0-476
แมงกานีส, Mn (mg/L)	0-16	1-25	0-11
เหล็ก, Fe (mg/L)	0-0.5	0-3	0-1

\* กระบวนการแยกด้วยเครื่องดีแคนเตอร์

ที่มา : Naparatnaraporn (1987)

## 2.2 ทฤษฎีการบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางชีววิทยา

การบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางชีววิทยาเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่อยู่ในรูปสารละลายและอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้จุลินทรีย์ไปทำลายสารอินทรีย์เหล่านั้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมีชีวภาพ กระบวนการนี้ต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมของน้ำทิ้งให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการกำจัดแบคทีเรียในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบกำจัดเนื่องจากสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นมวลของแบคทีเรีย ดังนั้นเมื่อแบคทีเรียเจริญมากขึ้นจึงจำเป็นต้องกำจัดออกมิฉะนั้นมวลของสารอินทรีย์จะลดลงไม่มากเนื่องจากแบคทีเรียก็เป็นสารอินทรีย์เช่นกัน กระบวนการทางชีววิทยาแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ กระบวนการแอโรบิก และ แอนแอโรบิก (เกรียงศักดิ์, 2543)

**กระบวนการแอโรบิก** การบำบัดแบบนี้ น้ำทิ้งจะต้องมีออกซิเจนละลายอยู่อย่างทั่วถึงซึ่งทำให้การทำงานของแบคทีเรียเป็นไปอย่างรวดเร็วสิ่งที่ได้จากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะฉะนั้น กระบวนการนี้มักจะไม่มีกลิ่นเหม็น และเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีกากตะกอนเกิดขึ้นได้มาก ดังนั้น เราจึงต้องมีระบบกำจัดกากตะกอนด้วย

**กระบวนการแอนแอโรบิก** การบำบัดแบบนี้ไม่ต้องการออกซิเจนเลยเหมาะสำหรับประเทศเขตร้อน เนื่องจากการบำบัดแบบนี้ต้องการอุณหภูมิค่อนข้างสูง หลักการทำงานของระบบและสภาพที่เหมาะสมของแอนแอโรบิกคือ

1. ไม่ต้องการออกซิเจน สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณ 80-90% กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่นำไปใช้สร้างเซลล์นั้นน้อยมาก ดังนั้นปัญหาเกี่ยวกับกากตะกอนจึงน้อยมาก

2. ปริมาณอาหารเสริมสร้างต้องการน้อยกว่าระบบแอโรบิกมากเพราะการเติบโตของแบคทีเรียอยู่ในขั้นต่ำ โดยทั่วไปต้องการธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ในอัตราส่วน 11% และ 2% ของปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้น

3. pH ช่วงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6 ถึง 7.6 หากค่า pH สูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง ที่ pH ต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเพราะความเป็นกรดจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

4. ในระบบกำจัดต้องไม่มีสารเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้แก่สารประกอบพวกโลหะเช่น โครเมียม โปตัสเซียม และแคลเซียม เป็นต้น

5. ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิต ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

6. อุณหภูมิ การบำบัดแบบนี้เกิดได้ดีที่สุด 2 ช่วง คือ

- ช่วงเมโซฟิลิก Mesophilic (30 - 38 °C)

- ช่วงเทอร์โมฟิลิก Thermophilic (48 - 57 °C)

7. ปฏิกิริยาริยาที่เกิดขึ้นมี 2 ช่วงคือ

อินทรีย์ซับซ้อน  $\xrightarrow{\text{แบคทีเรียสร้างกรด}}$  กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์  $\xrightarrow{\text{แบคทีเรียสร้างมีเทน}}$  มีเทน + CO<sub>2</sub>

## 2.3 ทฤษฎีฟิล์มจุลชีพ

การเกิดฟิล์มตรึงฟิล์มจุลชีพเกิดจากการยึดเกาะของจุลินทรีย์บนตัวกลาง แล้วเจริญเติบโตเป็นฟิล์มจุลชีพขึ้น กระบวนการเกิดฟิล์มจุลชีพแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 2.3)

1. การดูดซับสารอินทรีย์บนผิวตัวกลาง

2. การเคลื่อนตัวของจุลินทรีย์ไปยังผิวตัวกลาง

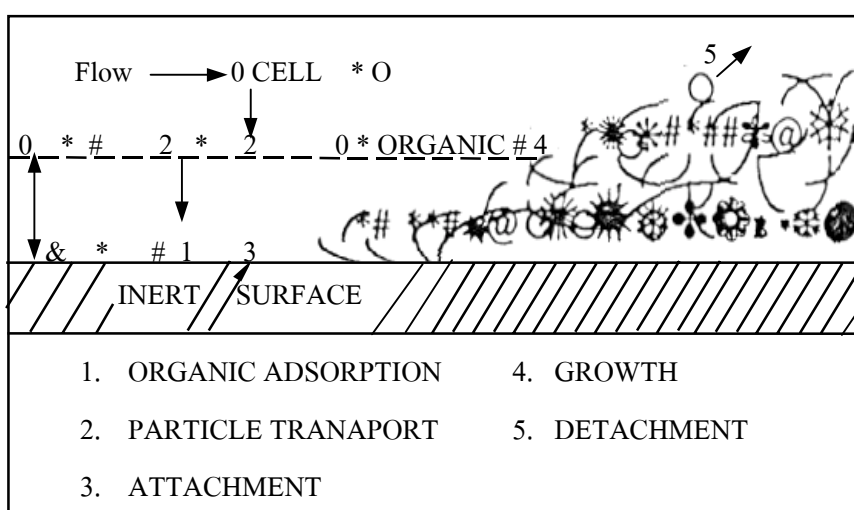
3. การยึดเกาะของจุลินทรีย์บนผิวตัวกลาง

4. การแบ่งตัวและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบนผิวตัวกลาง

## 5. การหลุดลอกของผิวตัวกลางบนแผ่นฟิล์มจุลชีพและการสร้างแผ่นฟิล์มจุลชีพขึ้นใหม่

**องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มจุลชีพ** ฟิล์มจุลชีพประกอบด้วยน้ำสูงถึง 87-96% โดยน้ำหนักและมีของแข็งระเหย (Volatile solids) ต่ำประมาณ 1.9-3.2% ส่วนประกอบทางเคมีสามารถเขียนเป็นสูตรทางเคมีได้เป็น  $C_5H_7O_2N$  นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณน้อย ได้แก่ แคลเซียม แมกเนเซียม และเหล็ก เป็นต้น โดยปริมาณสารอินทรีย์เหล่านี้ในฟิล์มจุลชีพขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

**การเกาะและการหลุดของฟิล์มจุลชีพ** ฟิล์มจุลชีพประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะแบคทีเรียที่มีความสำคัญมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งแบคทีเรียที่อยู่ในฟิล์มจุลชีพมี 2 ประเภทตามความลึกของแผ่นฟิล์ม คือที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นฟิล์มเป็นกลุ่ม Gram - negative bacteria และถัดเข้าไปเป็นกลุ่ม filamentous bacteria การยึดเกาะผิวตัวกลาง แบคทีเรียจะใช้เส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากที่เรียกว่า Glycocalyx ซึ่งเป็นสารพวก Polysaccharides ขึ้นมารอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับกับเส้นใยของเซลล์อื่น ทำให้แบคทีเรียเหล่านี้สามารถเกาะยึดติดหนาเป็นแผ่นฟิล์มจุลชีพได้ การหลุดลอกของฟิล์มจุลชีพขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความเร็วของน้ำไหลผ่าน และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ Rittman (1989) ได้ทำการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการหลุดลอกของฟิล์มจุลชีพแปรเปลี่ยนโดยตรงกับความเร็วรอบของจานชีวภาพ ส่วนความหนาของฟิล์มจุลชีพจะแปรผกผันกับความเร็วรอบ



ภาพที่ 2.3 การเจริญเติบโตของฟิล์มจุลชีพบนผิวตัวกลาง

ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ เนื่องจากฟิล์มจุลชีพประกอบด้วยน้ำสูงถึง 87-90% และเซลล์จุลินทรีย์ยังประกอบด้วยน้ำสูงถึง 90% ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของฟิล์มจุลชีพจึงใกล้เคียงกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์สามารถวัดเป็นจำนวนหรือน้ำหนักแห้ง ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ความเร็วน้ำไหลผ่าน อัตราภาระอินทรีย์ (Organic loading rate) อุณหภูมิ และความหนาของฟิล์มจุลชีพ นอกจากนี้ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ยังขึ้นอยู่กับถึงปฏิกิริยาที่ใช้และความหนาแน่นของฟิล์มจุลชีพดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในฟิล์มจุลชีพในถังปฏิกิริยาและที่ความหนาต่างๆ

Density mg TSS/ml	Bioslimes Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Type of reactor	References
90	<300	Rotating annular Submerged drum	Konegay & Andrews (1970)
37.5	100-3,800	Rotating tube	Tomlinson & Snaddon (1966)
111	200, >200	Rotating cylinder	Hoehn & Ray (1973)
669	26-183	Submerged- packed column	Namkung et al (1983)

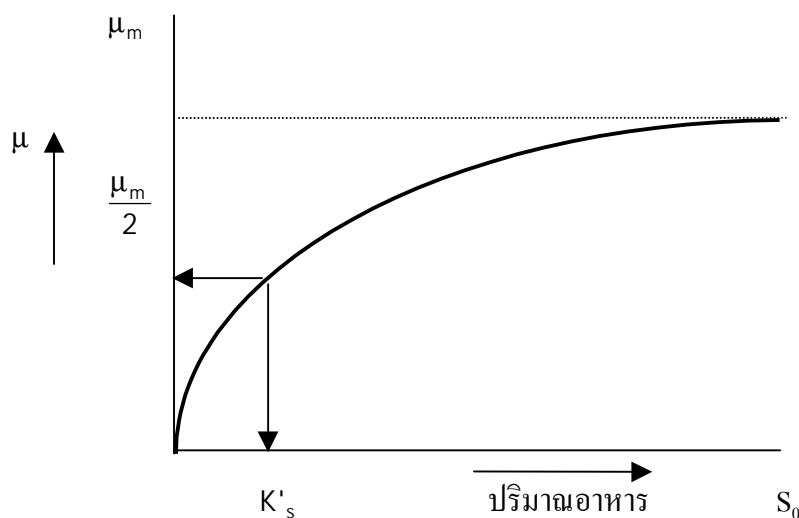
ที่มา : สุเมธ (2530)

กลไกการเจริญเติบโต โดยพื้นฐานแล้วแบบจำลองส่วนมากจะพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาฟิล์มจุลชีพซึ่งนำไปใช้ในสมการของ Monod (Gaudy et al, 1976 and 1973; Konegay and Andrews, 1969; Williamson and McCarty, 1975; La Motta, 1976). La Motta (1976) ได้เสนอสมการ Monod ดังสมการที่ 2.1 และภาพที่ 2.4 เพื่อใช้กับระบบฟิล์มจุลชีพซึ่งมีสิ่งมีชีวิตสายพันธุ์เดียวกันและหลายสายพันธุ์

$$\mu = \mu_m \frac{S_o}{K'_s + S_o} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \mu &= \text{อัตราการขจัดสารอินทรีย์, } d^{-1} \\ \mu_m &= \text{อัตราการขจัดสารอินทรีย์สูงสุด, } d^{-1} \\ S_o &= \text{ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์, } mg/L \\ K'_s &= \text{ความเข้มข้นสารอินทรีย์ เมื่อ } \mu = 1/2 \mu_m, mg/L \end{aligned}$$



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $k_s$  และ  $\mu_m$

สารอาหาร กรณีของฟิล์มจุลชีพแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาโดยรวมของสารอาหารที่ได้รับ มีผลต่อฟิล์มจุลชีพ (Hartmann, 1967; Hoen and Ray, 1973; Kobayashi et al, 1973; Siegrist and Gujer, 1985) สมมุติว่าการถ่ายเทมวลสารเข้าสู่ผิวฟิล์มจุลชีพเป็นตัวควบคุมอัตราการกำจัดสารอาหาร (Williamson and McCarty, 1976) ฟลักซ์ของสารอาหารเทียบกับชั้นฟิล์มจุลชีพที่เกิดการแพร่กระจายดังสมการที่ 2.2

$$J = A_s D_i \frac{\partial S}{\partial Z} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} J &= \text{ฟลักซ์ของสารอาหาร, mg/d} \\ A_s &= \text{พื้นที่ผิว, m}^2 \\ D_i &= \text{การแพร่กระจายของโมเลกุล, m}^2/\text{d} \\ S &= \text{ความเข้มข้นของสารอาหาร, mg/L} \end{aligned}$$

ภายในฟิล์มจุลชีพสารอาหารที่เป็นประโยชน์ที่จุดต่างๆสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ Monod ดังสมการที่ 2.3

$$\left(\frac{\partial S_f}{\partial t}\right)_{rx} = -\frac{K_m S_f X_f}{K_s + S_f} \quad (2.3)$$



เมื่อ

$\partial S_f$	=	ความเข้มข้นของสารอาหารในฟิล์มจุลชีพ, mg/L
$K_s$	=	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ เมื่อ $\mu = 1/2 \mu_m$ , mg/L
$K_m$	=	อัตราของสารอาหารในฟิล์มจุลชีพมากที่สุด, d <sup>-1</sup>
$X_f$	=	ความเข้มข้นของแบคทีเรียในฟิล์มจุลชีพ, mg/L
$rx$	=	ปฏิกิริยา

การแพร่ของโมเลกุลในฟิล์มจุลชีพซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของสารอาหาร โดยความสัมพันธ์ของกฎข้อที่สองของ Fick's ดังสมการที่ 2.4

$$\left(\frac{\partial S_f}{\partial t}\right) dif = D_f \frac{\partial^2 S_f}{\partial Z^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ

$D_f$	=	การแพร่กระจายของโมเลกุลในฟิล์มจุลชีพ, m <sup>2</sup> /d
$dif$	=	การแพร่กระจาย

สมการที่ 2.3 และ 2.4 แสดงผลรวมของ  $\partial S_f / \partial t$  ที่จุดต่างๆของฟิล์มจุลชีพสมมติว่าความเข้มข้นของสารอาหารมีสถานะคงที่ที่  $\partial S_f / \partial t = 0$  ซึ่งจะให้สมการพื้นฐานสำหรับความเข้มข้นของสารอาหารภายในฟิล์มจุลชีพดังสมการที่ 2.5

$$D_f \frac{\partial^2 S_f}{\partial Z^2} = \frac{K_m S_f X_f}{K_s + S_f} \quad (2.5)$$

ความซับซ้อนของสมการข้างต้นคือสมการจะอยู่ในรูปของอนุพันธ์อันดับสองซึ่งจะไม่ใช่สมการเส้นตรงและไม่สามารถแก้สมการได้และการที่มีค่าการถ่ายเทมวลสารและกลไกของฟิล์มจุลชีพในสมการยิ่งเพิ่มความซับซ้อน (Rittman and McCarty, 1978). นักวิจัยบางคนได้เสนอวิธีการแก้สมการ 2.5 โดยลดความสัมพันธ์ของ Monod ให้อยู่ในรูปอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอนุพันธ์อันดับศูนย์ เนื่องจากความซับซ้อนของแบบจำลองการแพร่ของฟิล์มจุลชีพไม่สามารถพัฒนาให้ง่ายขึ้นได้ ดังสมการที่ 2.2 ถึง 2.5 สมการอย่างง่ายของฟิล์มจุลชีพ จึงนำมาพัฒนาโดยอาศัยแบบจำลองฟิล์มจุลชีพของ (Eckfelder's, 2000) Bruce and Merkens (1973) ได้เสนอสมการการกำจัด COD ในบ่อแอนแอโรบิกแบบคิดผิวดังสมการที่ 2.6

$$\frac{S}{S_0} = \exp[-kS_a^b \left(\frac{Q}{\beta V}\right)^{-c}] \quad (2.6)$$

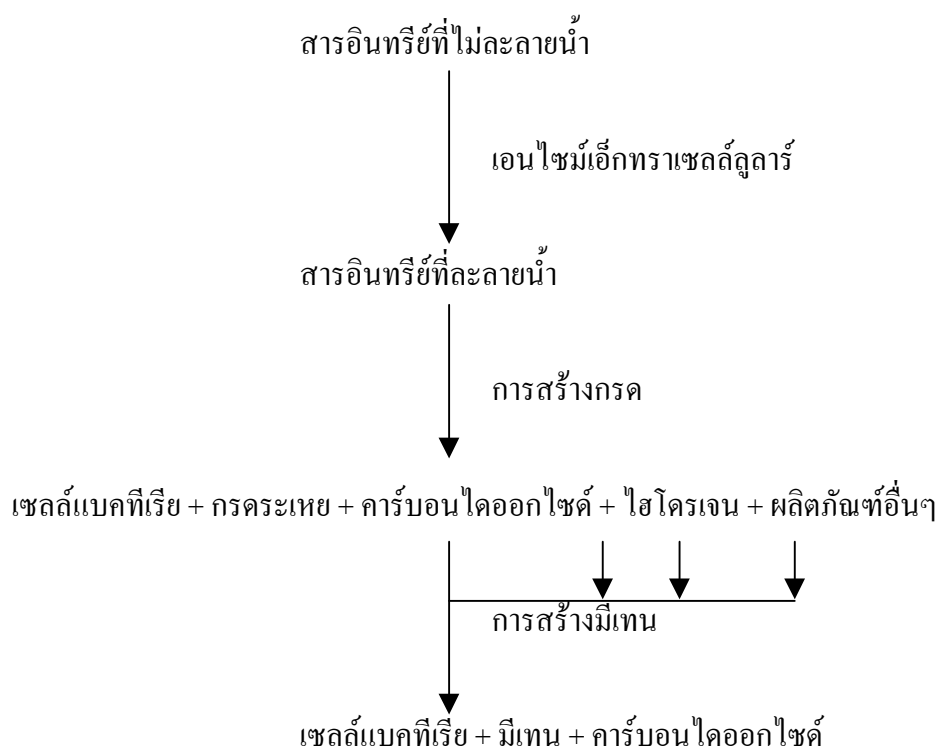
เมื่อ

$S_0$	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์น้ำเข้า, mg/L
$S$	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์น้ำออก, mg/L
$S_a$	=	พื้นที่ตัวกลางต่อปริมาตร, $m^2/m^3$
$Q$	=	อัตราการไหลของน้ำเข้า, $m^3/d$
$V$	=	ปริมาตรของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว, $m^3$
$\beta$	=	ปริมาตรของตัวกลางในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว
$b, c, k$	=	ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

## 2.4 บ่อแอนแอโรบิก

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2538) ได้ให้คำจำกัดความของ "บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond)" คือบ่อที่พักน้ำทิ้งไว้เป็นเวลานานพอที่สารถูกย่อยสลายได้ตกตะกอนอยู่ที่ก้นบ่อ ในบ่อแอนแอโรบิกนี้ออกซิเจนที่ละลายอยู่โดยปกติมีค่าเป็นศูนย์ตลอดความลึกของบ่อ การลดปริมาณ BOD สังเกตได้จากปริมาณการลดของสารแขวนลอย กระบวนการลด BOD ของน้ำทิ้งในบ่อแอนแอโรบิกเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ตอนใหญ่ ๆ คือ กระบวนการตกตะกอน และกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบแอนแอโรบิกซึ่งกระบวนการหลังนี้มีอยู่ 3 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2.5

**บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว (Attached Growth Media)** ตัวกลางยึดเกาะที่ใส่ลงไปบ่อจะเป็นส่วนที่ให้พื้นที่ผิวแก่จุลินทรีย์ได้เกาะติดและเจริญเติบโตเป็นแผ่นเยื่อเมือก (Shin and Polprasert, 1987) ส่งผลให้แบคทีเรียอยู่ในระบบได้นาน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และยังช่วยในการกระจายการไหลของน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียสัมผัสกับตะกอนแบคทีเรียอย่างทั่วถึงโดยไม่เกิดการไหลลัดวงจรแม้จะไม่มีกวนก็ตาม จากการศึกษาของ ศิราภรณ์ (2536) ใช้พลาสติกจากจุกขวดน้ำปาลามาเป็นตัวกลางยึดเกาะในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีและปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 85-94 และ 91-97 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนที่ไม่มีการใช้ตัวกลาง ศุภเกียรติ (2536) พบว่าการใช้พลาสติกม้วนผมเป็นวัสดุตัวกลางในระบบไบโอรีแอกเตอร์แบบปริมาณแปรเปลี่ยนใน



ภาพที่ 2.5 กระบวนการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก

การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ COD ในช่วง 74.6-174.7 mg/L โดยจะให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD อยู่ในช่วง 83.2-91.0 % ลักษณะของตัวกลางยัดเกาะ ควรเป็นวัสดุที่ให้พื้นที่ผิวแก่จุลินทรีย์ได้เจริญเติบโตมาก มีราคาถูก ทนทาน มีอายุการใช้งานยาวนาน โดยสามารถให้น้ำเสียในบ่อบำบัดไหลผ่านบริเวณหน้าผิวจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ทั่วถึง และมีช่องว่างให้เชื้อเมือกที่หนามากหลุดออกและไหลผ่านไปได้ออกได้ง่าย นอกจากนี้ต้องมีสภาพเนื้อทางชีววิทยา เช่น ไม่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และต้องมีคุณสมบัติคงที่ทางเคมีและทางกล

วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลางยัดเกาะ อาจได้มาจากธรรมชาติโดยทั่วไป เช่น หิน กรวด เซรามิก หรือทำขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก พีวีซี เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้ตัวกลางต่างชนิดกันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบต่างกันไป ผิวของตัวกลางก็มีอิทธิพลต่อการเกาะติดหรือแขวนลอยในช่องว่างของตัวกลาง เช่น แบคทีเรียจะเกาะติดซังข้าวโพดได้ดีกว่าหินหรือตัวกลางที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ นอกจากนี้ประสิทธิภาพการบำบัดยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางอีกด้วย ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดมาก และสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์และมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบตัวหนึ่งคือขนาดของตัวกลางและความหนาของชั้นจุลินทรีย์ที่หุ้มเกาะตัวกลางอยู่ ความหนาแน่นหรือปริมาณของตัวกลางก็มีส่วนในการ

ผลิตมวลจุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการเลือกตัวกลางมาใช้ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดความประหัย การมีพื้นที่ผิวมากเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ โดยในการศึกษาครั้งนี้ตัวกลางที่เลือกใช้เป็นตัวกลางพลาสติกสำเร็จรูปที่มีขายโดยทั่วไปในท้องตลาดมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.4 (ภาพที่ 2.6)

Uddin (1970) พบว่าภาระบรรทุกและพีเอชมีความสำคัญต่อการบำบัด BOD โดยภาระบรรทุกที่เหมาะสมที่ 6720 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์-วัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน และที่มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD ดีที่สุดที่ BOD มากกว่า 6000 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์-วัน และที่พีเอชน้อยกว่า 6 จะเกิดกรกระเหยมมาก ส่วนบ่อแอนแอโรบิกที่ 2 และที่ 3 ให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าบ่อแรกมาก Shin (1987) พบว่าระยะเวลาเก็บกักที่ 5 วัน, ภาระบรรทุกที่ 100 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์-วัน, มีปริมาณของตัวกลางที่ 10% ของปริมาตรบ่อ มีประสิทธิภาพการบำบัด COD ได้ 82% และการบำบัดไนโตรเจนฟอสฟอรัส มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัวกลางที่เพิ่มขึ้น Chatsanguthai (1986) พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 4 และระยะเวลาเก็บกักที่ 4-10 วัน ไม่มีผลกระทบต่อการจัดสรรแวนลอยและเมื่อเพิ่มภาระบรรทุกจาก 2.76 ไปเป็น 5.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ที่พีเอช 7 ทำให้เกิดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น 5.85 % เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้น 34.38 % และที่พีเอช 4 เกิดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น 17.39 % เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้น 17.39 % และที่พีเอช 9 ไม่พบไฮโดรเจนซัลไฟด์

## 2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีกระจายบนดิน

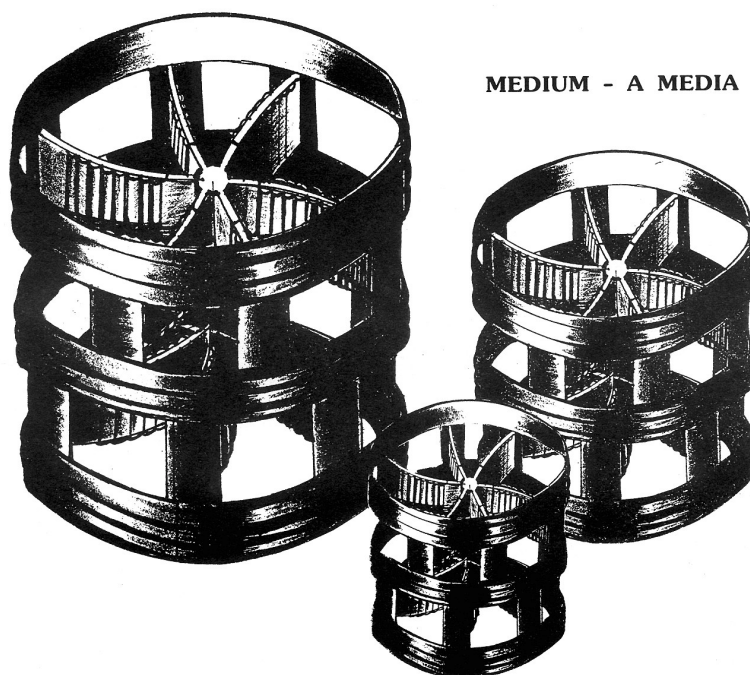
ระบบการกระจายบนดินเป็นระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการธรรมชาติ ทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมของดินและน้ำ โดยการระบายน้ำเสียลงบนพื้นที่ต่างๆ เช่น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ได้ใช้ทำกิจกรรมใดๆ เป็นต้น ซึ่งวิธีการนี้นับว่าเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายน้อย เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องกลและสารเคมี หากน้ำเสียมีสิ่งเจือปนที่เป็นแร่ธาตุอาหารและสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อระบายลงสู่ดินก็จะเปรียบเสมือนใส่ปุ๋ยให้แก่ดิน แต่หากเป็นน้ำเสียอุตสาหกรรม อาจมีสารพิษต้องระมัดระวังเพราะอาจส่งผลต่อการเจริญงอกงามของพืช และข้อเสียอีกประการหนึ่งคือต้องใช้พื้นที่มาก ในการบำบัดน้ำเสียวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินที่ใช้กันมีอยู่ 3 วิธี คือ (สุวสา กานตวนิชกูร, 2538)

**ระบบอัตราการไหลช้า (Slow - Rate System)** หลักการคือการรดน้ำแล้วปล่อยให้ น้ำไหลซึมลงดินและปล่อยให้เกิดการคายน้ำออกโดยทั่วไปก่อนที่จะนำน้ำเสียมาทำการบำบัดด้วยวิธีนี้จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงบริเวณที่จะทำการบำบัดว่าอยู่ใกล้ชุมชนเพียงใด และต้องพิจารณาถึงลักษณะ

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของตัวกลางยัดเกาะที่ใช้ในบ่อแอนแอโรบิก

พารามิเตอร์	คุณลักษณะ	หน่วย
พื้นที่ผิว (Surface area)	102	ตร.ม./ลบ.ม.
ช่องว่าง (Void)	95	เปอร์เซ็นต์
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	0.95	-
วัสดุ (Material)	POLYETHYLENE	PE
ขนาดมาตรฐาน (Standard Size)		
เส้นผ่าศูนย์กลาง	90	มม.
สูง	90	มม.
ปริมาณ (Quantity)	1200	ชิ้น/ลบ.ม.
น้ำหนัก (Bulk Density)	60	กก./ลบ.ม.

**BIG - BIOMEDIA**



**SMALL - A MEDIA**

ภาพที่ 2.6 ลักษณะของตัวกลางพลาสติกที่นำมาใช้ในบ่อแอนแอโรบิก

ของน้ำเสียและความสามารถของพื้นที่ที่จะรองรับน้ำเสียด้วย ระบบอัตราการไหลช้านี้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ให้น้ำโดยคำนึงถึงการรับน้ำของดิน และให้น้ำโดยคำนึงถึงพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตจากพืช พืชที่ใช้ในระบบอัตราการไหลช้าควรมีคุณสมบัติในการดูดซึมอาหารจากน้ำได้มาก และพืชจะต้องทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำเสีย ความเป็นด่างและความเค็มของดิน เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียโดยระบบอัตราการไหลช้าสามารถกำจัด BOD และ SS มากกว่า 90% กำจัดไนโตรเจนได้ 50-95% กำจัดฟอสฟอรัสได้ 80-99% และฟีคอลโคลิฟอร์มมากกว่า 99.9% ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ระยะเมตรแรกจากผิวดินนั้น กลไกการกำจัดประกอบด้วย การกรอง การดูดซึม การแลกเปลี่ยนประจุ และการใช้โดยพืช

**ระบบอัตราการไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration System)** หลักการคือปล่อยให้ น้ำถูกกรองโดยชั้นดิน โดยให้น้ำซึมผ่านดินอย่างรวดเร็ว ระบบนี้จะไม่ใช้พืชช่วยในการบำบัด ดังนั้นการออกแบบระบบนี้ ควรคำนึงถึงว่าน้ำใต้ดินต้องไม่เค็มหรือมีสารเจือปนมาก โดยที่การบำบัดด้วยระบบนี้จะขึ้นอยู่กับ การไหลของน้ำใต้ดิน การปล่อยน้ำที่ผิวดิน คุณสมบัติของดิน และความเร็วในการปล่อยน้ำ ระบบอัตราการไหลซึมเร็ว จะมีประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงกว้างขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่และลักษณะของน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบอัตราการไหลซึมเร็วสามารถกำจัด BOD โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ SS จะถูกกำจัดได้เกือบสมบูรณ์ กำจัดไนโตรเจนได้ 50% กำจัดฟอสฟอรัสได้ 70-95% ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ซึ่งมีผลต่อการกักตัวของฟอสฟอรัส

**ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow System)** หลักการคือปล่อยให้ น้ำถูกกรองโดยชั้นดิน และให้น้ำไหลผ่านพื้นที่ที่มีการปลูกพืชและมีความลาดพอเหมาะ ซึ่งมักจะใช้สำหรับพื้นที่ๆน้ำซึมผ่านยาก โดยการปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านหน้าดิน พืชที่ใช้ในระบบนี้ควรมีลักษณะ คือควรมีความทนทานสูง สามารถรับอาหารจากน้ำเสียได้ และเป็นพืชที่ปลูกได้อย่างหนาแน่นและมีระเบียบ เพื่อป้องกันการกัดเซาะและช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ดี การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบน้ำไหลนองสามารถกำจัด BOD และ SS ได้ถึง 95-99% กำจัดไนโตรเจนได้ 70-90% กำจัดฟอสฟอรัสได้ 50-60% ปฏิบัติการออกซิเดชันทางชีววิทยาและการตกตะกอนและการกรองในชั้นพืชเป็นกลไกขั้นต้นในการกำจัดสารอินทรีย์และสารแขวนลอย กลไกการกำจัดไนโตรเจนเกิดจากการใช้โดยพืช และสิ่งมีชีวิตอื่นๆตลอดจนกระบวนการไนตริฟิเคชันและออกซิเดชันในดิน ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยการดูดซึมและตกตะกอน

ในสหรัฐอเมริกามีการนำน้ำเสียจากโรงงานแป่งข้าวโพดมาบำบัด ด้วยระบบที่ไม่มีน้ำไหล

ออกจากพื้นที่ที่เพาะปลูก โดยจะนำน้ำเสียมาปล่อยลงบนพื้นที่ที่เพาะปลูกซึ่งมีพื้นที่ 500 เอเคอร์ พบว่าพืชมีการเจริญเติบโตได้ดี อุดมผล (2544) พบว่าต้นหญ้ามาเลย์สามารถนำอินทรีย์สารในน้ำเสียและแร่ธาตุอาหารที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตและยังเป็นการลดค่าความสกปรกของน้ำทิ้งหลังการบำบัด เสนีย์ (2543) พบว่าผลผลิตโดยเฉลี่ยของข้าวที่ปลูกโดยใช้น้ำทิ้งมีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อใช้น้ำบาดาลและดอกแอสเตอร์ในแปลงที่ใช้น้ำบาดาลมีน้ำซึมที่มีค่า BOD และไนโตรเจน สูงกว่าแปลงที่ใช้น้ำทิ้งกว่า 1 เท่าตัว

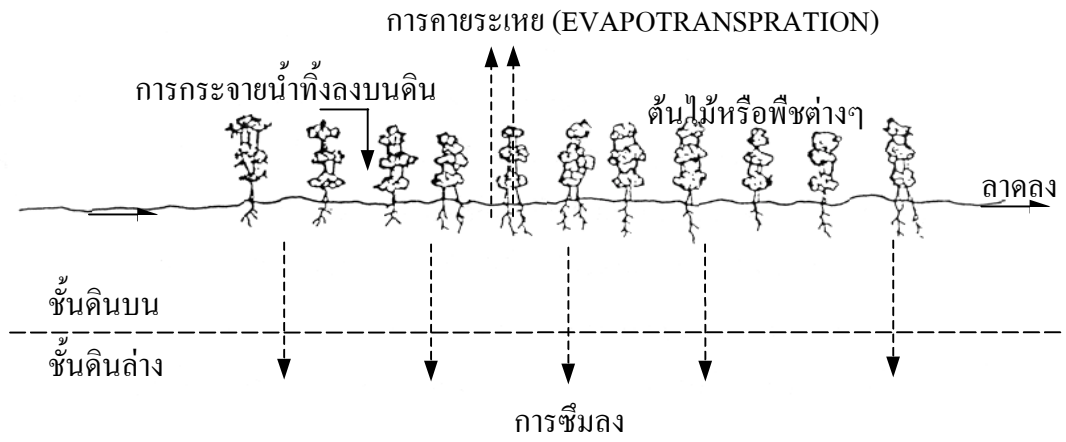
## 2.6 ลักษณะการแปรเปลี่ยนของสิ่งเจือปนในน้ำเสียของการบำบัดแบบกระจายบนดิน

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการธรรมชาติ ทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมของดินและน้ำ โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียนี้สามารถแยกหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียได้ในระดับหนึ่งซึ่งสิ่งปนเปื้อนในที่นี้ ได้แก่ ของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและธาตุอื่น ๆ เป็นต้น

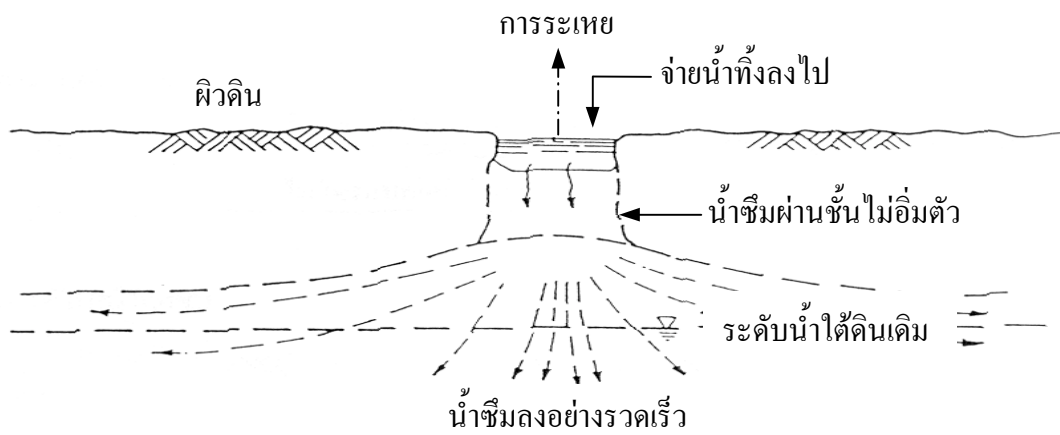
**ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)** ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ไหลผ่านชั้นดินสามารถถูกกำจัดหรือแยกออกมาน้ำเสียได้ไม่ยากโดยอาศัยการตกตะกอน การกรองผ่านชั้นดินหรือการกรองผ่านรากพืชต่างๆพบว่าน้ำเสียมักจะไปอุดตันบริเวณผิวชั้นบนของพื้นที่ ดังนั้นควรจะต้องออกแบบให้ระบบสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้มากที่สุด

**สารอินทรีย์ (Organic matters)** สารอินทรีย์ในน้ำเสียจำเป็นต้องถูกกำจัดออกซึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ สามารถกำจัดได้โดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอโรบิกคือพวกจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามผิวเม็ดดินที่ระดับความลึกต่างๆจะอาศัยออกซิเจนจากบรรยากาศดำรงชีวิตอยู่ได้และจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นส่วนประกอบของเซลล์ สารอินทรีย์พวกที่มีโมเลกุลขนาดเล็กก็จะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์ได้โดยตรง ส่วนพวกที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โพลีเมอร์ต่างๆ ต้องถูกไฮโดรไลซ์เสียก่อน เพื่อให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กทั้งนี้ โดยอาศัยเอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเซลล์จึงดูดซึมผ่านผนัง

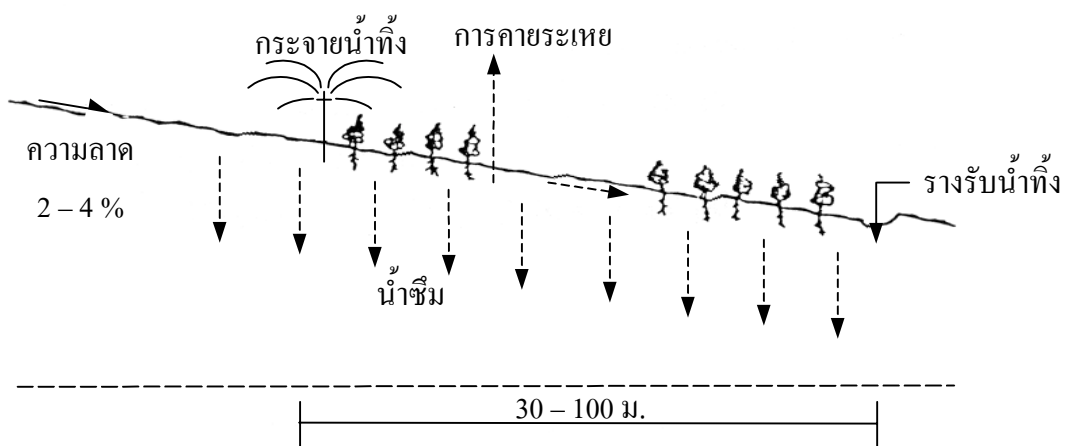
**ไนโตรเจน (Nitrogen)** ในน้ำเสียไนโตรเจนมักอยู่ในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic - nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia - nitrogen) ซึ่งสารไนโตรเจนจะก่อให้เกิดปัญหาเน่าเสียได้เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมากสารหนึ่งทำให้เกิด



ภาพที่ 2.7 ระบบอัตราการไหลช้า (Slow - Rate System)



ภาพที่ 2.8 ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration System)

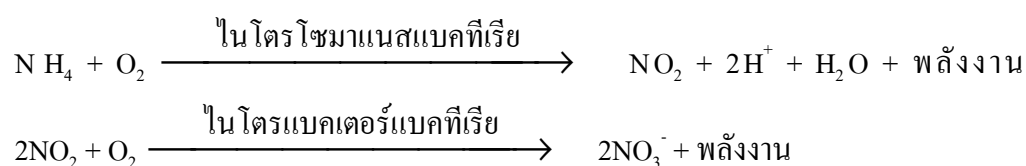


ภาพที่ 2.9 ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow System)

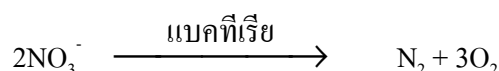


การขาดออกซิเจนในน้ำเสีย จึงทำให้เกิดปัญหาหากลิ่นเหม็นได้ วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยธรรมชาติสามารถกำจัดสารไนโตรเจนในน้ำเสียได้ เนื่องจากแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรดไนโตรเจนอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นส่วนหนึ่งจึงสูญหายไปโดยการถูกพืชดูดซึมไปใช้และส่วนหนึ่งก็จะถูกแบคทีเรียพวกไนโตรโซมาแนส (Nitrosomonas) และพวกไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ออกซิไดส์กลายเป็น  $\text{NO}_3^-$  ภายใต้สภาพที่เกิดการขาดแคลนออกซิเจนอิสระในดิน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

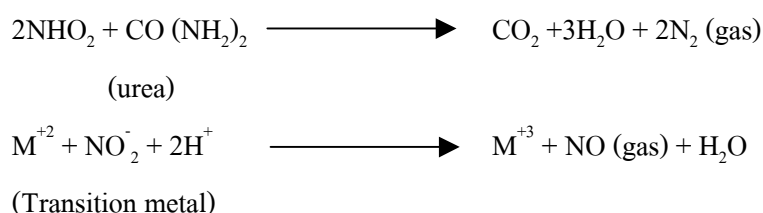
ขบวนการไนตริฟิเคชัน



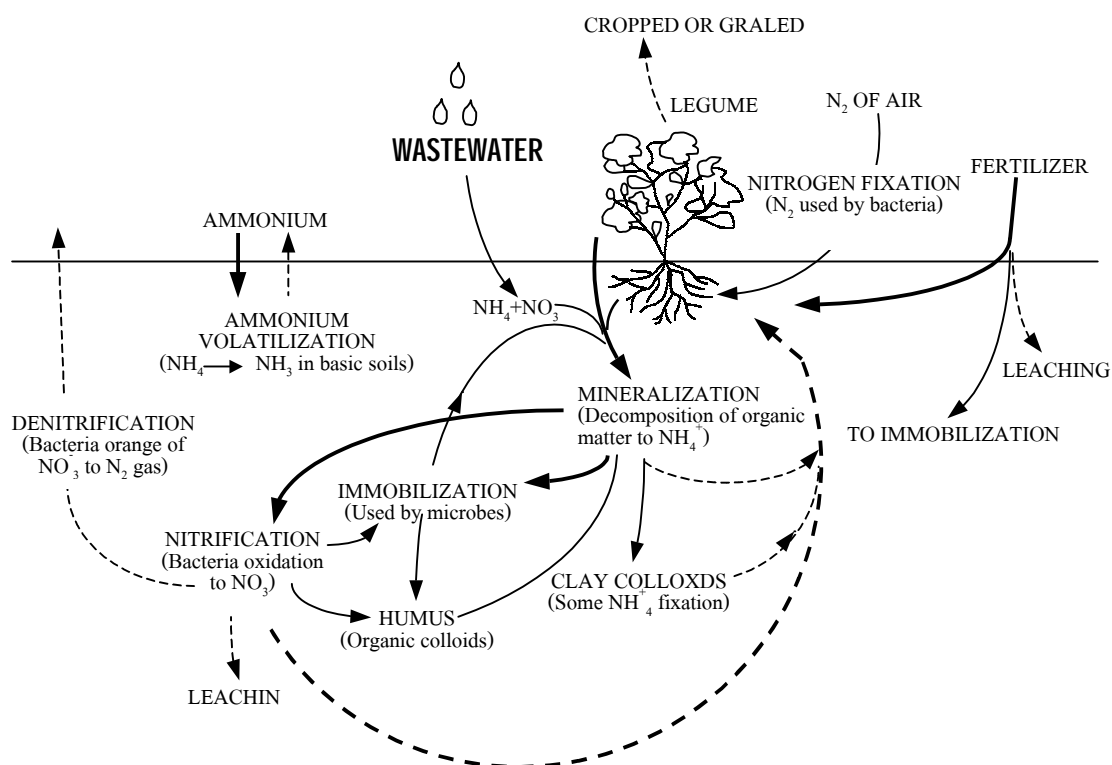
ขบวนการดีไนตริฟิเคชัน



สารไนโตรเจนยังมีบางส่วนที่ถูกดูดซับไว้บนดิน และบางส่วนที่ซึมลงไปดินจนถึงชั้นน้ำใต้ดิน และสารไนโตรเจนก็จะหมุนเวียนอยู่อย่างนี้ตลอดเวลาในดิน ดังแสดงเป็นวัฏจักรได้ดังภาพที่ 2.10 นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical process) ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้ไนโตรเจนสูญหายไปในรูปแบบก๊าซ โดยปกติ  $\text{NO}_2^-$  เมื่ออยู่ในดินจะมีสภาพเป็นกรด และเมื่อมีสารประกอบพวกเกลือแอมโมเนีย สารประกอบพวก amine เช่น ยูเรีย หรือสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตอยู่ด้วย ปฏิกิริยารีดักชัน อาจเกิดขึ้นได้ ดังสมการต่อไปนี้



**ฟอสฟอรัส (Phosphorus)** ในน้ำเสียมักอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ฟอสฟอรัส สารโพรีฟอสเฟต และสารออร์โธฟอสเฟตซึ่งสารฟอสฟอรัสจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้โดยทั่วไปการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียในระบบน้ำบนดิน จะถูกกำจัดโดย



ภาพที่ 2.10 วัฏจักรไนโตรเจนในดิน

- **พืชดูดซึม** ไปใช้ประโยชน์เนื่องจากฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) การสร้างองค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ การแบ่งเซลล์และการสืบพันธุ์ ยิ่งกว่านั้นฟอสฟอรัสยังมีองค์ประกอบที่เป็นสารที่ทำหน้าที่รับช่วงถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารของระบบต่างๆ

- **ถูกตรึง (fixed)** อยู่ในดินแบ่งขบวนการตรึงฟอสฟอรัสของดินได้ดังนี้คือกระบวนการดูดซับอยู่ตามผิว (Adsorption reaction) อนุภาคของดินที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ จะมีประจุไฟฟ้าแฝงอยู่ และไอออนฟอสเฟตก็มีประจุไฟฟ้าแฝงอยู่ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับยึดกันได้ การดูดซึมทางกายภาพ (Physical Adsorption) ซึ่งจะมีผลทำให้ไอออนรวมอัดตัวอยู่รอบๆ พื้นผิวคอลลอยด์เหล่านั้นหรืออาจเกิดการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดจากไอออนฟอสเฟตยึดเกาะแขนของคอลลอยด์ที่ไอออนของสารอื่นหลุดออกไป ไอออนของฟอสเฟตที่ถูกดูดซับอยู่ที่พื้นผิวของสารคอลลอยด์เหล่านี้ถูกดูดซับไว้ด้วยแรงจำนวนหนึ่งโดยน้ำไม่อาจจะละลายไอออนฟอสเฟตนี้ กลับออกมาในรูปสารละลายได้

- **กระบวนการแตกตัว** การทำปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายได้ดี จะละลายแตกตัวให้อิออนฟอสเฟตและอิออนบวกอื่นๆ ในดินที่มีสารประกอบต่างๆ เช่น  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  อยู่ในสารละลายดิน และเมื่ออิออนฟอสเฟตกับอิออนบวกเหล่านี้พบกันจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากยิ่งขึ้นขบวนการแตกตัวแล้วทำปฏิกิริยานี้ก่อให้เกิดการตรึงฟอสเฟตตลอดเวลาอย่างช้าๆไม่ว่าดินจะมีความเป็นกรดเป็นด่างในระดับใด เพราะสารประกอบฟอสเฟตกับสารอื่นๆสัมผัสกันตลอดเวลาเมื่อเราปล่อยน้ำเสียที่มีสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำอิออนฟอสเฟตจะถูกตรึงไปเป็นจำนวนมากไม่ว่าดินนั้นจะมี pH สูงหรือไม่ แต่เมื่อ pH ของดินฟอสเฟตถูกตรึงโดยอิออนบวกที่ละลายได้พวก  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  และไฮดรอกไซด์ของ  $F^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  จะค่อยๆลดปริมาณการตรึงลง เมื่อ pH ของดินสูงขึ้น จาก 4 เป็น 7 แต่ในขณะที่เดียวกันก็จะถูกตรึงโดย  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $CaCO_3$  เกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตเป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ pH ของดินสูงขึ้นจาก 6 เป็น 7

## 2.7 พืชคลุมดิน

### หญ้านาน (Brachiaria mutica stapf)

หญ้านานเป็นหญ้าพื้นเมืองของอเมริกาใต้และแอฟริกาตะวันตกในประเทศไทย Dr.R.P. Jones เป็นผู้นำหญ้านานเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกที่อำเภอปากช่องจังหวัดนครราชสีมาในราวปี พ.ศ. 2472 ลักษณะทั่วไป คือเป็นพืชที่มีอายุหลายปี (Perennial) ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (Fibrous root system) มีรากตื้น มีการเจริญแบบกิ่งเลื้อยกิ่งตั้ง จัดเป็นพวกมีลำต้นทอดขนานกับพื้นดินและมีรากพร้อมกิ่งก้านแตกออกจากข้อ ลำต้นที่ตั้งตรงสูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นกลวง แบ่งเป็นข้อและปล้อง มีกาบใบ (leaf sheath) หุ้ม ทัวทั้งลำต้นและใบปกคลุมด้วยขนสีขาว ใบมีลักษณะแบนและเรียบ มีสีเขียวแก่ รูปร่างของใบเป็นแบบเล็ก ๆ แลบๆ แต่ยาวมากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนกว้าง (linear) หรือรูปร่างคล้ายใบหอก (lance late) ค่อนข้างยาว ส่วนที่อยู่ใกล้โคนใบกว้างหรือป่องมากกว่าส่วนอื่นๆ ใบประกอบด้วยกาบใบยาวประมาณ 11-14 เซนติเมตร มีขนมากโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อกับแผ่นใบ แผ่นใบ (leaf blade) ยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 8 - 20 มิลลิเมตร หูใบ (ligule) เป็นรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีลักษณะเป็นแผ่นมีขนมาก ยาวประมาณ 0.8 มิลลิเมตร ช่อดอกเป็นแบบ panicle ยาว 2.5-15 เซนติเมตร กลุ่มของดอก (spike lets) ที่อยู่บนก้านดอกเดียวกัน ยาว 3-4 มิลลิเมตร มีผิวเรียบ ดอกย่อยที่สมบูรณ์ (fertile floret) ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร เมื่อแก่จะมีสีเหลืองซีดซึ่งประกอบด้วย lemma pale เกสรตัวผู้ (stamen) 3 อัน

อับเรณู (anther) สีเขียวตองอ่อน และยอดเกสรตัวเมีย (stigma) สีม่วงเข้ม 2 อัน เมล็ดมีขนาดเล็กมาก และมีรอยขรุขระตามขวาง

### หญ้ารุซึ (Brachiaria ruziziensis : Congo Signal grass, Ruzigrass)

หญ้ารุซึมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแอฟริกาตะวันออกและแอฟริกากลาง ในเขตที่มีความชุ่มชื้นแต่ไม่มีน้ำขัง เป็นหญ้าพื้นเมืองที่สำคัญของประเทศคองโก สำหรับประเทศไทยได้มีการนำหญ้ารุซึเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกที่ฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก อำเภอเมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี และที่ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ปากช่องในปี 2511 ลักษณะทั่วไปของหญ้ารุซึคือ เป็นหญ้าประเภทข้ามปีสูงประมาณ 0.4 – 1 เมตร ใบมีลักษณะคล้ายใบหอก ยาว 10-25 ซม. กว้าง 10-15 มม. มีช่อดอกเป็นแบบ panicle ประกอบด้วยแขนงที่เป็นแบบ raceme อยู่ 3-6 อัน หญ้ารุซึขึ้นได้ดีในเขตร้อนที่มีปริมาณน้ำฝนเกิน 1,000 มม. ขึ้นไป ชอบดินที่มีการระบายดี น้ำไม่ขัง เป็นหญ้าพืชอาหารที่เกษตรกรในประเทศไทยปลูกกันแพร่หลายมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากทางกองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ทำการผลิตเมล็ดในปริมาณที่มากกว่าหญ้าอื่นๆ และได้แนะนำให้เกษตรกรใช้ปลูกบนดินที่มีการระบายน้ำดี เพื่อเลี้ยงสัตว์ เช่น โคเนื้อ โคนมและกระบือ

### หญ้าแอฟริกันสตาร์ (Cynodon plectostachyus: Giant star grass, African star grass)

หญ้าแอฟริกันสตาร์เป็นหญ้าพื้นเมืองของแอฟริกาตะวันออกนำเข้ามาประเทศไทยโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2504 เป็นหญ้าประเภทข้ามปีที่มีไหลแข็งแรง มีความสูง 30 - 90 ซม. พบหญ้าชนิดนี้ขึ้นตามธรรมชาติอยู่ทั่วไป หญ้าชนิดนี้มีลักษณะที่น่าสังเกตแตกต่างไปจากหญ้าอื่นในสกุลเดียวกันคือจะมีใบประดับสั้นมาก แขนงของช่อดอกจะงอขึ้น ไหลจะมีลักษณะที่โค้งงอ เป็นหญ้าที่สัตว์ประเภทแกะเล็มแทะทุกชนิดชอบกิน จากการสังเกตพบว่าพบที่สภาพแวดล้อมของประเทศไทย หญ้าชนิดนี้มีความทนแล้งเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว หญ้าสตาร์ขึ้นได้ในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ย 500-8000 มิลลิเมตรต่อปี ขึ้นได้ในดินหลายชนิด ทนต่อการแทะเล็มและการเหยียบย่ำของของสัตว์ได้ดี กระบือชอบกินมากกว่าโค เป็นหญ้าที่เจริญเติบโตได้เร็วและมีแนวโน้มที่จะไล่พืชอื่นที่ขึ้นร่วมด้วย หญ้าชนิดนี้ไม่ค่อยติดเมล็ดเพราะฉะนั้นจึงใช้ส่วนลำต้นสำหรับการขยายพันธุ์

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 วิธีการวิจัย

การทดลองทั้งหมดทำที่บริเวณอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานเจ้าพระยาฟิชไร้อ.เมือง จ.นครราชสีมา นำมาทำการทดลองโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบคิดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร เปรียบเทียบกับ การใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรโดยตรง โดยการกระจายน้ำบนดินและมีการปลูกหญ้าคลุมดิน ในการศึกษาที่ใช้ หญ้าขน หญ้ารุจี และ หญ้าสตาร์ ที่เลือกใช้หญ้าทั้ง 3 ชนิดเพราะว่า หญ้าขน หญ้ารุจี และ หญ้าสตาร์ สามารถขึ้นได้ตลอดทั้งปี สามารถระบายน้ำได้ตลอดเวลา ให้การบรรทุกทางน้ำสูง อัตราการใช้ในโตรเจนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ และยังสามารถหลีกเลี่ยงการเก็บเกี่ยวหรือการเพาะปลูกบ่อยๆ

ในการศึกษาครั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังขั้นต้นเป็นบ่อแอนแอโรบิกแบบคิดผิวระบบนี้เป็นวิธีการบำบัดแบบแอนแอโรบิกที่ง่ายที่สุด ไม่ต้องพึ่งพาอาศัยเครื่องจักรกลใดๆ แต่อาศัยระบบบำบัดตามธรรมชาติ บ่อแอนแอโรบิกเป็นบ่อขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 0.90 เมตร ลึก 0.90 เมตรดังภาพที่ 3.2(ข) น้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยบ่อแอนแอโรบิกแบบคิดผิวตามระยะเวลาที่ได้กำหนดเอาไว้ในตารางที่ 3.1 ก่อนที่จะไหลล้นออกไปเข้าระบบการกรองด้วยหญ้า โดยการทดลองแต่ละชุดจะใช้อัตราการไหลของน้ำเสียตัวอย่างเข้าสู่บ่อแอนแอโรบิกที่แตกต่างกันตามตารางที่ 3.1 การกรองด้วยหญ้านี้กำหนดให้มีแปลงทดลอง 6 แปลง มีขนาดกว้าง 1.50 เมตร ยาว 4.00 เมตร สูง 0.40 เมตร มีความลาดเอียง 2 : 100 และนำดินร่วนปนทรายมาใส่ในแปลงทดลองหนา 0.30 เมตร และปลูกหญ้าขน หญ้ารุจี หญ้าสตาร์ เป็นพืชคลุมดินที่ใช้รับน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดดังภาพที่ 3.1(ค) และที่ใช้รับน้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบคิดผิวดังภาพที่ 3.2(ค) น้ำที่ปล่อยเข้าแต่ละแปลงมีระยะเวลาปล่อยน้ำเสียลงบนพื้นที่ 9 ชั่วโมง แล้วหยุดพักการปล่อยน้ำ 18 ชั่วโมง โดยน้ำเสียที่ปล่อยในแปลงหญ้านี้ไม่มีน้ำไหลออกจากแปลงหญ้าและการเก็บตัวอย่างน้ำที่สภาวะคงที่ (Steady-State conditions) ประมาณ 4 - 7 วัน ในที่นี้สภาวะคงที่พิจารณาจากความเข้มข้นของน้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิกที่มีสัมประสิทธิ์ความแปร ปวนไม่เกิน 5 % และนำน้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิกไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ นำดินในแต่ละแปลง

ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการบำบัดแบบบ่อแอนแอรโรบิกและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรศึกษาผลผลิตหญ้าที่ได้

### 3.2 การดำเนินการวิจัย

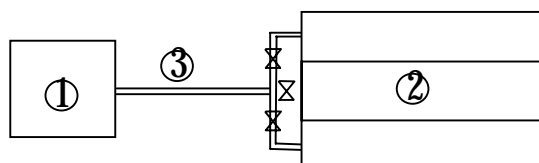
1. กำหนดอัตราการไหล ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ อัตราการไหลของน้ำเสียที่กระจายบนพื้นที่บำบัด และระยะเวลาที่ปล่อยน้ำเสีกลงบนพื้นที่ ตามตารางที่ 3.1
2. นำน้ำเสียตัวอย่างมาผ่านการบำบัด โดยมีการควบคุม pH ให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.8 โดยขนาดและลักษณะของระบบบำบัด แสดงในภาพที่ 3.1(ข) และ 3.2(ข)
3. ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบการทดลอง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำที่จุด น้ำเข้า น้ำออก จากบ่อแอนแอรโรบิกแบบติดผิว นำน้ำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกๆ วัน (เก็บน้ำประมาณ 50 ml)
4. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว จะเก็บตัวอย่างน้ำที่จุด น้ำเข้า น้ำออก ของบ่อแอนแอรโรบิกแบบติดผิว ไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และเก็บดินไปวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ ต่างๆ (เก็บดินที่จุดน้ำลง โดยจุดดินเป็นรูปตัววี ลึกประมาณ 15 ซม. แล้วนำดินด้านข้างไปวิเคราะห์)
5. วัดปริมาณผลผลิตหญ้าที่ได้ในแต่ละแปลง โดยการชั่งน้ำหนักเพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโตของหญ้าเทียบกับอัตราน้ำที่ไหลเข้าแปลงหญ้า
6. เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบตามตารางที่ 3.1 ต่อไป

### 3.3 สถานที่ทำการวิจัย

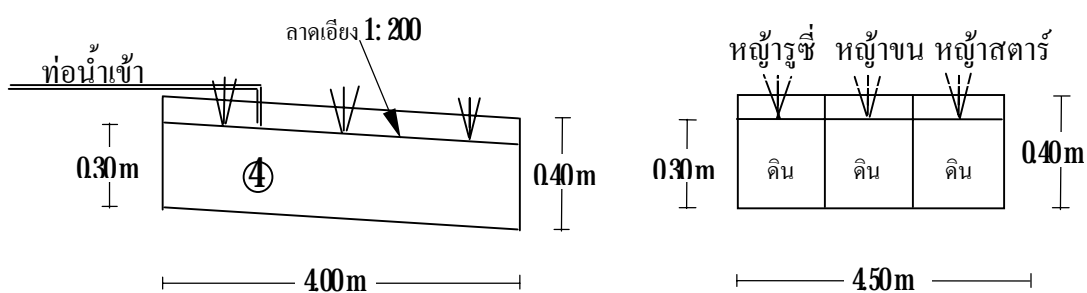
1. สถานที่ทำการทดลองทั้งหมดทำที่หลังอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและองค์ประกอบของดินใช้ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. สร้างบ่อขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 0.90 เมตร สูง 0.90 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 243 ลิตร



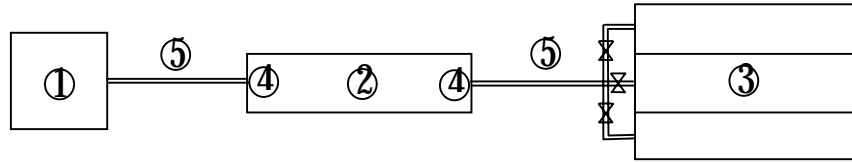
ก) แปลน



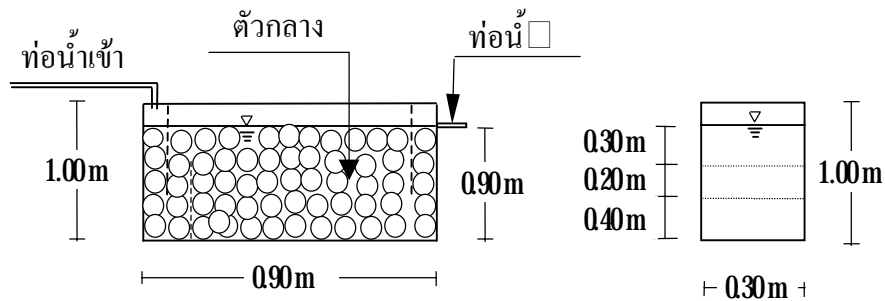
ข) รูปแบบจำลองแปลงหญ้า

- ① ถังเก็บน้ำเสีย
- ② แบบจำลองการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร
- ③ จุดเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์หา COD
- ④ จุดเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์หา N, P, acid

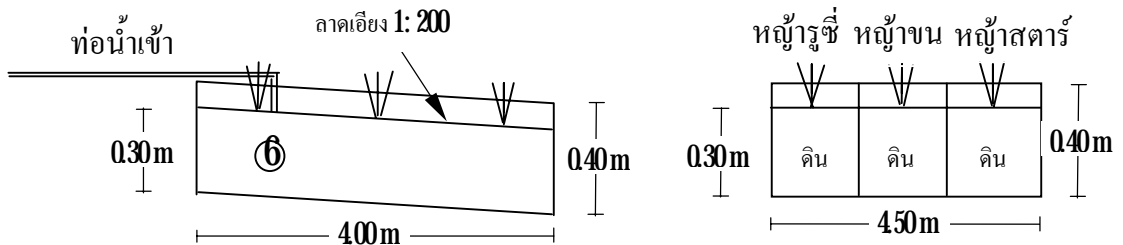
ภาพที่ 3.1 รายละเอียดการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรโดยตรง



ก) แปลน



ข) รูปแบบจำลองบ่อแอนโรบิกแบบติดผิว



ค) รูปแบบจำลองแปลงหญ้า

- ① ถังเก็บน้ำเสีย
- ② แบบจำลองบ่อแอนโรบิกแบบติดผิว
- ③ แบบจำลองการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร
- ④ แผ่นบัพเฟอร์
- ⑤ จุดเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์หา COD
- ⑥ จุดเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์หา N, P, acid

ภาพที่ 3.2 รายละเอียดบ่อแอนโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร



ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

รายการ	การทดลองที่			
	1	2	3	4
ระยะเวลาเก็บกัก , d	9	7	5	3
อัตราการไหล, L/d (บ่อแอนแอโรบิก)	27.0	34.7	48.6	81.0
ภาระบรรทุกน้ำ, m/yr (น้ำเข้าแปลงหญ้า)	0.61	0.79	1.11	1.85
ระยะเวลาที่ปล่อยน้ำเสียดบนพื้นที่, hr/d	9	9	9	9

2. สร้างแปลงปลูกหญ้าคลุมดินขนาดกว้าง 1.50 เมตร ยาว 4.00 เมตร สูง 0.40 เมตร 6 แปลง โดยนำดินร่วนปนทรายมาใส่ในแปลงทดลองหนา 0.30 เมตร

3. ปลูกหญ้าขน หญ้ารัฐ และหญ้าสตาร์ เป็นพืชคลุมดิน
4. ใส่ตัวกลางประมาณ 3 % ของปริมาตรบ่อ
5. เครื่อง HPLC ( High Performance Liquid Chromatograph)
6. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด
7. เครื่องดูดอากาศ
8. เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก
9. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
10. ตู้อบ
11. เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆ
12. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาตัวแปรตามที่กำหนดไว้

### 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์น้ำและดิน

นำน้ำ-ดินตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าตามวิธีการของ Standard Methods (APHA et al, 1992) ที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

### 3.6 การศึกษาสารติดตาม

การศึกษาสารติดตาม (Tracer study) ของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การทดลอง	วิธีการทดลอง
Chemical Oxygen Demand (COD)	Open Reflux, Titrimetric Method
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	Macro-Kjeldahl Method
Total suspended Solids (TSS)	นำน้ำที่ผ่านการกรองระเหยให้แห้งที่ 103 C <sup>0</sup>
Total Phosphorus (TP)	Sulfuric Acid-Nitric Acid
Organic acids - acetic acid - propionic acid - butyric acid - lactic acid	HPLC (High Performance Liquid Chromatograph)

ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน

การทดลอง	วิธีการทดลอง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
Total Nitrogen (%N)	Kjeldahl Method
Phosphorus (P)	การสกัดฟอสฟอรัส(Bray II)
Organic acids - acetic acid - propionic acid - butyric acid - lactic acid	HPLC (High Performance Liquid Chromatograph)

โดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว ใช้วิธีการแบบ slug feed โดยใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 3.33 กรัมต่อลิตร อัตราการไหล 370 มิลลิลิตรต่อนาที จากการศึกษาสารติดตามใช้การคำนวณโดยวิธี “Method of moment” ดังสมการที่ 3.1 ถึง 3.3

$$T_{\text{mean}} = \frac{\sum_{i=0}^t t_i c_i \Delta t}{\sum_{i=0}^t c_i \Delta t} \quad (3.1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=0}^t t_i c_i \Delta t}{\sum_{i=0}^t c_i \Delta t} - T_{\text{mean}}^2 \quad (3.2)$$

$$\frac{\sigma^2}{T_{\text{mean}}^2} = 2d - 2d^2 (1 - e^{-1/d}) \quad (3.3)$$

โดยที่	$T_{\text{mean}}$	=	เวลาเฉลี่ย, min
	$t_i$	=	ระยะเวลาที่ปล่อยสาร NaCl เข้าสู่ระบบ, min
	$C_i$	=	ความเข้มข้นของ NaCl ที่ระยะเวลา $t_i$ , mg/L
	$d$	=	สัมประสิทธิ์การกระจายตัว
	$\Delta t$	=	ช่วงระยะเวลา $t_i$ , min

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์หาค่า COD, TKN, TP, TSS, กรดอินทรีย์ ในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว
2. วิเคราะห์หาค่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส pH และกรดอินทรีย์ในดิน
3. ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวนำมาวิเคราะห์

ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ ที่ 95 % เพื่อใช้วิเคราะห์สถานะคงที่

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำทิ้ง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำทิ้งเฉลี่ยของโรงงานเป็งมันสำปะหลัง(โรงงานเจ้าพระยาพีชไร้) แสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตจากโรงงานเป็งมันสำปะหลังมีค่าความสกปรกสูง หากไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นน้ำเสียควรได้รับการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อน จากการศึกษาวิจัยโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรได้ผลตามตารางที่ 4.2

#### 4.2 การศึกษาสารติดตาม

การศึกษาสารติดตาม (Tracer study) ของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเป็งมันสำปะหลัง โดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว ใช้วิธีการแบบ slug feed โดยใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 3.33 กรัมต่อลิตร อัตราการไหล 370 มิลลิลิตรต่อนาที จากการศึกษาสารติดตามใช้การคำนวณโดยวิธี “ Method of moment” ตามสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 พบว่าค่าเวลาเฉลี่ย ( $T_{mean}$ ) เท่ากับ 560 นาที ค่าความแปรปรวน ( $\sigma^2$ ) เท่ากับ 63073.2 และคำนวณการกระจาย (d) เท่ากับ 0.1133 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง  $0 < d < 0.2$  แสดงว่าเป็นการไหลแบบท่อ (plug flow) แสดงในภาพที่ 4.1 และตารางที่ 1ก (ในภาคผนวก ก.)

การคำนวณหาผลการศึกษาสารติดตามมีดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ(3.1)} \quad T_{mean} &= \frac{\sum_{i=0}^t t_i c_i \Delta t}{\sum_{i=0}^t c_i \Delta t} \\ &= \frac{3407.9}{6.09} \\ &= 559.9 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ(3.2)} \quad \sigma^2 &= \frac{\sum_{i=0}^t t_i c_i \Delta t}{\sum_{i=0}^t c_i \Delta t} - T_{\text{mean}}^2 \\
 &= \frac{2293257.7}{6.09} - 559.9^2 \\
 &= 63073.2
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำทิ้งเฉลี่ยของโรงงานเป็งมันสำปะหลัง

คุณลักษณะ	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
COD, (mg /L)	7,212-15,996	11,023
ไนโตรเจน, TKN (mg/L)	137.62-188.72	170
ฟอสฟอรัส, TP (mg/L)	15.56-18.52	17.42
ของแข็งแขวนลอย, SS (mg/L)	2,522-3,260	2,997
pH	3.76-4.56	4.16
lactic acid, (mg/L)	792.2-916.8	871.7
acetic acid, (mg/L)	1184.5-1302.9	1217.8
propionic acid, (mg/L)	1695.6-1799.1	1745.7
butyric acid, (mg/L)	3056.8-3167.3	3109.9

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ลักษณะน้ำก่อนและหลังการบำบัดในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

HRT Day	OLR kg COD/m <sup>2</sup> .d	COD น้ำเข้า (S <sub>0</sub> ) Mg/L	COD น้ำออก (S) mg/L	การกำจัด %
9	1.05	9489.6	136.37	98.56
7	1.49	10414.74	227.49	97.82
5	2.62	13127.29	340.25	97.41
3	3.69	11062.60	518.77	95.31

### 4.3 ผลการทดลอง

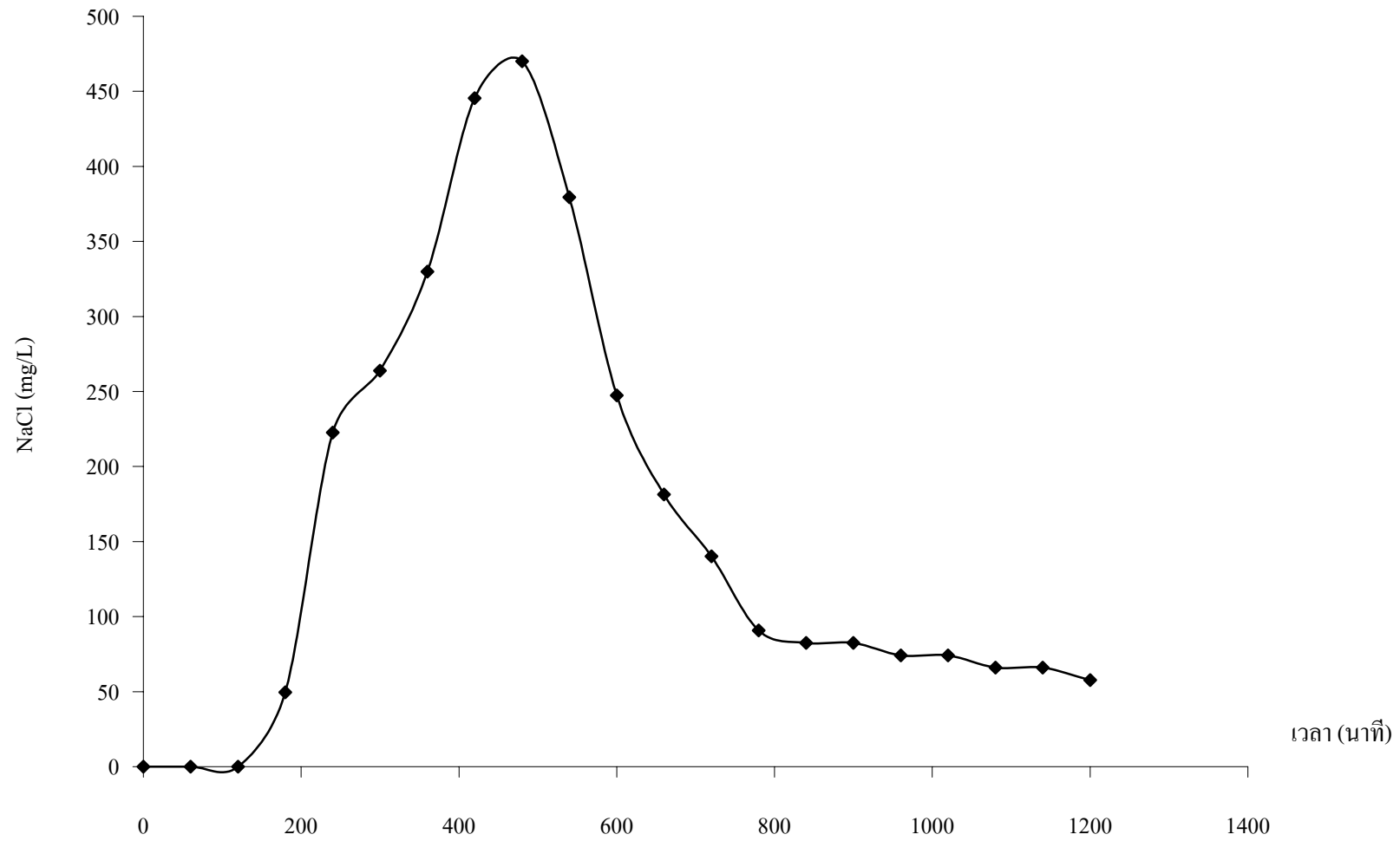
การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD, pH, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, ของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุก (Loading rate) ต่างๆ การวิเคราะห์ผลต่างๆ ใช้ค่าที่ได้จากการทดลองในช่วงสภาวะคงที่ (Steady-state conditions) ในแต่ละช่วงการทดลองซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนออกมากับน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรซึ่งมีค่าต่างๆดังนี้

#### 4.3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD

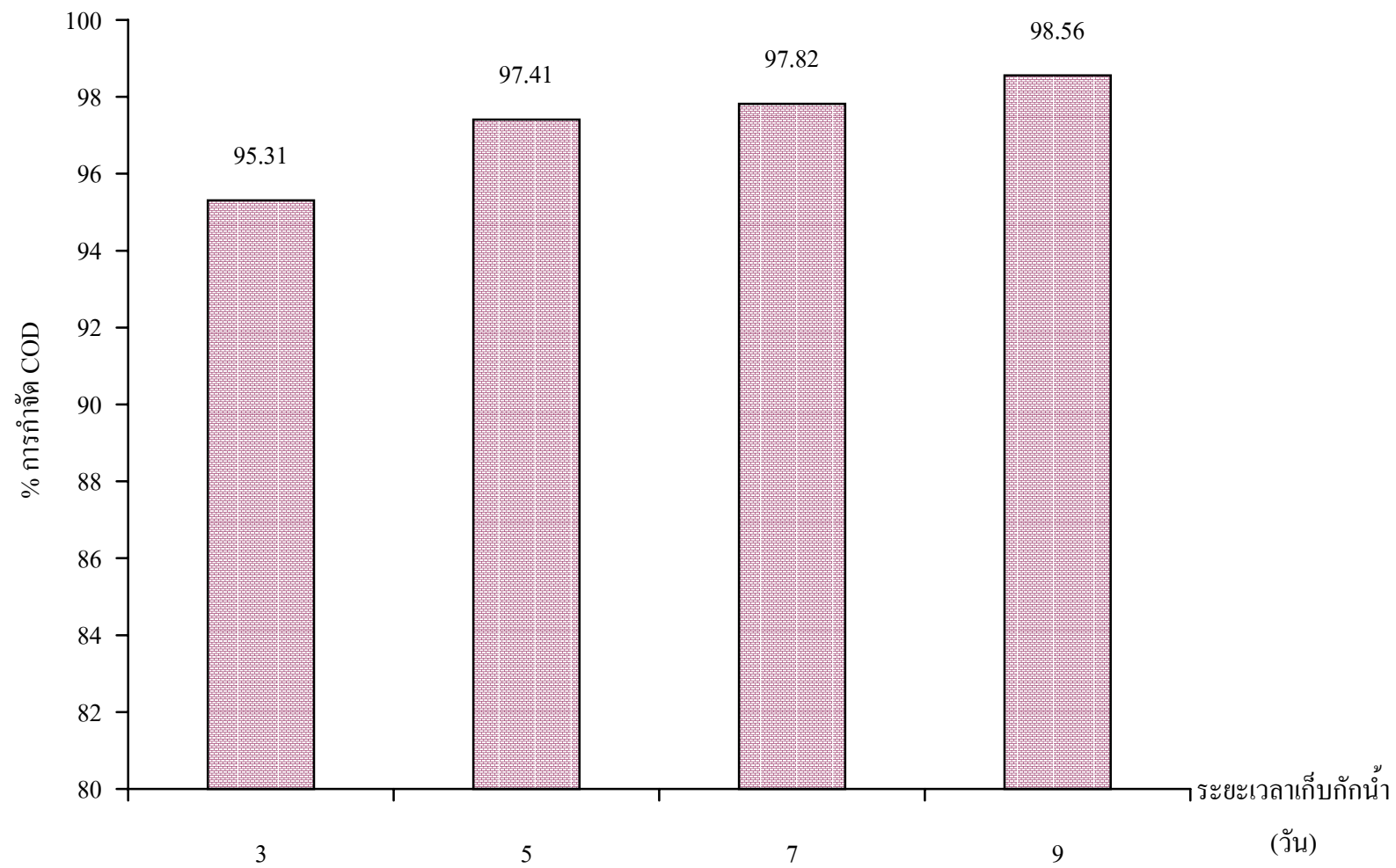
จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 9, 7, 5, 3 วัน มีค่าเฉลี่ยเป็น 98.56, 97.82, 97.41, 95.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.2 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการลดลงของค่า COD ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แตกต่างกันกับค่า COD เฉลี่ย จากผลการทดลองที่ได้ในแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยการทดสอบค่า (t-Test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจึงถือได้ว่าการลดลงของค่า COD เฉลี่ยเป็นการลดลงของค่า COD ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยที่การลดลงของค่า COD เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 305 mg/L กลไกหลักของการลดลงของ COD คือ การตกตะกอนของของแข็งและกระบวนการทางชีวภาพที่มีส่วนสำคัญในการย่อยสลายในส่วนที่เป็นน้ำและตะกอน

#### 4.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนโตรเจน

ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนโตรเจนของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 9, 7, 5, 3 วัน มีค่าเฉลี่ยเป็น 25.72, 26.91, 31.38, 25.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.3 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการลดลงของค่าไนโตรเจน ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แตกต่างกันกับค่าไนโตรเจนเฉลี่ย จากผลการทดลองที่ได้ในแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยการทดสอบค่า (t-Test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจึงถือได้ว่าการลดลงของค่า ไนโตรเจน เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 123 mg/L เนื่องจากการเจริญเติบโตหรือขยายพันธุ์เซลล์ใหม่จะทำให้ลดปริมาณไนโตรเจนของน้ำเสียลง สารไนโตรเจนในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายได้หรือถูกใช้ไป และต้องการอาหารจำพวกคาร์บอนด้วยคือน้ำเสียที่มี COD

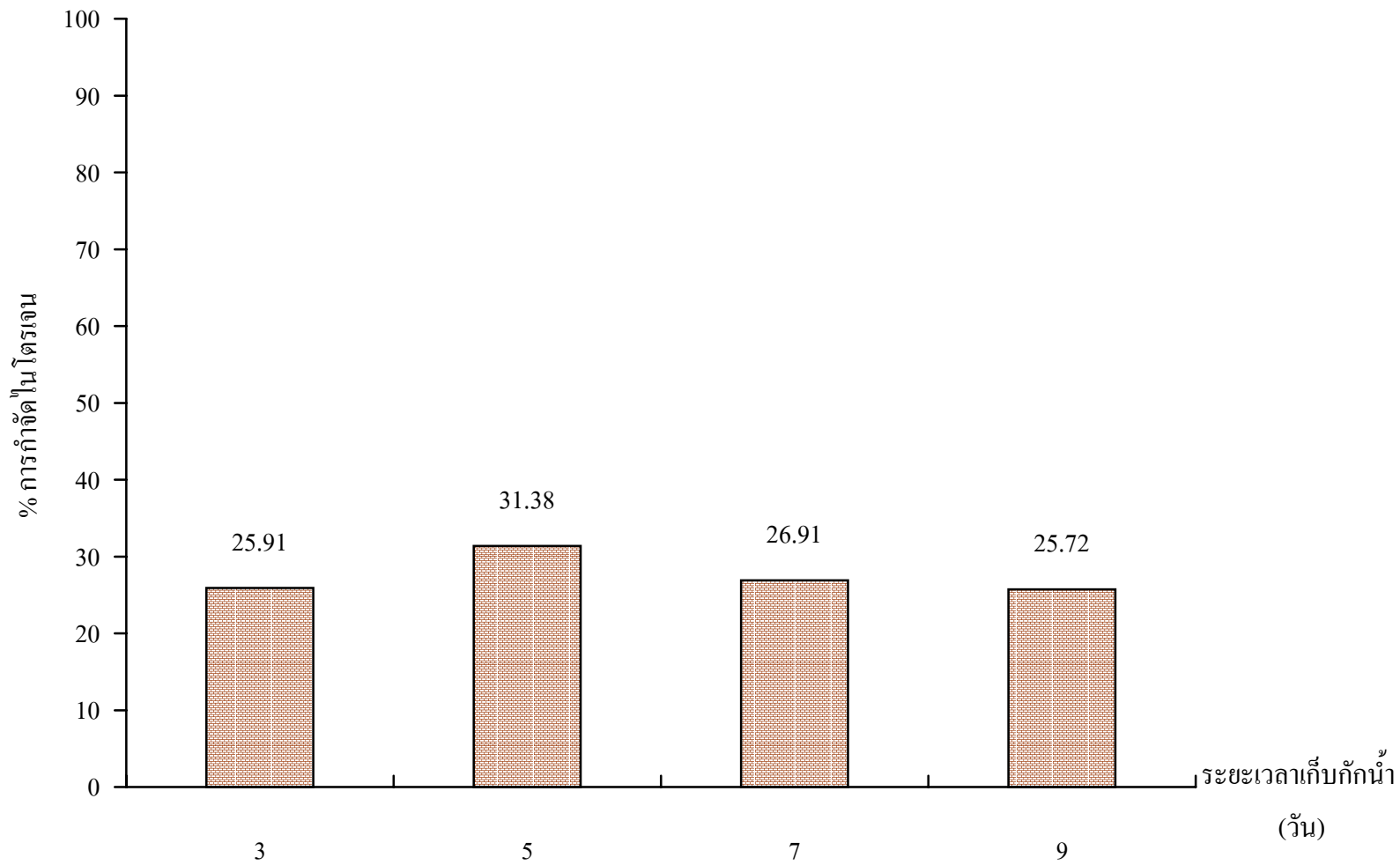


ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง NaCl กับ เวลา



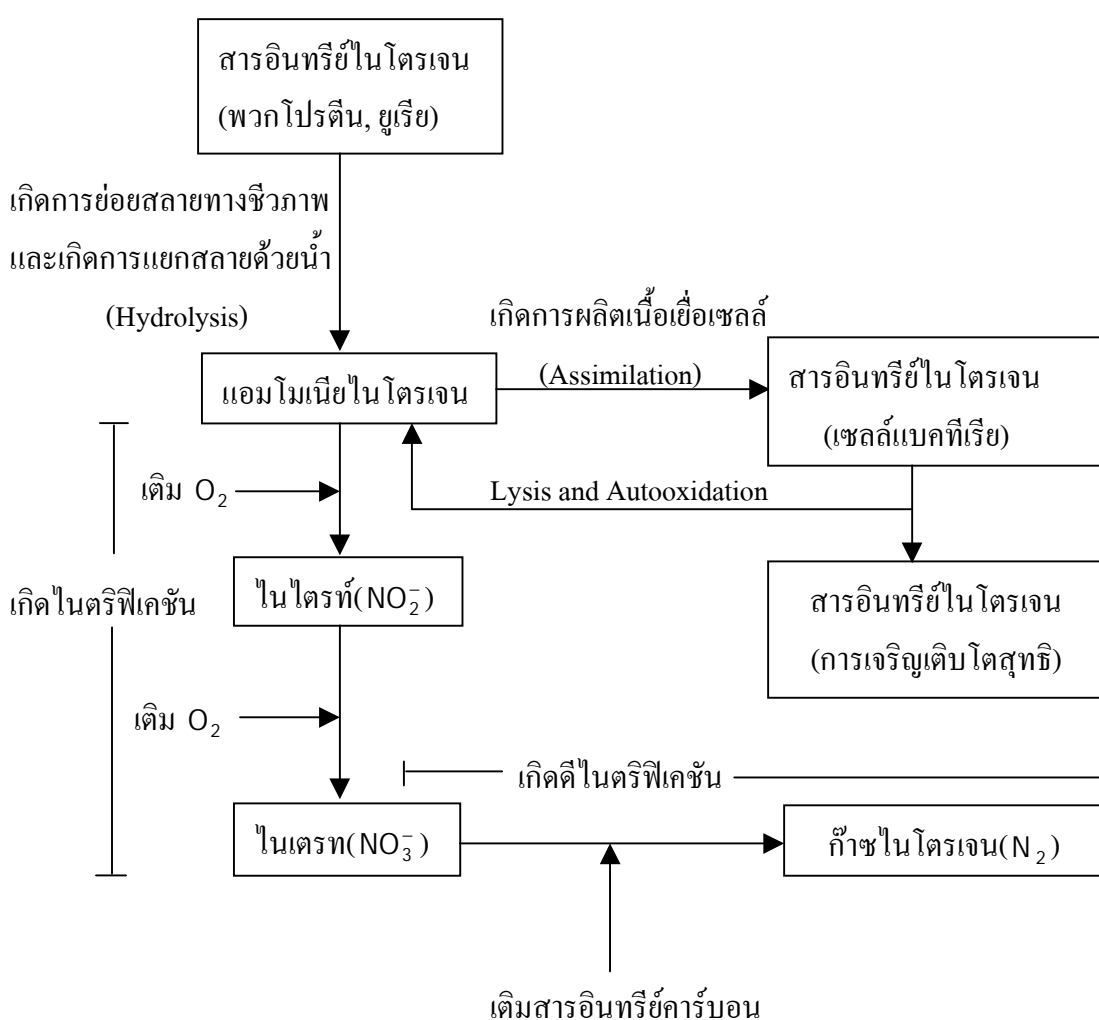
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง%การกำจัด COD กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ



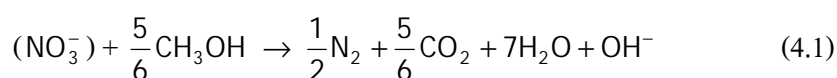


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง%การกำจัดไนโตรเจน กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ

สูงเพียงพอกับความต้องการไนโตรเจน โดยมีสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification) คือการรีดักชันของไนเตรททำหน้าที่เป็นตัวรับไฮโดรเจนสุดท้ายสำหรับการหายใจของจุลชีพในที่ไม่มีออกซิเจน ออกซิเจนยังเป็นตัวขัดขวางปฏิกิริยา (Gaudy et al, 1973) ปฏิกิริยาการรีดักชันของไนเตรทแบบแอสสิมิเลชัน (Assimilation) คือกระบวนการที่มวลชีวภาพที่เปลี่ยนไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียสำหรับการใช้โดยเซลล์ในชีวสังเคราะห์ (Biosynthesis) สำหรับดีไนตริฟิเคชันโดยทั่วไประดับของออกซิเจนควรเข้าใกล้ศูนย์เพื่อให้ทำงานได้ดีตามสมการที่ 4.1 และแสดงในภาพที่ 4.4 (เกรียงศักดิ์, 2539)



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน



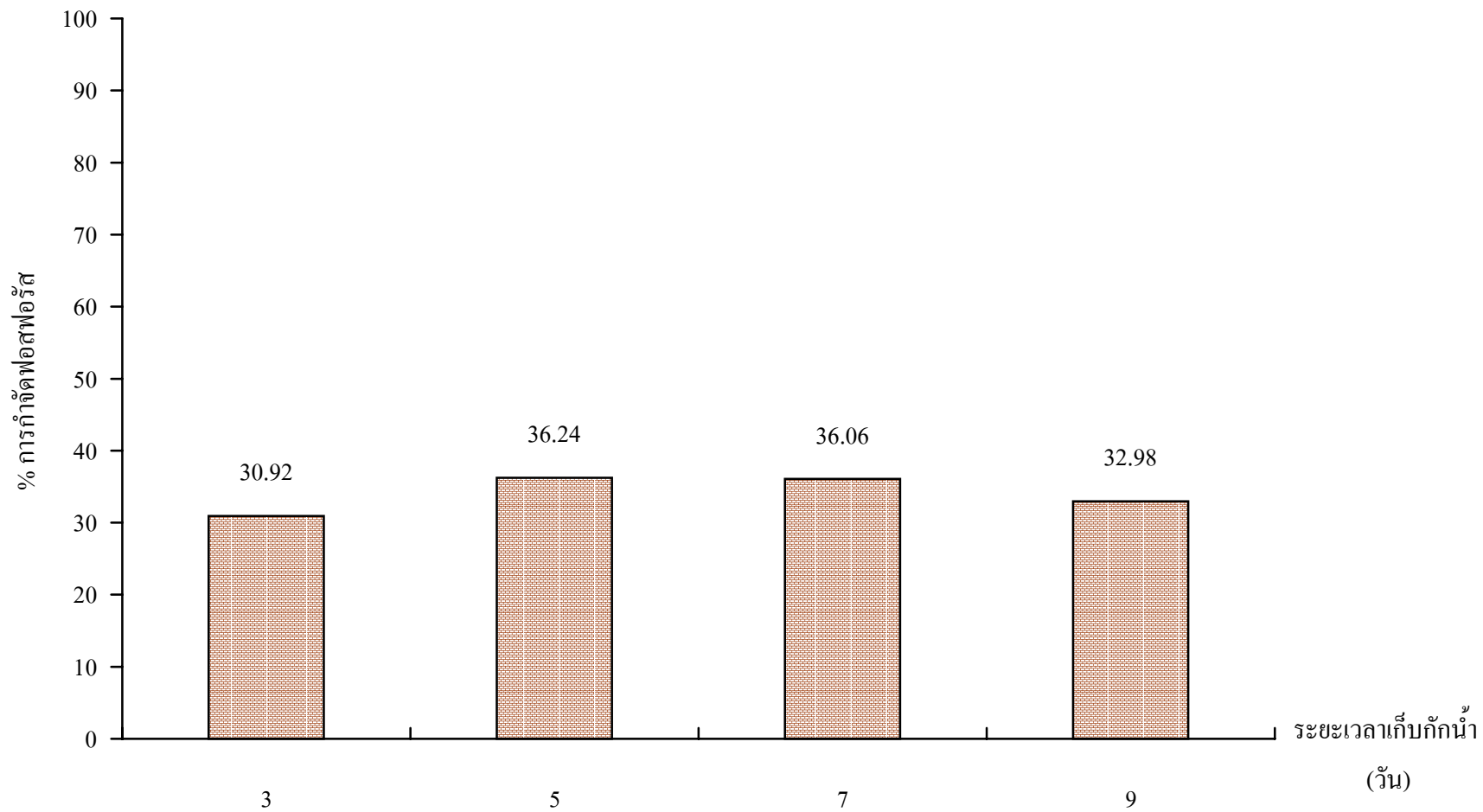
การกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียให้หมดจำเป็นต้องกำจัดไนโตรเจนโดยเปลี่ยนจากสารอินทรีย์ในโตรเจนไปเป็นสารแอมโมเนียในโตรเจนและไปเป็นก๊าซในโตรเจน (เกรียงศักดิ์, 2543)

#### 4.3.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าฟอสฟอรัส

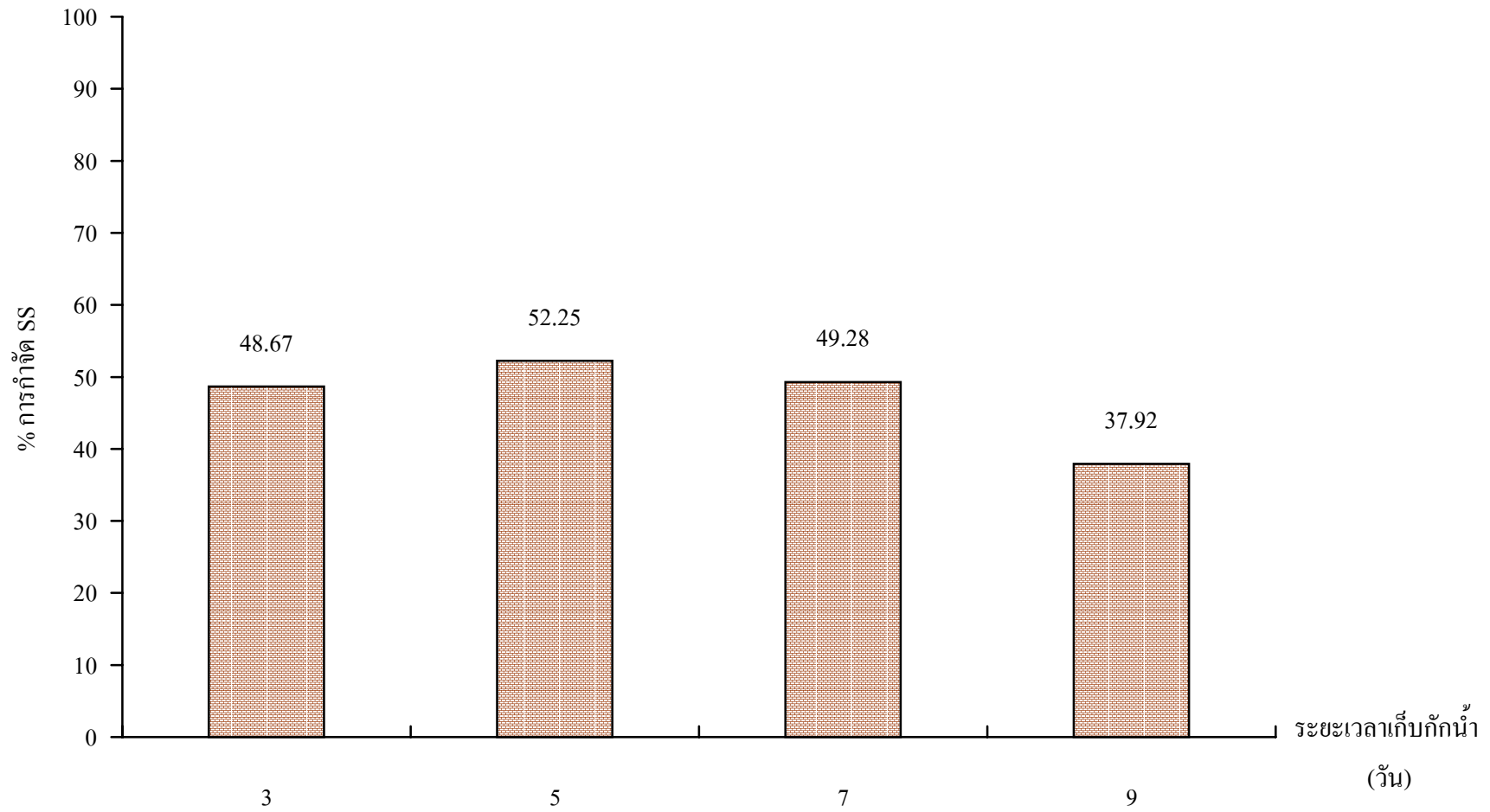
ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าฟอสฟอรัสของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 9, 7, 5, 3 วัน มีค่าเฉลี่ยเป็น 32.98, 36.06, 36.24, 30.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.5 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการลดลงของค่าฟอสฟอรัสที่วัดได้ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แตกต่างกันกับค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ย จากผลการทดลองที่ได้ในแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยการทดสอบค่า (t-Test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจึงถือได้ว่าการลดลงของค่า ฟอสฟอรัส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.5 mg/L การกำจัดค่าฟอสฟอรัสสามารถกำจัดได้เล็กน้อยเป็นเพราะว่าจุลินทรีย์มีการใช้ฟอสฟอรัสเพื่อการเจริญเติบโตและบางส่วนจะถูกเก็บไว้ในเซลล์

#### 4.3.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 9, 7, 5, 3 วัน มีค่าเฉลี่ยเป็น 37.92, 49.28, 52.25, 48.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.6 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการลดลงของค่าของแข็งแขวนลอย ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แตกต่างกันกับค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย จากผลการทดลองที่ได้ในแต่ละระยะเวลาเก็บกักน้ำ โดยการทดสอบค่า (t-Test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจึงถือได้ว่าการลดลงของค่าของแข็งแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1568 mg/L การกำจัดของแข็งแขวนลอยสามารถกำจัดได้เล็กน้อยเป็นเพราะว่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำไม่ได้มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยมากนัก (Sommai, 1986)



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง%การกำจัดฟอสฟอรัส กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ



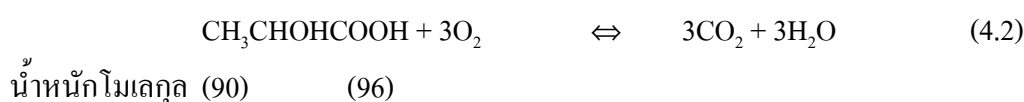
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง%การกำจัด SS กับ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ

#### 4.3.5 ค่า pH ของการทดลอง

ค่า pH ของน้ำเข้าของการทดลองมีค่าในช่วง 3.76-4.56 และค่า pH ของน้ำออกมีค่าในช่วง 6.62-7.38 แสดงในตารางที่ 1x ถึง 4x (ในภาคผนวก ข.) จากการทดลองพบว่าค่า pH จะแปรผกผันกับค่า COD ของน้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวคือเมื่อค่า COD สูงขึ้น pH จะลดลง Sommai (1986) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ pH ในบ่อแอนแอโรบิกเกิดขึ้นเพราะว่ามีแอมโมเนียเกิดขึ้นในระบบและสารอินทรีย์ถูกทำลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิกมีค่า pH สูงขึ้น Loehr (1968) พบว่าค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าบ่อสูงจะเพิ่มความเป็นด่างในระหว่างการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ดังนั้นสามารถคาดคะเนได้ว่าที่ความเข้มข้นสูงๆของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวสามารถเพิ่มความเป็นด่างได้สูงถึงแม้ว่าน้ำเข้าจะมีค่า pH ต่ำมากๆ กระบวนการทางชีวภาพของบ่อแอนแอโรบิกส่วนมากจะขึ้นอยู่กับความสามารถของเอนไซม์ซึ่งมีผลมาจาก pH โดยทั่วไป pH มีผลต่อเอนไซม์คือ จะเปลี่ยนกลุ่มเอนไซม์ที่สามารถแยกอนุภาคได้ไปเป็นกลุ่มอะมิโนและสารประกอบที่ไม่ใช่เอนไซม์จะเปลี่ยนรูปเป็นสารอาหารที่แยกอนุภาคได้

#### 4.3.6 ปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น

ปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวได้แก่ กรดแลคติก กรดอะเซติก กรดบิวทิริก และไฮโดรไออนิก กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นที่ 1 Hydrolysis จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อเปลี่ยนแปลง โปรตีน ให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส กรดไขมัน หรือกรดอะมิโน ขั้นที่ 2 Acidogenesis สารอินทรีย์ประเภทน้ำตาลกลูโคส ไขมัน จะถูกจุลินทรีย์ Acid Formers เปลี่ยนให้เป็กรดอินทรีย์ระเหย อาทิ กรดอะเซติก กรดบิวทิริก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ขั้นที่ 3 Methanogenesis กรดอินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนจะถูกกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่ม Methane Formers เปลี่ยนให้เป็ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซชีวภาพซึ่งขั้นตอนที่ 3 นี้เป็ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพราะเป็ขั้นตอนที่ลดค่า COD ของน้ำเสีย





จากการทดลองพบว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆคือ กรดแลคติก กรดอะเซติก กรดบิวทิริก และกรดโพรไพโอนิก ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 9, 7, 5, 3 วัน มีค่าแสดงในตารางที่ 4.3 จากสมการที่ 4.2 ถึง 4.5 นำกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมาสมมูลมวลจะได้ค่าสมมูล (Equivalent of COD) เท่ากับ 69, 109.3, 161.5, 195.4 9 mg/L ตามลำดับ ซึ่งค่า COD ที่ได้จากการวิเคราะห์หาคาร์บอนที่ทั้ง 4 ชนิดมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่า COD ที่ได้จากการวิเคราะห์หาโดยวิธี Open Reflux เนื่องมาจากมีการออกซิไดซ์คาร์บอนรวมทั้งสารประกอบจำพวก ไนไตรต์ คลอไรด์ ซัลเฟอร์ และอื่นๆ ซึ่งสามารถย่อยได้ด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต เช่นเดียวกับคาร์บอนที่ทั้ง 4 ชนิดข้างต้น

การย่อยสลายแป้งในดินเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วไม่ว่าจะอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอหรือไม่ แต่ในสภาพที่มีออกซิเจนการสลายตัวจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนมักมี กรดแลคติก กรดอะเซติก และกรดบิวทิริก สะสมอยู่เป็นจำนวนมากในขณะที่แป้งสลายตัว เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเป็น Extracellular enzyme แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ  $\alpha$ -amylase เอนไซม์ และ  $\beta$ -amylase  $\beta$ -amylase ย่อยได้ทั้ง amylopectin และน้ำตาล maltose แต่ไม่สามารถย่อยส่วนที่แตกแขนงของ amylopectin ได้ ส่วน  $\alpha$ -amylase นั้นย่อยได้เฉพาะ amylopectin แต่ได้สารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า maltose (สมศักดิ์ วังใน, 2528) จากการทดลองในแปลงหญ้าที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีสารอินทรีย์จำพวก กรดแลคติก กรดอะเซติก กรดบิวทิริก และกรดโพรไพโอนิกน้อยกว่าในแปลงที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว เนื่องจากในแปลงหญ้าที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในปริมาณที่น้อยจึงทำให้ปริมาณการสะสมสารอินทรีย์ในดินน้อยตามไปด้วยและอีกประการหนึ่งคือในแปลงหญ้าที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีสภาพเป็นแอโรบิกจึงทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

ตารางที่ 4.3 การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ระยะเวลาเก็บ กักน้ำ (วัน)	กรดแลกติก น้ำออก (mg/L)	กรดอะเซติก น้ำออก (mg/L)	กรดโพลีไพรโอนิก น้ำออก (mg/L)	กรดบิวทิริก น้ำออก (mg/L)
3	142.2	14.4	40.9	6.8
5	88.1	10.0	47.2	16.2
7	49.9	10.3	40.7	8.4
9	30.2	4.5	16.0	18.3

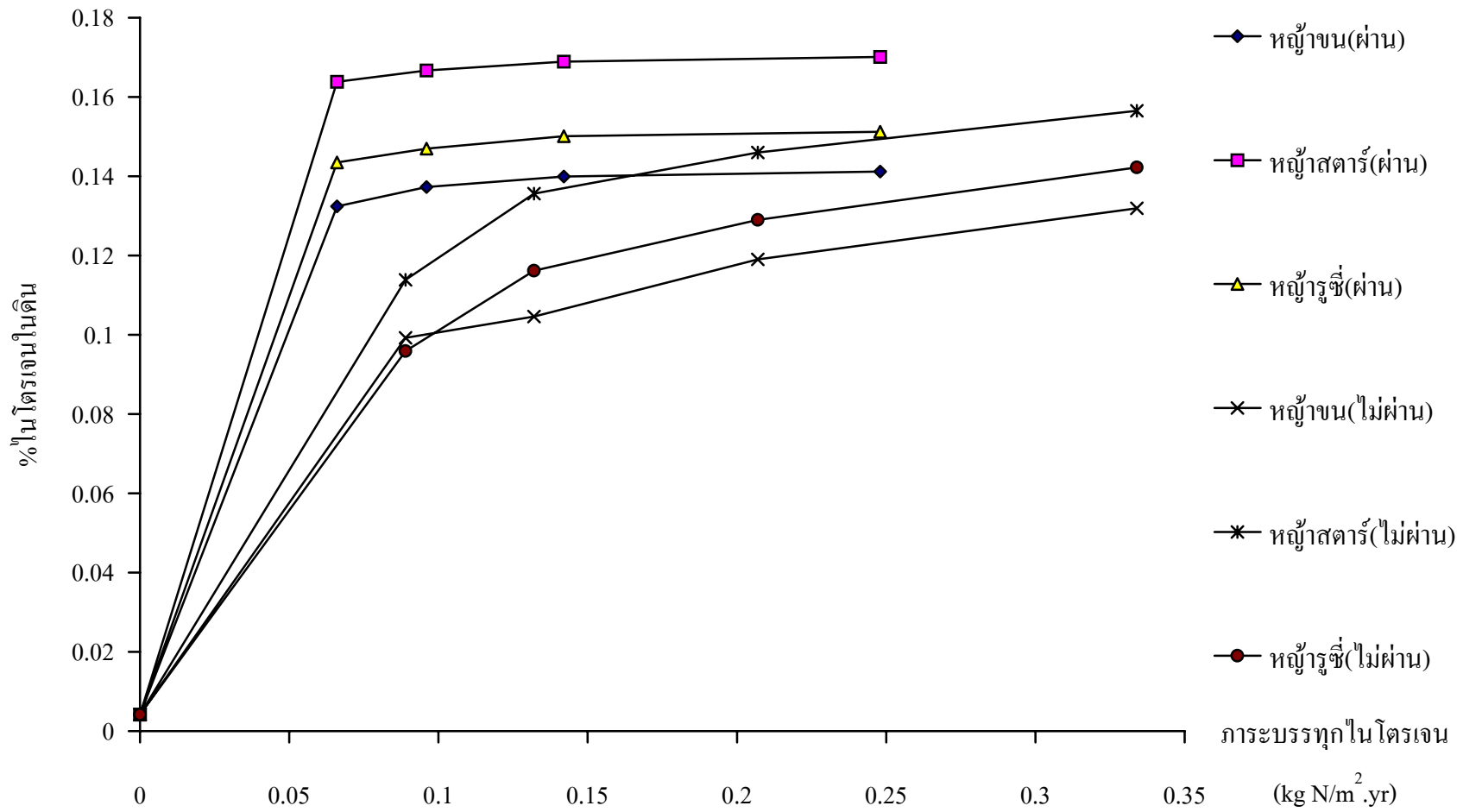
หมายเหตุ น้ำออกคือน้ำที่ออกจากบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

#### 4.4 ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร

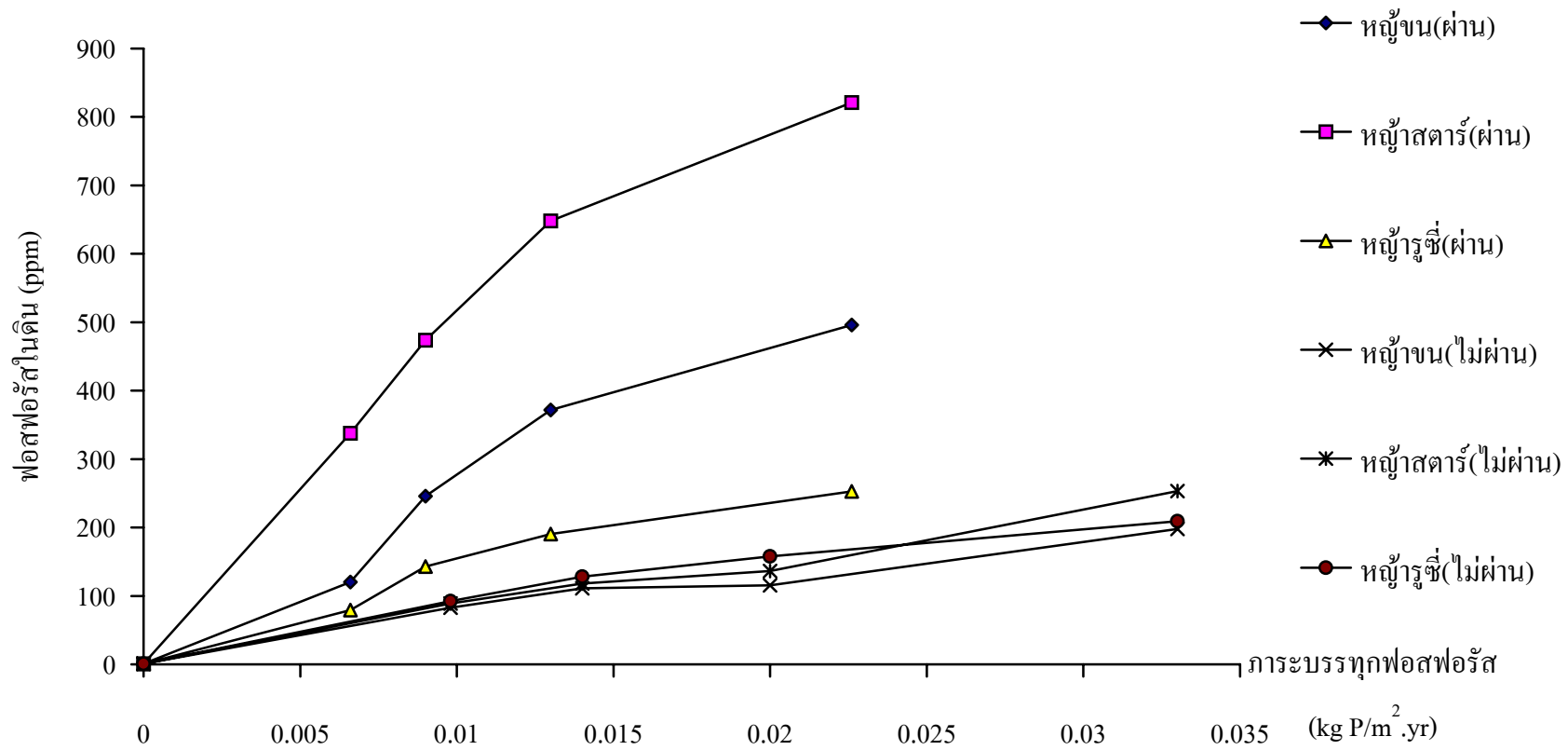
จากการทดลองจะนำน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและนำน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิก โดยปล่อยน้ำเสียเข้าแปลงหญ้าซึ่งน้ำเสียมักมีลักษณะแสดงในภาคผนวกข. (ตารางที่ 5ข 6ข และ 7ข) การทดลองนี้พิจารณาค่า ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, กรดอินทรีย์, ปริมาณหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้ และ pH ผลที่ได้จากการทดลองในการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตรมีผลแสดงในตารางที่ 1ค ถึง 4ค (ภาคผนวก ค.)

จากการทดลองพบว่าดินที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียวปนทรายแสดงในภาคผนวกจ. (ตารางที่ 1จ) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นทั้งในแปลงที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวแสดงในภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ซึ่งในแปลงที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีปริมาณการสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินมากกว่าในแปลงที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว สาเหตุเนื่องมาจากในแปลงทดลองที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว พบว่ามี ฟิมล์ เมื่อปกคลุมอยู่บริเวณหน้าผิวดินที่จุดน้ำลงและที่น้ำไหลซึมไปถึงทำให้ดินบริเวณมีสภาพเป็นแบบแอนแอโรบิกและดินมีสภาพเป็นกรดอ่อน ( $\text{pH} \approx 5.17-5.47$ ) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแก๊สได้และมีผลทำให้ไนไตรต์ ไนเตรต ถูกปลดออกซิเจนโดยการกระตุ้นของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดขึ้นเป็นชั้นๆจนเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สไนโตรเจนได้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และอีกสาเหตุคือในสภาวะแอนแอโรบิกหญ้าไม่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศลงมาในดินได้และจุลินทรีย์กับสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะพวก





ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง%ไนโตรเจนในดิน กับ ภาระบรรทุกไนโตรเจน



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในดิน กับ ภาระบรรทุกฟอสฟอรัส

แบคทีเรียจะทำงานเต็มประสิทธิภาพเมื่อปฏิกิริยาใกล้เป็นกลาง (pH 7) เมื่อดินเป็นกรดจุลินทรีย์จะทำงานได้ช้ากิจกรรมของจุลินทรีย์ดินจะควบคุมระดับ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกัมมะถัน ที่พืชจะนำไปใช้เป็นประโยชน์เพราะจุลินทรีย์ดินเกี่ยวข้องกับกระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้ ออกจากอินทรีย์วัตถุ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541) และพบว่าดินที่มีสภาพเป็นกรด (pH 6) กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นและจะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อดินที่มีสภาพเป็นกรดมาก (สมศักดิ์ วังไน, 2528) และในสภาวะแอนแอโรบิกก็ทำให้ฟอสฟอรัสสูญเสียไปในรูปการระเหย โดยทั่วไปแล้วสารประกอบจำพวกออร์โทฟอสเฟตในสภาพดินไร่จะไม่มี การระเหย แต่ดินในแปลงที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีสภาพเป็นแอนแอโรบิกจะมีการสูญเสียในรูปของ phoshine ( $\text{PH}_3$ ) มีการทดลองในหลอดแก้วให้น้ำท่วมดินนานๆเกิดปฏิกิริยา ผลิตออกซิเจนพบว่ามี phoshine ระเหยออกมา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541)

#### 4.4.1 อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้า

การเจริญเติบโตของหญ้าทั้ง 3 ชนิดคือ หญ้าขน หญ้าสตาร์ และหญ้ารูซี่ในแปลงทดลองที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว และที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว ซึ่งการทดลองครั้งนี้จะทำการตัดหญ้าทุกๆ 1 เดือน ผลผลิตของหญ้าที่ได้แสดงในตารางที่ 1ค ถึง 4ค (ในภาคผนวก ก.) สามารถสรุปได้ดังนี้

แปลงหญ้าขนที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 621.8, 857.5, 995, 1287.4 กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน ตามการระบายรทุกน้ำที่เข้าแปลงทดลองคือ 0.61, 0.79, 1.11, และ 1.85 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลผลิตของหญ้าขนที่ได้แสดงในภาพที่ 4.9

แปลงหญ้าสตาร์ที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 384.4, 547.2, 695, 895.14 กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน ตามการระบายรทุกน้ำที่เข้าแปลงทดลองคือ 0.61, 0.79, 1.11, และ 1.85 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลผลิตของหญ้าสตาร์ที่ได้แสดงในภาพที่ 4.10

แปลงหญ้ารูซี่ที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 281.2, 489.8, 688.4, 846.5 กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน ตามการระบายรทุกน้ำที่เข้าแปลงทดลองคือ 0.61, 0.79, 1.11, และ 1.85 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลผลิตของหญ้ารูซี่ที่ได้แสดงในภาพที่ 4.11

แปลงหญ้าขนที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 218.3, 301.4, 352, 395.6 กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน ตามภาระบรทุกน้ำที่เข้าแปลงทดลองคือ 0.61, 0.79, 1.11, และ 1.85 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลผลิตของหญ้าขนที่ได้แสดงในภาพที่ 4.12

แปลงหญ้าสตาร์ที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 145.9, 245.3, 331.3, 417.4 กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน ตามภาระบรทุกน้ำที่เข้าแปลงทดลองคือ 0.61, 0.79, 1.11, และ 1.85 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลผลิตของหญ้าสตาร์ที่ได้แสดงในภาพที่ 4.13

แปลงหญ้ารูซี่ที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 141.7, 225.4, 369.4, 516 กิโลกรัมต่อไร่ต่อเดือน ตามภาระบรทุกน้ำที่เข้าแปลงทดลองคือ 0.61, 0.79, 1.11, และ 1.85 เมตรต่อปี ตามลำดับ ผลผลิตของหญ้ารูซี่ที่ได้แสดงในภาพที่ 4.14

จากการศึกษาทดลองพบว่าการเจริญเติบโตของหญ้าทั้ง 3 ชนิดคือ หญ้าขน หญ้าสตาร์ และหญ้ารูซี่ ในแปลงที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว หญ้าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าหญ้าในแปลงที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว โดยดูจากน้ำหนักหญ้าแห้งที่เก็บเกี่ยวได้ จากหญ้าทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองและดินในแปลงที่รับน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมีสภาพความเป็นกลาง (pH 7) เหมาะสมกว่าดินในแปลงที่รับน้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวซึ่งมีสภาพความเป็นกรดอ่อน (pH 5)

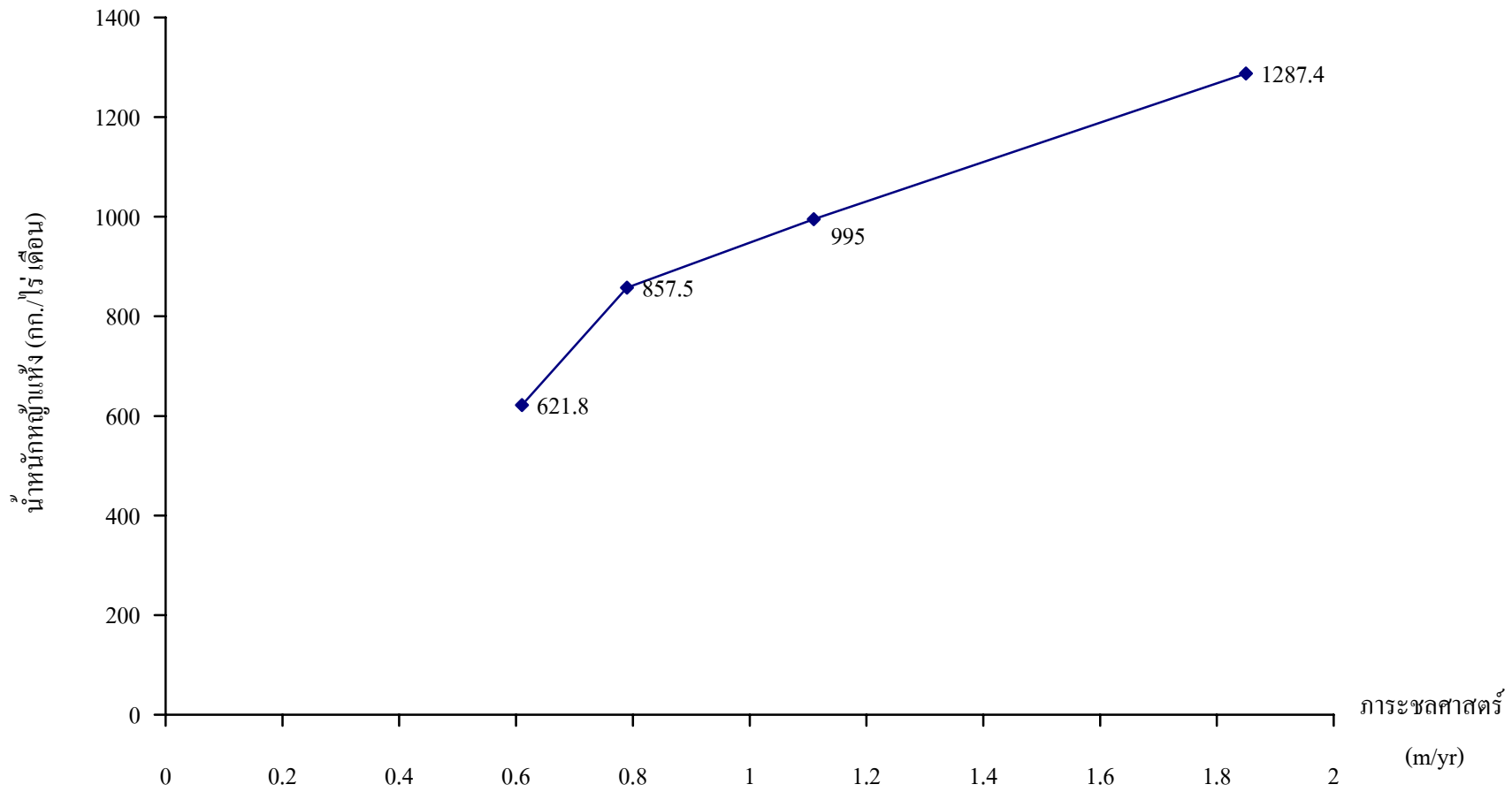
#### 4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปสมการที่ 2.6 จากการทดลองได้ผลการทดลองตามตารางที่ 1x ถึง 4x (ภาคผนวก ข.) นำค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงที่ที่ได้ในแต่ละการทดลองคือที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 3, 5, 7, 9 วัน มาแทนค่าในสมการที่ 2.6 จะได้ดังนี้

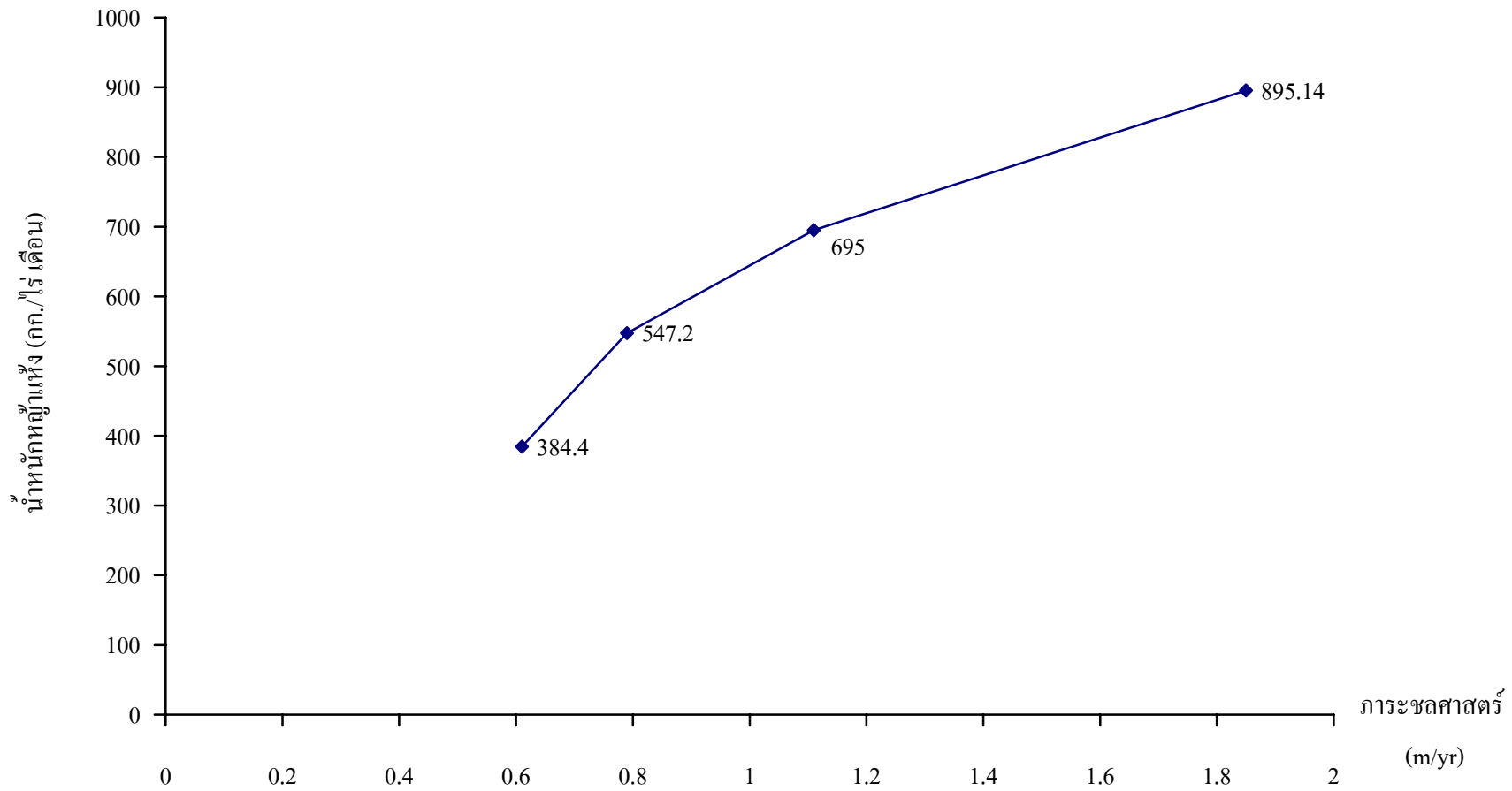
$$\frac{S}{S_0} = \exp[-kS_a^b \left(\frac{Q}{\beta V}\right)^{-c}] \quad (2.6)$$

$$0.0144 = \exp(-k \times 102^b \times 3.704^{-c}) \quad (4.6)$$

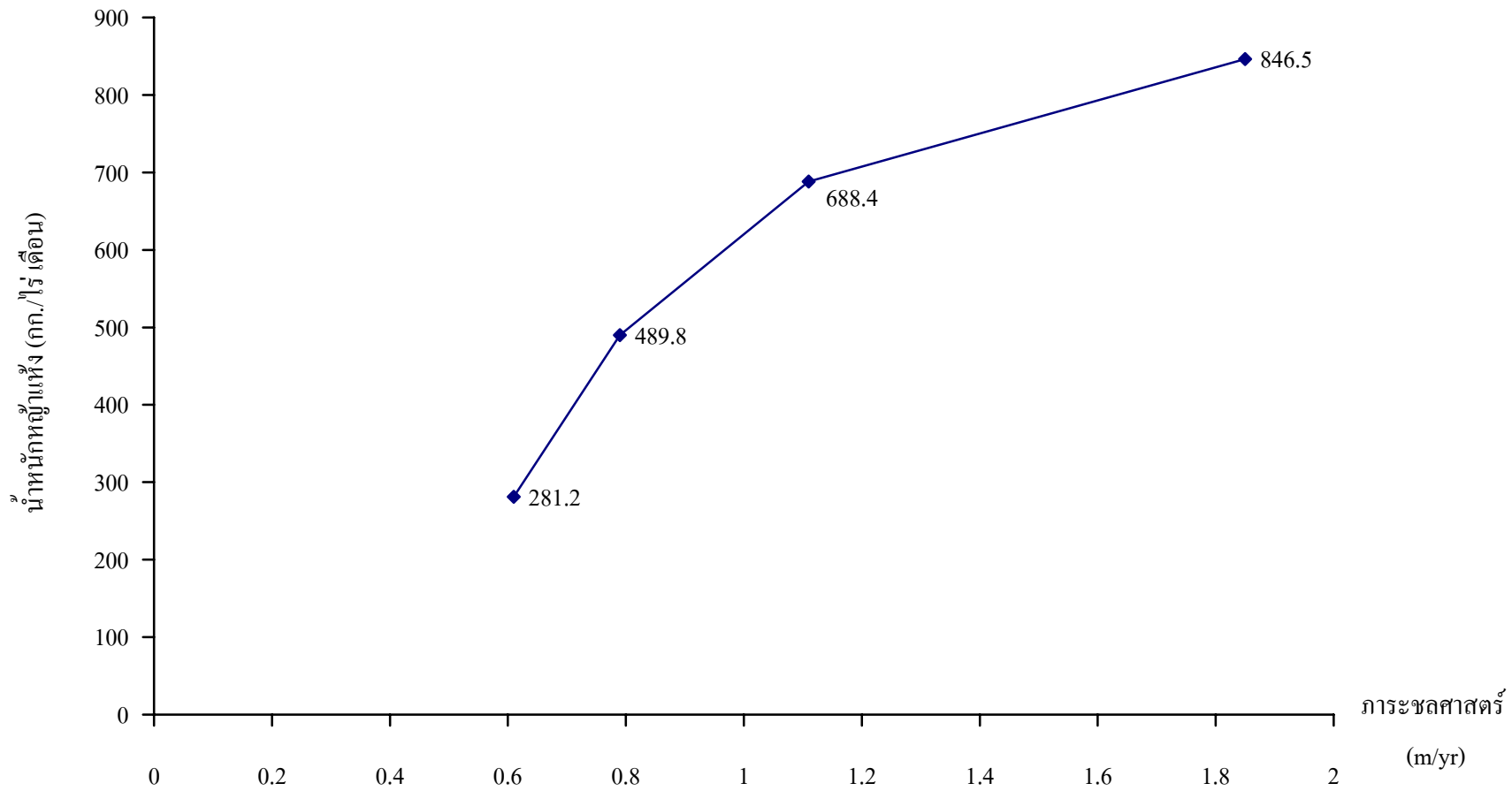
$$0.0218 = \exp(-k \times 102^b \times 4.760^{-c}) \quad (4.7)$$



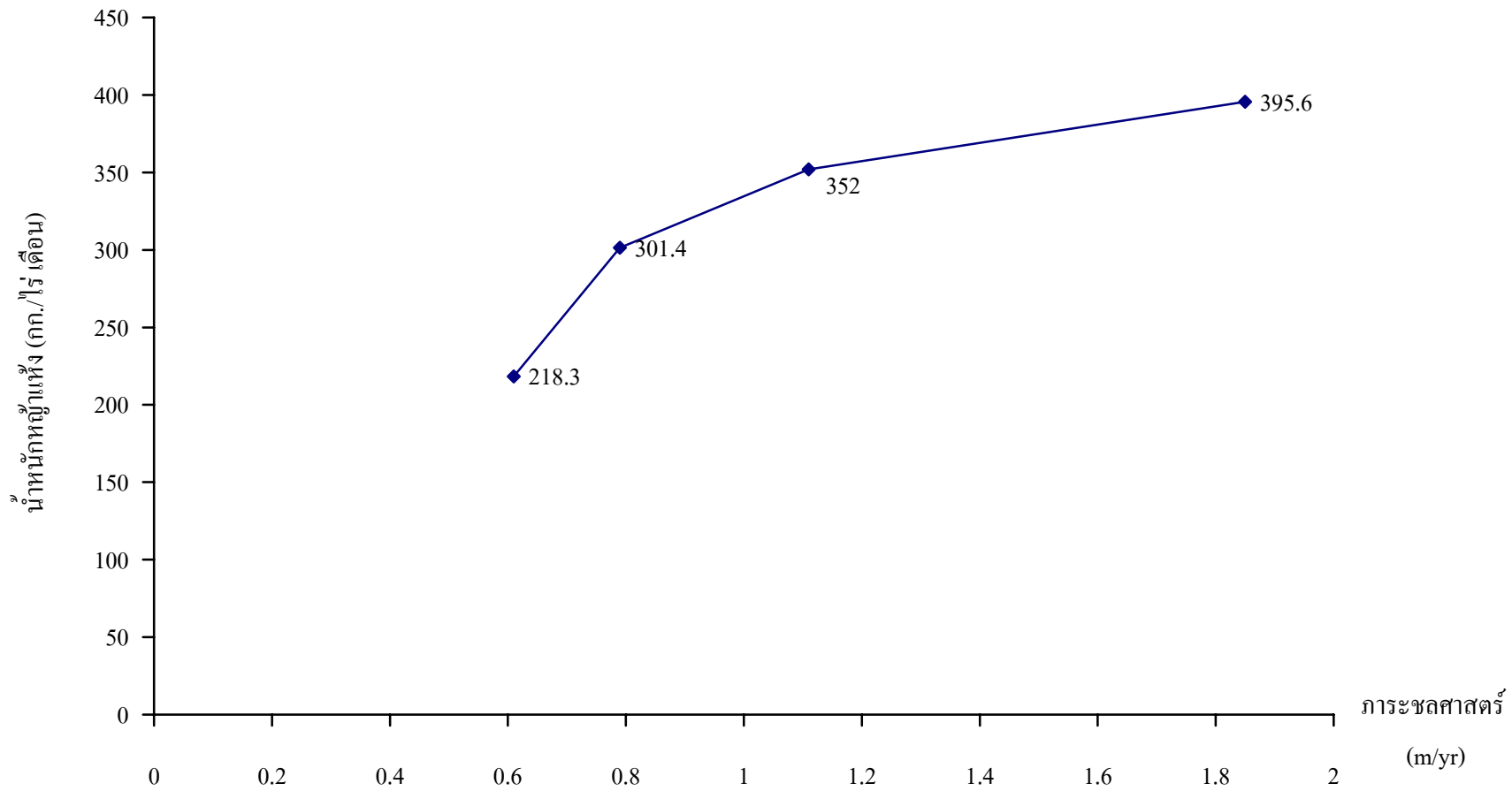
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักขน กับ การชะลศาสตร์  
(แปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนเอ โรบิคแบบคิตผิว)



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหฐน้ำแห้งกับการชะลศาสตร์  
(แปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบคืดผิว)

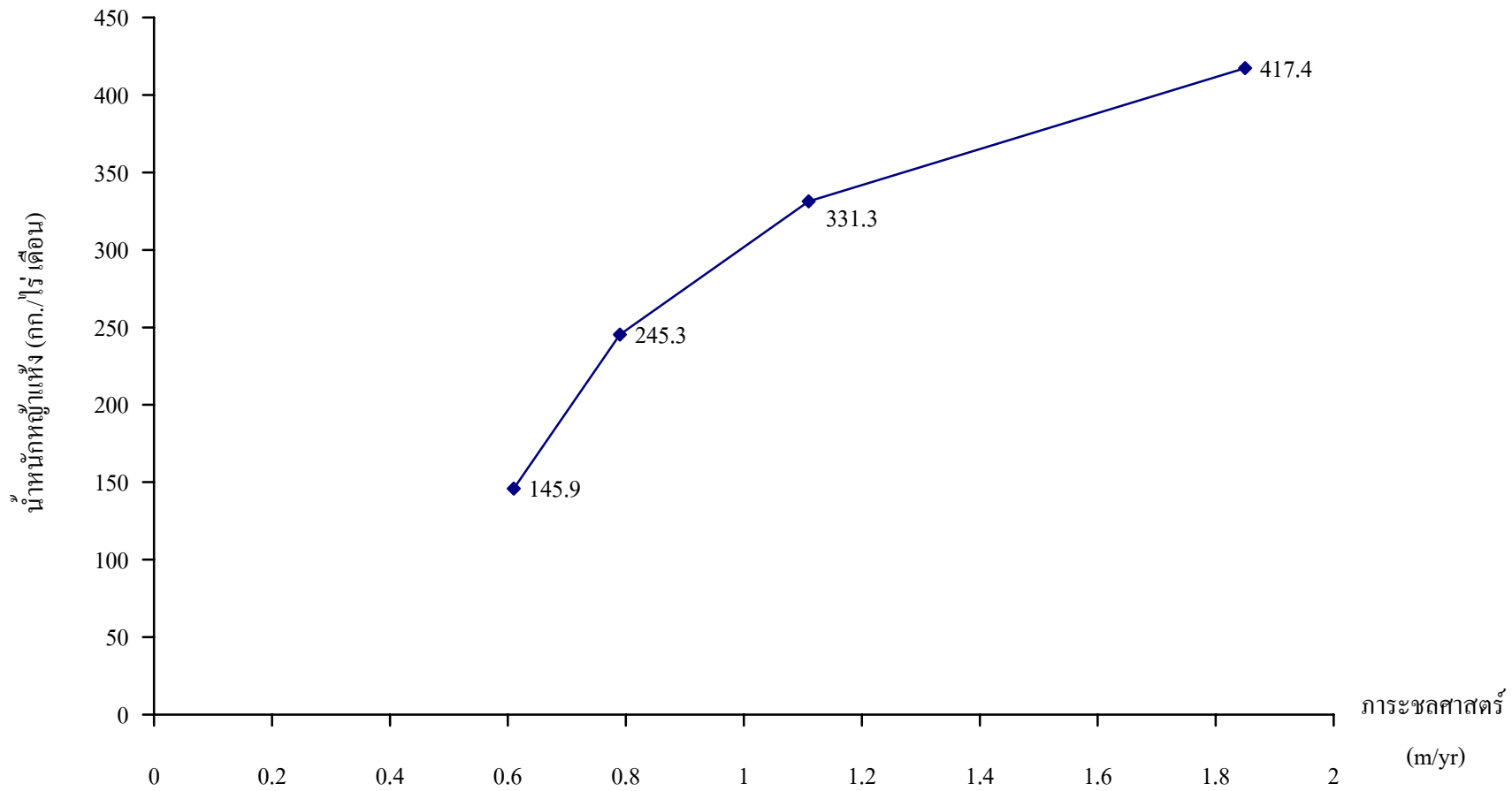


ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหฐน้ำแห้ง กับ การระเหยศาสตร์  
(แปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว)

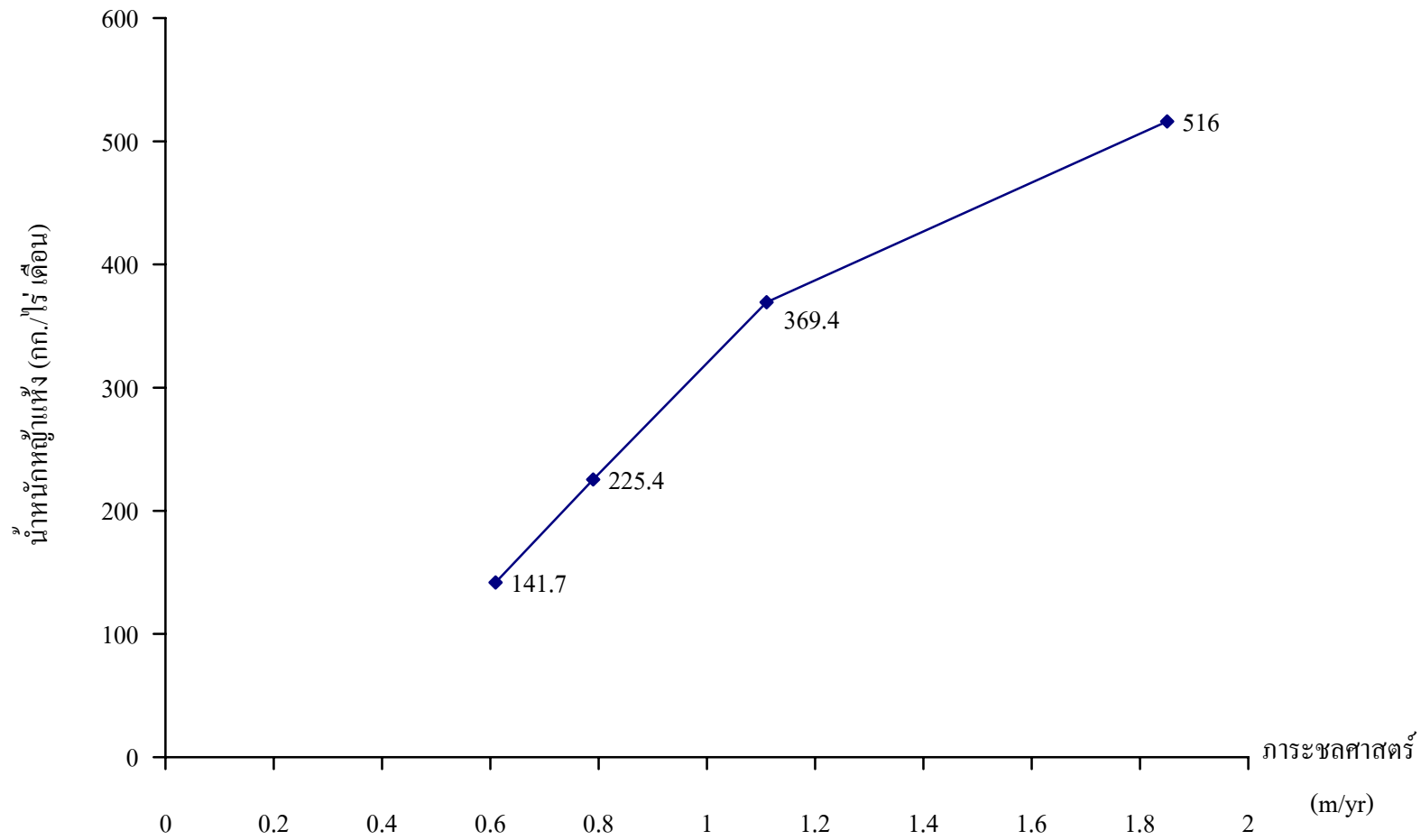


ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหฐน้ำแห้ง กับ การชะลศาสตร์  
 (แปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบคืดผิว)





ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักหฐาแห้งกับการระกลศาสตร์  
(แปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบคิดผิว)



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักกัญแก้ง กับ การชะลศาสตร์  
(แปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว)

$$0.0299 = \exp(-k \times 102^b \times 6.667^{-c}) \quad (4.8)$$

$$0.0469 = \exp(-k \times 102^b \times 11.11^{-c}) \quad (4.9)$$

จากสมการ 4.6 ถึง 4.9 สามารถแก้สมการหาค่าคงที่ได้โดยการลองผิดลองถูกซึ่งได้ค่า  $b = 0.77$   $c = 0.33$  และ  $k = 0.186$  Shin (1987) ทำการทดลองโดยบ่อที่หนึ่งเป็นบ่อแอนแอโรบิกแบบไม่มีตัวกลางและต่อด้วยบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวได้ค่า  $c = 0.44$   $k = 0.35$  ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า  $b$ ,  $c$  และ  $k$  ที่ได้เป็นค่าที่เหมาะสมกับน้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้บ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว ที่อัตราการระบรทุกอยู่ในช่วง 1.05-3.69 kg COD/m<sup>2</sup>.d

#### 4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกรองด้วยหญ้า

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวกับน้ำเสียที่ปล่อยลงแปลงทดลองโดยตรงได้ผลการทดลองตามตารางที่ 1ค ถึง 4ค (ในภาคผนวก ค.) และแสดงในภาพที่ 4.15 ถึง 4.17 นำค่าที่ได้ในแต่ละการทดลองมาหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เพื่อหาค่าแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรู้อาชีพที่ได้กับการชะลสารที่ปล่อยเข้าแปลงทดลองโดยผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวของ หญ้าขน หญ้าสตาร์และหญ้ารู้อาชีพ แสดงในสมการที่ 4.10 ถึง 4.12 และน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกของ หญ้าขน หญ้าสตาร์ และหญ้ารู้อาชีพ แสดงในสมการที่ 4.13 ถึง 4.15 ตามลำดับพบว่ามีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกคือแปรผันตรงต่อกัน โดยเมื่อค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพิ่มขึ้นหรือลดลง อีกตัวแปรหนึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยนั่นคือเมื่อเพิ่มการชะลสารให้กับหญ้าผลผลิตหญ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อทดสอบความแปรปรวนของหญ้าทั้ง 3 ชนิดพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ (P-value)  $\alpha = 0.05$  สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) สามารถนำค่าตัวแปรอิสระมาพยากรณ์ตัวแปรตามได้แสดงในตารางที่ 4.6

น้ำหนักรู้อาชีพที่ได้จากแปลงที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

$$\text{น้ำหนักรู้อาชีพขน} = 492.66Q + 403.42 \quad (4.10)$$

$$\text{น้ำหนักรู้อาชีพสตาร์} = 384.61Q + 211.21 \quad (4.11)$$

$$\text{น้ำหนักรู้อาชีพรู้อาชีพ} = 417.62Q + 121.27 \quad (4.12)$$



แปลงหญ้าชนที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว



แปลงหญ้าชนที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว

ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบหญ้าชนที่รับน้ำที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว



แปลงหญ้าสดาร์ที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว



แปลงหญ้าสดาร์ที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว

ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบหญ้าสดาร์ที่รับน้ำที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว





แปลงหญ้าที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว



แปลงหญ้าที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบหญ้าที่รับน้ำที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ชนิดหญ้า	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ )	ระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$
หญ้ายาง*	0.941	0.030
หญ้าสตาร์*	0.938	0.032
หญ้ารูซี่*	0.869	0.068
หญ้ายาง**	0.81	0.100
หญ้าสตาร์**	0.89	0.560
หญ้ารูซี่**	0.952	0.024

\*น้ำที่ปล่อยเข้าแปลงทดลองโดยผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

\*\*น้ำที่ปล่อยเข้าแปลงทดลองโดยไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

น้ำหนักหญ้าที่ได้จากแปลงที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว

$$\text{น้ำหนักหญ้ายาง} = 125.21Q + 180.34 \quad (4.13)$$

$$\text{น้ำหนักหญ้าสตาร์} = 260.61Q + 66.31 \quad (4.14)$$

$$\text{น้ำหนักหญ้ารูซี่} = 293.76Q - 7.07 \quad (4.15)$$

เมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าผลผลิตหญ้าที่ได้ นั้นสามารถยอมรับได้ในแปลงหญ้าที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองมีพื้นที่มากกว่าภาวະชลศาสตร์ที่ปล่อยเข้าแปลงทดลอง สามารถสังเกตได้จากสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) มีแนวโน้มเป็นสมการเส้นตรงเพราะว่าเมื่อเพิ่มภาวະชลศาสตร์ให้กับแปลงทดลองมากขึ้นการแพร่ซึมของน้ำที่เพิ่มเข้าไปจะแพร่ซึมได้เป็นบริเวณกว้างขึ้นและปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส) ที่เพิ่มเข้าไปตามภาวະชลศาสตร์จึงทำให้น้ำหนักหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้มีปริมาณมากขึ้นด้วย แต่ถ้าพื้นที่ถูกจำกัดการเพิ่มปริมาณน้ำให้กับแปลงทดลองในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ได้น้ำหนักหญ้าที่มากที่สุดที่จุดๆหนึ่ง (จุดอิ่มตัว) คือเมื่อให้ภาวະชลศาสตร์และปริมาณสารอาหารในปริมาณที่มากขึ้นหญ้าก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้อีก จึงสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ จากการทดลองครั้งนี้จึงไม่สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ตามที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าน้ำเสียตัวอย่างมีลักษณะดังนี้คือ COD = 11,023 mg/L, TKN = 170 mg/L, TP = 17.42 mg/L, SS = 2,997 mg/L, pH = 4.16, Acetic acid = 1217.8 mg/L, Propionic acid = 1745.7 mg/L, Lactic acid = 871.77 mg/L, Butyric acid = 3109.9 mg/L เมื่อน้ำเสียผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวแล้วมีค่าเฉลี่ยของ COD = 305 mg/L, TKN = 123 mg/L, TP = 11.5 mg/L และ SS = 1568 mg/L สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายในบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวของน้ำออกมี Acetic acid = 1.24 mg/L, Propionic acid = 10.6 mg/L, Lactic acid = 28.3 mg/L, Butyric acid = 4.7 mg/L เหลืออยู่ในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับของน้ำเข้าและแปลงหญ้าที่รับน้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวพบว่า หญ้าขน หญ้าสตาร์ และหญ้ารูซี่ มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากกว่าแปลงหญ้าที่รับน้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว พบว่าหญ้าทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตช้าเนื่องจากสภาพดินเป็นดินเปรี้ยวไม่เหมาะสมที่จะนำมาบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชมีการนำธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ไปใช้ในการเจริญเติบโตในระดับหนึ่ง เมื่อนำไปใช้ไม่หมดทำให้มีการสะสมของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ในดินเพิ่มขึ้นทั้งในแปลงที่รับน้ำที่ผ่านและไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว สำหรับการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวจากสมการ  $S/S_0 = \exp(-kS_a^b Q_v^{-c})$  ได้ค่า  $b = 0.77$ ,  $c = 0.33$  และ  $k = 0.186$

#### 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวและการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร ทำการทดลองโดยนำน้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิวมาทดลองในแปลงหญ้าโดยใช้ดินหลายๆชนิด (แยกชนิดดินในแต่ละแปลง) มาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เหมาะสมในดินแต่ละชนิด
2. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับน้ำใต้ดินในธรรมชาติ เพื่อป้องกันปัญหาทางด้านการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน



## เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. (2539). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**. เล่มที่3. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มิตร นราการพิมพ์.
- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. (2543). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**. เล่มที่4. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มิตร นราการพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จารุรัตน์ วรนิสรากุล และ พิสมัย เอี่ยมสกุลรัตน์. (2530). **เอกสารสัมมนาวิชาการเรื่องคุณภาพน้ำทิ้งรวมของโรงแป่งมันสำปะหลังที่สำคัญต่อการออกแบบระบบบำบัด**. หน้า 1-22. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และ คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เฉลิมพล แซมเพชร. (2530). **หญ้าและถั่วอาหารสัตว์เมืองร้อน**. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์ กรุงเทพมหานคร.
- ชัชวาลย์ เรืองประพันธ์. (2543). **สถิติพื้นฐาน**. พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สำนักพิมพ์ขอนแก่นการพิมพ์.
- วิบูรณ์ วิสุทธิศักดิ์ และ ชงชัย พรรณสวัสดิ์. (2540). **วิเคราะห์น้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.
- เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. (2537). **ทางเลือกใหม่ของการบำบัดน้ำเสีย**. วิศวกรรมสาร ฉบับ ว.ส.ท. เทคโนโลยี 47(9): หน้า 83-84.
- พูนสุข ประเสริฐสรทรัพย์. (2542). **การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร. (2536). **การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ไบโอรีแอกเตอร์แบบปริมาตรแปรเปลี่ยน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศิราภรณ์ โตเต็ม. (2536). **การใช้พลาสมาเดียวเป็นตัวกลางยึดเกาะในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

- ศุภา กานตวนิชกูร. (2538). การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เสนีย์ กาญจนวงศ์. (2543). เอกสารประกอบการแสดงข่าวและดูงานแปลงสาธิตโครงการวิจัยการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุเมธ ชวเดช. (2530). ลักษณะสมบัติเมือกจุลินทรีย์. การสัมมนาทางวิชาการระดับชาติเทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2538). ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพมหานคร.
- สมศักดิ์ วั่งใน. (2528). จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- หน่วยวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทยและกองช่างสุขาภิบาลกรมอนามัย. วิศวกรรมการจัดการและกำจัดน้ำโสโครกจากโรงงานอุตสาหกรรม กรกฎาคม 2515.
- อุดมผล พิชนั้ไพบูลย์. (2544). การศึกษาการนำน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่มารดสนามหญ้า. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Alivoio, G.M. (1968). **Studies on high rate anaerobic stabilization pods.** Master's Thesis, No.193, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Association of Official Analytical Chemists. (1997). **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 16<sup>th</sup> ed., Vol 1 Maryland.
- APHA, AWWA and WPCF. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 18<sup>th</sup> ed., Washiton, DC.
- Bolneni, V.P. (1979). **Land treatment and disposal of argo-industrial wastes.** Master's Thesis, No.915, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Bruce, A.M. and Merkens, J.C. (1973). Further Study of Partial Treatment of Sewage by High-Rate Biological Filtration. **Journal of Water Pollution Control.** Vol.72, pp.474-486.
- Buurman, P. Van Lagen, B & Velthorst, E.J. (1996). **Manual for soil and water analysis.** Backhuys Publishers Leiden.

- Charin, T. (1968). **Anaerobic treatment of tapioca starch waste**. Master's Thesis, No.228, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- 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.
- Eckenfelder, W.W. (2000). **Industrial Water Pollution Control**. McGraw-Hill, New York.
- EPA. (1981). **Process Design Manual for land Treatment of Municipal wastewater**. EPA-625/1-81-013. US Environmental protection Agency. Washington D.C.
- Frank, M. (1982). **Land Treatment of Municipal Wastewater**. Ann Arbor Science Publishers, Michigan.
- Gaudy, A.F. Ramanathan, M. and RAO, B.S. (1967). Kinetic Behavior of Heterogeneous Populations in Completely Mixed Reactors. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol.9, No.3, pp.387-411.
- Gaudy, A.F., Yang, P.Y., Bustamante, R., and Gaudy, E.T. (1973). Exponential Growth in Systems Limited by Substrate Concentration. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol.15, No.3, pp.589-596.
- Hartmann, L.C. (1967). Influence of Turbulence on Bacterial Slimes. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.39, No.6, pp.958-964.
- Hegg, R.O., and Turner, A.K. (1983). Overland flow as a method of treatment for animal waste. **Journal of Agricultural Wastes**. Vol.8, No.3, pp.167-184.
- Hoehn, R.C. and Ray, A.D. (1973). Effects of Thickness on Bacterial Film. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.45, No.11, pp.2302-2320.
- Jenkins, T.F., D.C. Leggett, and C.J. Martel. (1980). Removal of Volatile Trace Organic From Wastewater by Overland Flow Land Treatment. **Journal Environmental Science Health**. Vol.15, pp.211-224.
- Kobayashi, T., Van Dedem, G. and Moo-Young, M. (1973). Oxygen Transfer into Mycelia Pellets. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol.15, No.1, pp.27-45.
- Konegay, B.H. and Andrews, J. F. (1970). Kinetics of Fixed-film Biological Reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.40, No.11, pp.1460-1468.

- La Motta, E.J. (1976). Kinetics of Growth and Substrate Uptake in a Biological Film System. **Applied and Environmental Microbiology**. Vol.31, No.2, pp.286-293.
- Lee, C.R. and Peters, R.E. (1976). Overland Flow Treatment of a Municipal Lagoon Effluent for Reduction of Nitrogen, Phosphorus, Heavy Metals, and Coliforms. **Progress in Water Technology**. pp.175-184.
- Loehr, R.C. and Ruf, J.A. (1968). Anaerobic Lagoon Treatment of Milking Parlor Waste. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.40, No.1, pp.83-94.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991). **Wastewater Engineering-Treatment, Disposal and Reuse**. 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill, Singapore.
- Namkung, E. et al. (1983). Predicting Removal of Trace Organic Compounds by Biofilms. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.55, No.11, pp.1366-1372.
- Napatnaraporn, N. (1987). **Photosynthetic Bacteria from Cassava Waste: a Multipurpose Feed Supplement**. Paper presented at UNEP / TISTR / Bangkok MIRCEN Regional Workshop, Upgrading of Cassava / Cassava Wastes by Appropriate Biotechnologies. November 24-26, Bangkok, Thailand.
- Polprasert, C. (1996). **Organic waste recycling**. 2<sup>nd</sup> ed., Chichester, England.
- Rittman, B.E. (1989). **Mathematical Modeling of Fixed- Film Growth**. Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering, pp. 39-55. U.S.A.: Lewis Publishers.
- Rusten, B. (1984). Wastewater Treatment with Aerated Submerged Biological filters. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.56, No.5, pp.424-431.
- Siegerist, H. and Gujer, W. (1985). Mass Transfer Mechanisms in a Heterotrophic Biofilm, **Water Resources**. Vol.19, No.11, pp.1369-1378.
- Shin, Hyun-Kook. (1987). **Attached-Growth Waste Stabilization Pond Treatment**. Ph.D. Thesis, No. 2, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Somma, C. (1986). **Kinetics of Anaerobic Waste Stabilization pond Treatment**. Master's Thesis, No. 18, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Tanticharoen, M. and Bhumirattana, S. (1986). Energy from Biomass. **Proceeding of Regional Training Workshop on Energy from Biomass**. Bangkok, Thailand. 3-7 March.
- Thorntwaite Associates. (1969). The Growth and Nutrient Uptake of Forage Grasses When Receiving Various Application Rates of Wastewater. **State of Knowledge in Land**

- Treatment of Wastewater**, Hanover, NH 03755, August 20-25, 2: pp.157-163.
- Tomlinson, T.G. and Snaddon, D.H.M. (1966). Biological Oxidation of Sewage by Films of Microorganisms. **Journal Air and Water Pollution**. Vol.10, pp. 865-881.
- Uddin, M.S. (1970). **Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Waste**. Master's Thesis, No.440, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Unkulvasapaul, Y. (1975). **Evaluation and Treatment of wastes from the Tapioca Starch Industry**. Master's Thesis, No. 882, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- U.S. EPA. (1981). **Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater**. EPA-625/1-81-013. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Wilcock, R.J. (1984). **Land Treatment of Wastes**. Ministry of Work and Development, Wellington North, New Zealand.
- Williamson, K.J. and McCarty, P.L. (1975). Rapid Measurements of Monod Half-Velocity Coefficients. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol.17, No.6, pp.915-924.
- Williamson, K.J. and McCarty, P.L. (1976). A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.48, No.1, pp.9-24.
- Witherow, J.L., and Bledsoe, B.E. (1986). Design model for the overland flow process. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol.58, No.5, pp.381-386.

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษารติดตาม

ตารางที่ 1ก ผลการทดลองและการคำนวณของการศึกษาสารติดตาม

Time (min)	$\Delta t_i$	C (NaCl) (mg/L)	$C_i = \frac{C}{C_o}$	$C_i \Delta t_i$	$t_i C_i \Delta t_i$	$t_i^2 C_i \Delta t_i$
0	0	0	0	0	0	0
60	60	0	0	0	0	0
120	60	0	0	0	0	0
180	60	49.5	0.001	0.089	16.03	2885.9
240	60	222.7	0.007	0.401	96.20	23087.6
300	60	263.9	0.008	0.475	142.52	42754.7
360	60	329.9	0.010	0.594	213.77	76958.5
420	60	445.4	0.013	0.802	336.69	141411.3
480	60	470.1	0.014	0.846	406.17	194961.6
540	60	379.4	0.011	0.683	368.76	199130.2
600	60	247.4	0.007	0.445	267.21	160330.3
660	60	181.4	0.005	0.327	215.56	142266.4
720	60	140.2	0.004	0.252	181.71	130829.5
780	60	90.7	0.003	0.163	127.37	99351.3
840	60	82.5	0.002	0.148	124.70	104749.1
900	60	82.5	0.002	0.148	133.61	120247.7
960	60	74.2	0.002	0.134	128.26	123133.7
1020	60	74.2	0.002	0.134	136.28	139006.4
1080	60	66	0.002	0.119	128.26	138525.4
1140	60	66	0.002	0.119	135.39	154344.6
1200	120	57.7	0.002	0.208	249.40	299283.2
			$\Sigma$	6.09	3407.9	2293257.7

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษานี้



ตารางที่ 1ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน

ลำดับที่	COD น้ำเข้า	COD น้ำออก	%การกำจัด	pH น้ำเข้า	pH น้ำออก
1	12739.54	469.23	96.32	4.4	6.83
2	12356.35	501.92	95.94	4.42	6.83
3	12356.35	432.93	96.50	4.33	6.85
4	15996.3	586.21	96.34	4.38	6.85
5	13697.4	578.55	95.78	4.39	6.86
6	13122.68	555.56	95.77	3.41	6.81
7	10966.8	532.57	95.14	4.37	6.86
8	10966.8	548.19	95.00	4.33	6.82
9	10774.4	503.74	95.32	4.38	6.8
10	12121.2	555.6	95.42	4.27	6.77
11	12313.6	540.78	95.61	3.99	6.81
12	11240.4	519.38	95.38	4.01	6.84
13	12015.6	534.89	95.55	3.96	6.82
14	10271.4	527.14	94.87	4.2	6.82
15	10852.8	503.88	95.36	4.32	6.71
16	10465.2	511.63	95.11	4.38	6.62
17	10769.25	515.38	95.21	4.42	6.64
18	10769.25	507.69	95.29	4.37	6.69
19	10966.8	511.54	95.34	4.31	6.72
20	10961.56	515.38	95.30	4.33	6.71

ตารางที่ 2ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน

ลำดับที่	COD เข้า	COD ออก	%การกำจัด	pH เข้า	pH ออก
1	12597	449.62	96.43	4.03	7.08
2	12403.2	492.252	96.03	4.15	7.01
3	11580.52	486.77	95.80	4.38	6.95
4	12561.92	456.9	96.36	4.56	6.93
5	13935.88	441.8	96.83	3.97	6.94
6	13739.6	438.02	96.81	3.76	6.94
7	13426	430.46	96.79	3.98	6.86
8	13034	405.72	96.89	3.92	6.88
9	13426	401.8	97.01	3.98	6.84
10	12054	392.7	96.74	3.86	6.82
11	11858	390.81	96.70	3.91	6.82
12	11580.52	361.4	96.88	4.27	6.85
13	13426	353.3	97.37	4.45	6.89
14	13230	343.62	97.40	4.31	6.92
15	13034	337.6	97.41	4.29	7.03
16	13122.68	329.75	97.49	4.35	7.06
17	13218.47	337.17	97.45	4.38	7.01
18	13026.9	342.07	97.37	4.56	6.99
19	13410.04	335.62	97.50	4.44	7.03
20	13697.4	329.5	97.59	4.38	7.04
21	13526.9	332.5	97.54	4.34	7.08

ตารางที่ 3ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน

ลำดับที่	COD เข้า	COD ออก	%การกำจัด	pH เข้า	pH ออก
1	10931.52	296.32	97.29	4.51	7.18
2	10766.24	259.26	97.59	4.56	7.22
3	10519.4	240.76	97.71	4.48	7.42
4	12140.4	206.57	98.30	4.31	7.37
5	11596.8	217.44	98.13	4.44	7.53
6	11234.4	173.95	98.45	4.51	7.45
7	10690.8	206.57	98.07	4.48	7.55
8	11053.2	217.44	98.03	4.45	7.55
9	10328.4	217.44	97.89	4.45	7.53
10	10344.2	268.94	97.40	4.26	7.43
11	10516.4	258.6	97.54	4.28	7.41
12	12757	279.29	97.81	4.36	7.41
13	12930	237.91	98.16	4.41	7.38
14	13447.2	248.26	98.15	4.4	7.25
15	10310.24	289.63	97.19	4.45	7.2
16	12585.2	206.57	98.36	4.47	7.17
17	12930	217.44	98.32	4.45	7.02
18	12240.4	217.44	98.22	4.37	7.03
19	10861.2	268.94	97.52	4.39	7.09
20	12454.4	258.6	97.92	4.45	7.08
21	12564.8	279.29	97.78	4.33	7.11
22	12723.2	237.91	98.13	4.29	7.11
23	12185.6	248.26	97.96	4.45	7.07
24	12364.8	289.63	97.66	4.47	7.01
25	11331.24	246.1	97.83	4.41	7.04
26	9994.08	292.98	97.07	4.41	6.95
27	10594.08	257.82	97.57	4.37	6.95
28	10351.96	199.23	98.08	4.32	7.04

ตารางที่ 3ข (ต่อ)

ลำดับที่	COD เข้า	COD ออก	%การกำจัด	pH เข้า	pH ออก
29	10742.6	257.82	97.60	4.38	7.05
30	10937.92	237.91	97.82	4.42	7.11
31	15051.6	224.1	98.51	4.33	7.17
32	9887.16	220.76	97.77	4.38	7.12
33	9532.68	227.45	97.61	4.4	7.08
34	9811.36	226.42	97.69	4.36	7.15
35	9622.68	222.64	97.69	4.48	7.07
36	9434	225.21	97.61	4.42	7.05
37	11864.4	216.57	98.17	4.47	7.08
38	11487.76	225.99	98.03	4.45	7.14
39	10922.79	233.52	97.86	4.41	7.09
40	10546.11	222.22	97.89	4.43	7.09
41	9981.17	218.46	97.81	3.99	7.08
42	9925.84	228.48	97.70	4.01	7.11
43	10300.4	235.97	97.71	4.21	7.06
44	10039.45	236.22	97.65	4.28	7.04
45	9645.45	232.28	97.59	4.4	7.03

ตารางที่ 4ข ผลการวิเคราะห์ค่า COD (mg/L) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 9 วัน

ลำดับที่	COD เข้า	COD ออก	%การกำจัด	pH เข้า	pH ออก
1	13637	531.01	96.11	4.17	7.02
2	12830.4	364.34	97.16	4.42	6.96
3	13328	419.44	96.85	4.32	6.95
4	13111.6	513.52	96.08	3.96	7.06
5	14677.2	568.4	96.13	4.01	7.04
6	11446.4	576.47	94.96	4.38	6.96
7	15362	416.64	97.29	4.33	6.94
8	14586.1	408.7	97.20	4.42	6.98
9	14071.11	352.8	97.49	4.45	7.08
10	11553.4	376.36	96.74	4.47	7.13
11	11037.78	374.54	96.61	4.4	7.03
12	11132.12	370.71	96.67	4.45	7.12
13	10943.14	367	96.65	4.03	7.22
14	11764.7	375	96.81	4.38	7.41
15	9996	337.74	96.62	4.32	7.38
16	9411.84	347.17	96.31	4.44	7.31
17	8729.6	356.6	95.92	4.27	7.22
18	8582.13	333.2	96.12	4.41	7.06
19	9852.64	341.51	96.53	4.37	7.01
20	7212.14	347.17	95.19	4.33	7.09
21	7532.8	337.74	95.52	4.38	7.08
22	7909.44	345.28	95.63	3.96	7.14
23	8552.32	276.68	96.76	4.15	7.17
24	7933.5	166.04	97.91	4.37	7.2
25	8549.64	148.16	98.27	4.41	7.15
26	8131.49	140.53	98.27	4.16	7.13
27	8726.4	128.26	98.53	4.41	7.06
28	8189	129.94	98.41	4.39	7.17

ตารางที่ 4ข (ต่อ)

ลำดับที่	COD เข้า	COD ออก	%การกำจัด	pH เข้า	pH ออก
29	7818.72	139.36	98.22	4.43	7.22
30	9743.58	131.97	98.65	4.4	7.18
31	10966.92	140.14	98.72	4.49	7.15
32	10781.04	133.06	98.77	4.5	7.1
33	11021.5	141.37	98.72	4.21	7.17
34	9851.64	140.91	98.57	4.32	7.12
35	9665.76	138.2	98.57	4.43	7.16

ตารางที่ 5ข ผลการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่สภาวะคงที่ในแต่ละการทดลอง

ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	วันที่	ไนโตรเจนทั้งหมด		
		น้ำเข้า mg/L	น้ำออก mg/L	การกำจัด %
3	10/10/44	180.0	133.62	25.77
	11/10/44	183.68	134.18	26.95
	12/10/44	178.64	134.04	24.97
	13/11/44	181.0	134.07	25.93
	เฉลี่ย	180.83	133.98	25.91
5	16/9/44	185.64	128.2	30.94
	17/9/44	187.32	128.48	31.41
	18/9/44	188.72	128.76	31.77
	19/9/44	-	-	-
	เฉลี่ย	187.23	128.48	31.38
7	12/8/44	167.30	121.94	27.11
	13/8/44	166.18	121.38	26.96
	14/8/44	168.42	122.78	27.10
	15/8/44	166.18	122.22	26.45
	เฉลี่ย	167.02	122.08	26.91
9	12/5/44	137.62	107.5	21.89
	13/5/44	143.78	108.34	24.65
	14/5/44	155.54	108.9	29.99
	15/5/44	140.25	108.0	22.99
	เฉลี่ย	145.65	108.18	25.72

ตารางที่ 6ข ผลการวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสที่สภาวะคงที่ในแต่ละการทดลอง

ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	วันที่	ฟอสฟอรัส		
		น้ำเข้า mg/L	น้ำออก mg/L	การกำจัด %
3	10/10/44	18.15	11.48	36.75
	11/10/44	17.41	11.48	34.06
	12/10/44	17.78	13.33	25.03
	13/11/44	17.41	12.59	27.69
	เฉลี่ย	17.69	12.22	30.92
5	16/9/44	18.52	11.23	39.36
	17/9/44	17.78	11.32	36.33
	18/9/44	17.78	11.73	34.03
	19/9/44	18.15	11.78	35.10
	เฉลี่ย	18.06	11.52	36.24
7	12/8/44	17.04	11.48	32.63
	13/8/44	17.77	11.53	35.12
	14/8/44	17.04	10.98	35.56
	15/8/44	17.88	11.61	35.07
	เฉลี่ย	17.83	11.40	36.06
9	12/5/44	15.56	10.74	30.98
	13/5/44	15.56	10.98	29.43
	14/5/44	17.04	10.8	36.62
	15/5/44	16.29	10.67	34.50
	เฉลี่ย	16.11	10.80	32.98



ตารางที่ 7ข ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะคงที่ในแต่ละการทดลอง

ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	วันที่	ของแข็งแขวนลอย		
		น้ำเข้า mg/L	น้ำออก mg/L	การกำจัด %
3	10/10/44	3052	1668	45.35
	11/10/44	3252	1628	49.94
	12/10/44	3260	1656	49.20
	13/11/44	3248	1624	50.00
	เฉลี่ย	3203	1644	48.67
5	16/9/44	3108	1520	51.09
	17/9/44	3164	1504	52.47
	18/9/44	3136	1508	51.91
	19/9/44	3216	1496	53.48
	เฉลี่ย	3156	1507	52.25
7	12/8/44	2972	1536	48.32
	13/8/44	3036	1564	48.48
	14/8/44	3044	1520	50.07
	15/8/44	3148	1568	50.19
	เฉลี่ย	3050	1547	49.28
9	12/5/44	2532	1552	38.70
	13/5/44	2522	1584	37.19
	14/5/44	2555	1552	39.26
	15/5/44	2526	1604	36.50
	เฉลี่ย	2534	1573	37.92

ภาคผนวก ค.

ผลการศึกษาหน้า

ตารางที่ 1ค ปริมาณสารอินทรีย์และน้ำหนักหญ้าที่ภาระชลศาสตร์ 0.61 เมตรต่อปี

ชนิดน้ำ	ชนิดหญ้า	ไนโตรเจน %	ฟอสฟอรัส ppm	pH	น้ำหนักหญ้าสดรวม กก./ไร่.เดือน	น้ำหนักหญ้าแห้ง %	น้ำหนักหญ้าแห้งรวม กก./ไร่.เดือน
น้ำเสียผ่านบ่อกวนแอโรบิค	หญ้างวน	0.1324	120.1	7.19	1150	54.07	621.81
	หญ้าสดาร์	0.1638	337.7	7.02	630.00	61.02	384.43
	หญ้ารูซี่	0.1435	79.4	7.08	573.00	49.07	281.17
น้ำเสียไม่ผ่านบ่อกวนแอโรบิค	หญ้างวน	0.0992	83	5.32	533.00	40.96	218.32
	หญ้าสดาร์	0.1139	89.0	5.31	293	49.78	145.86
	หญ้ารูซี่	0.0959	92.3	5.34	320	44.29	141.73

ตารางที่ 2ค ปริมาณสารอินทรีย์และน้ำหนักหญ้าที่ภาระชลศาสตร์ 0.79 เมตรต่อปี

ชนิดน้ำ	ชนิดหญ้า	ไนโตรเจน %	ฟอสฟอรัส ppm	pH	น้ำหนักหญ้าสดรวม กก./ไร่ เดือน	น้ำหนักหญ้าแห้ง %	น้ำหนักหญ้าแห้งรวม กก./ไร่ เดือน
น้ำเค็ม บริเวณตอนบน	หญ้างวน	0.1373	245.7	6.99	1547	55.43	857.50
	หญ้าสตาร์	0.1667	473.8	6.93	880	62.18	547.18
	หญ้ารูซี่	0.1470	143	6.94	960	51.02	489.79
น้ำเค็ม บริเวณตอนล่าง	หญ้างวน	0.1046	111.1	5.44	733	41.12	301.41
	หญ้าสตาร์	0.1356	118.1	5.36	480.00	51.11	245.33
	หญ้ารูซี่	0.1162	128.2	5.47	480.00	46.95	225.36

ตารางที่ 3ค ปริมาณสารอินทรีย์และน้ำหนักหญ้าที่ภาวะชลศาสตร์ 1.11 เมตรต่อปี

ชนิดหญ้า	ชนิดหญ้า	ไนโตรเจน %	ฟอสฟอรัส ppm	pH	น้ำหนักหญ้าสดรวม กก./ไร่ เดือน	น้ำหนักหญ้าแห้ง %	น้ำหนักหญ้าแห้งรวม กก./ไร่ เดือน
น้ำเสียผ่านบ่อแอมโมเนีย	หญ้านวล	0.1399	371.9	6.77	1787.00	55.68	995.00
	หญ้าสดาร์	0.1689	648.2	6.75	1120.00	62.06	695.07
	หญ้ารูซี่	0.1501	190.3	6.78	1373.00	50.14	688.42
น้ำเสียไม่ผ่านบ่อแอมโมเนีย	หญ้านวล	0.1190	115.6	5.25	853.00	41.29	352.20
	หญ้าสดาร์	0.1460	136.3	5.22	640.00	51.76	331.26
	หญ้ารูซี่	0.1290	157.9	5.26	800.00	46.17	369.36

ตารางที่ 4ค ปริมาณสารอินทรีย์และน้ำหนักหญ้าที่ภาะชลศาสตร์ 1.85 เมตรต่อปี

ชนิดหญ้า	ชนิดหญ้า	ไนโตรเจน %	ฟอสฟอรัส ppm	pH	น้ำหนักหญ้าสดรวม กก./ไร่ เดือน	น้ำหนักหญ้าแห้ง %	น้ำหนักหญ้าแห้งรวม กก./ไร่ เดือน
น้ำ ตกริม ตกริม	หญ้างวน	0.1412	495.9	6.69	2267.00	56.79	1287.43
	หญ้าสตาร์	0.1701	821.3	6.71	1413.00	63.35	895.14
	หญ้ารูซี่	0.1512	253	6.67	1813.00	46.69	846.49
น้ำ ตกริม ตกริม	หญ้างวน	0.1319	197.8	5.17	933.00	42.4	395.59
	หญ้าสตาร์	0.1565	253.1	5.27	827.00	50.47	417.39
	หญ้ารูซี่	0.1422	209.3	5.33	1040.00	49.62	516.05

หมายเหตุ %ไนโตรเจนเท่ากับ 0.0042 และฟอสฟอรัสเท่ากับ 1 ppm ในดินก่อนเริ่มทำการทดลอง

ตารางที่ 5ค สารอินทรีย์ที่เกิดการย่อยสลายและสะสมในดิน

น้ำเสียที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว					
ชนิด หญ้า	การทดลอง ที่	Lactic Mg/L*	Acetic mg/L*	Propionic Mg/L*	Butyric mg/L*
หญ้ายาน	1	18.6	29.1	9.7	35.4
	2	37.6	40.2	11.3	66.3
	3	9.2	27.0	7.3	45.2
	4	18.9	18.2	17.8	45.4
หญ้าสตาร์	1	17.7	33.9	21.1	46.6
	2	11.2	45.4	54.9	12.9
	3	16.2	67.9	45.7	10.0
	4	63.0	74.6	50.7	13.9
หญ้ารูซี่	1	27.4	30.2	36.9	67.8
	2	4.1	20.8	60.3	52.2
	3	10.7	59.5	7.7	10.2
	4	2.5	44.9	19.5	14.0

น้ำเสียที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิกแบบติดผิว					
ชนิด หญ้า	การทดลอง ที่	Lactic mg/L*	Acetic mg/L*	Propionic mg/L*	Butyric mg/L*
หญ้ายาน	1	183.8	334.1	243.7	224.3
	2	164.3	190.4	113.3	102.4
	3	188.9	145.6	185.9	123.6
	4	275.4	126.4	323.8	119.4
หญ้าสตาร์	1	339.8	344.3	370.8	199.0
	2	129.0	137.7	213.8	133.4
	3	92.9	272.1	235.5	99.2
	4	129.3	139.3	189.0	185.6
หญ้ารูซี่	1	204.4	247.1	287.6	233.5
	2	99.4	180.4	218.0	150.6
	3	110.6	170.6	272.6	170.5
	4	99.4	285.7	134.3	76.3

หมายเหตุ \* mg/L ต่อ 20 mg ของดิน

ตารางที่ 6 ค. ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าแปลงหญ้า

ภาวะชลศาสตร์ m/yr	น้ำที่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว		น้ำที่ไม่ผ่านบ่อแอนแอโรบิคแบบติดผิว	
	ภาวะบรรทุกไนโตรเจน kg N/m <sup>2</sup> .yr	ภาวะบรรทุกฟอสฟอรัส kg P/m <sup>2</sup> .yr	ภาวะบรรทุกไนโตรเจน kg N/m <sup>2</sup> .yr	ภาวะบรรทุกฟอสฟอรัส kg P/m <sup>2</sup> .yr
1.85	0.248	0.023	0.334	0.033
1.11	0.142	0.013	0.207	0.020
0.79	0.096	0.009	0.132	0.014
0.61	0.066	0.007	0.089	0.010



ตารางที่ 1ง การทดสอบค่า t (t-Test) แบบ One-Sample Test

ตัวแปรที่ทดสอบ	Test Value	Std. Error Mean	Std. Deviation	t	df	Prob.
COD	305	82.35	164.7	0.009	3	0.994
TKN	123	5.56	11.12	0.03	3	0.976
TP	11.5	0.29	0.58	0.05	3	0.962
SS	1568	28.81	57.63	0.01	3	0.994

ตาราง 2ง แสดงค่าตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรง

ตะแกรงเบอร์	% ที่ค้างบนตะแกรง
4	72.9
10	51.3
40	39.8
200	9.4

## ประวัติผู้เขียน

นายทวีศักดิ์ อึ้งเจริญวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2513 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรีที่ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2541 หลังจากสำเร็จการศึกษามีความสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อมจึงเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2542