

การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้เอสบีอาร์

นางสาว วรุทัย เดชตานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-032-9

**UPGRADING THE WASTEWATER TREATMENT
SYSTEM USING SEQUENCING BATCH REACTOR**

Miss Warutai Dejtanon

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of
Engineering in Environmental Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2001

ISBN 974-533-032-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้เอสบีอาร์

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ)
ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ ถังมณี)
กรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองเดช วงศ์หล้า)
กรรมการ

.....
(ดร.สุจิตต์ คุรุจิต)
กรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....
(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วรพจน์ จำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วรุทัย เดชตานนท์ : การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้เอสบีอาร์ (UPGRADING THE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM USING SEQUENCING BATCH REACTOR) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ, 69 หน้า. ISBN 974-533-032-9

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ โดยใช้ น้ำเสียจากอาคารทัพบกแก้วพาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพในการ บำบัด และสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ของระบบเอสบีอาร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ อาหารและจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ที่มีระยะเวลาเติมอากาศที่ แตกต่างกันว่า 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ จากการทดลองพบว่าการบำบัดค่า Biochemical Oxygen Demand (BOD) ได้ในปริมาณที่สูงขึ้นตามระยะเวลาเติมอากาศที่มากขึ้น โดยที่มีประสิทธิ ภาพการบำบัดค่า BOD อยู่ในช่วงระหว่าง 68-86% จุลินทรีย์มีอัตราการเปลี่ยนแปลงวัดในรูปของ ค่า Volatile Suspended Solids (VSS) ที่น้อยมาก ปริมาณไนโตรเจนลดลง 95% โดยเปลี่ยนรูปไป เป็น Nitrate (NO_3^- -N) จากปฏิกิริยา Nitrification และปริมาณฟอสฟอรัสลดลง 89.5% จากค่า สัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ของ Monod ที่ได้ การลดลงของ BOD ในระบบเอสบีอาร์ได้ถูกเขียน แบบและพบว่า ระยะเวลาเติมอากาศที่ได้คือ 27 ชั่วโมง สามารถลดค่า BOD ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง จากอาคารที่กำหนดไว้

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

WARUTAI DEJTANON : UPGRADING THE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM USING SEQUENCING BATCH REACTOR : ASSIST. PROF. CHONGCHIN POLPRASERT, Ph.D. 69 PP. ISBN 974-533-032-9

This study was concerned with the use of laboratory-scale Sequencing Batch Reactor (SBR) to treat the wastewater generated from Tub Khaew Palace Building, Rajabhat Institute Nakhonratchasima. Its main objectives are to quantify the treatment efficiency and the kinetic coefficients that expressed the relationship between substrate and microorganisms in the reactor. At the aeration periods of 6, 8, 10 and 12 hours, the BOD removal was found to be higher at longer aeration period, ranging from 68 to 86%. However, the change of microbial mass in the reactor, measured in terms of VSS, was very small. The removal efficiencies of TKN and phosphorus were 95 and 89.5%, respectively. From the Monod 's kinetic coefficients obtained, the BOD removal in the SBR was simulated and the aeration period of 27 hours was found to have the effluent BOD conform to the standard regulation.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 - รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ ถังมณี, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองเดช วงศ์หล้า และ ดร.สุจิต ทรูจิต คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
 - อาจารย์ธเนศวร ธิติชนานนท์ และอาจารย์สมเกียรติ ทานอก ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการเขียนวิทยานิพนธ์
 - สถาบันราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างและให้ทุนสนับสนุนทางการเงินแก่งานวิจัยนี้
 - บุคลากรประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - คุณมุกดา คนตรง, คุณชนชัย ชังลา, คุณอัศรายุทธ กมลเพชร และคุณอุบล สุริพล ที่กรุณาช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
 - เพื่อนๆ และผู้ใกล้ชิดที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษาด้วยดีมาโดยตลอด
- ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

วรุทัย เศษตานนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฌ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2. ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบเอสพีอาร์.....	4
2.2 การทำงานของระบบเอสพีอาร์.....	6
2.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสพีอาร์.....	9
2.4 สมการสำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยระบบเอสพีอาร์.....	11
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	13
3.1 น้ำตัวอย่าง.....	13
3.2 การเก็บน้ำตัวอย่าง.....	13
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	19
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่าง.....	19
4.2 ประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์.....	20
4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	31
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	35
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	35
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	36
รายการอ้างอิง.....	37
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูล.....	40
ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ (Matlab).....	47
ภาคผนวก ค. โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ (Maple).....	57
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบทางสถิติ.....	60
ภาคผนวก จ. มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร.....	62
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลเบื้องต้นและการคำนวณขนาดถังปฏิกรณ์.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รายละเอียดของขั้นตอนการทำงานตามลำดับของระบบเอสปีอาร์.....	8
2.2	ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์เปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ.....	9
3.1	ตัวแปรและวิธีการทดลองที่เลือกใช้.....	14
4.1	ค่าตัวแปรต่างๆที่วัดได้จากการทดลองและค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร.....	19
4.2	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า SS ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกัน.....	26
4.3	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า VSS ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกัน.....	27
4.4	การเปลี่ยนแปลงค่า TKN ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน.....	28
4.5	การเปลี่ยนแปลงค่า NO_3^- -N ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน.....	29
4.6	การเปลี่ยนแปลงค่า TP ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน.....	30
1ก	อัตราส่วนระหว่าง BOD : COD.....	41
2ก	ค่า BOD ที่คำนวณได้จากการทดลอง.....	42
3ก	ค่า SS ที่คำนวณได้จากการทดลอง.....	43
4ก	ค่า VSS ที่คำนวณได้จากการทดลอง.....	44
5ก	ค่า TKN ที่คำนวณได้จากการทดลอง.....	45
6ก	ค่า TP ที่คำนวณได้จากการทดลอง.....	45
7ก	ค่า NO_3^- -N ที่คำนวณได้จากการทดลอง.....	46
1ง	การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า SS.....	61
2ง	การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า VSS.....	61
3ง	การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า TKN.....	61
4ง	การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า TP.....	61
5ง	การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า NO_3^- -N	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
1จ	ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด.....	63
2จ	ประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสีย ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม.....	64
1ฉ	ปริมาณการใช้น้ำ.....	66
2ฉ	ค่าตัวแปรต่างๆ เบื้องต้นของน้ำเสียที่วัดได้จากการทดลอง.....	67

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการทำงานของระบบเอสปีอาร์.....	7
3.1	แบบจำลองระบบเอสปีอาร์.....	15
3.2	ขนาดถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง.....	16
4.1	การลดลงของ BOD ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 12 ชั่วโมง.....	21
4.2	การลดลงของ BOD ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 10 ชั่วโมง.....	22
4.3	การลดลงของ BOD ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 8 ชั่วโมง.....	23
4.4	การลดลงของ BOD ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 6 ชั่วโมง.....	24
4.5	ประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกัน.....	25
4.6	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณอาหารในแบบจำลองระบบเอสปีอาร์.....	33
4.7	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณจุลินทรีย์ในแบบจำลองระบบเอสปีอาร์.....	34
1ข	กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 12 ชั่วโมง.....	53
2ข	กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 12 ชั่วโมง.....	53
3ข	กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 10 ชั่วโมง.....	54
4ข	กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 10 ชั่วโมง.....	54
5ข	กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 8 ชั่วโมง.....	55
6ข	กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 8 ชั่วโมง.....	55
7ข	กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 6 ชั่วโมง.....	56
8ข	กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 6 ชั่วโมง.....	56

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD	=	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand)
COD	=	ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand)
F/M	=	อัตราส่วนระหว่างปริมาณอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism ratio)
k	=	อัตราการใช้อาหารมากที่สุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์
k_d	=	ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดลงของจุลินทรีย์
K_s	=	ปริมาณอาหาร ณ จุดที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์เท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
NO_2^- -N	=	Nitrite
NO_3^- -N	=	Nitrate
PLC	=	Programmable Logic Control
Q	=	อัตราการไหล
SBR	=	Sequencing Batch Reactor
SS	=	ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus
V	=	ปริมาตร
VSS	=	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids)
Y	=	สัมประสิทธิ์ปริมาณการผลิตเซลล์ใหม่สูงสุดที่สุดของช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุทธิสูงสุด
γ	=	ความถ่วงจำเพาะ
ρ_a	=	ความหนาแน่น
θ_c	=	ระยะเวลาเก็บกักเซลล์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะน้ำเป็นปัจจัยหลักในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ พืช หรือสัตว์ เนื่องจากประเทศไทยได้มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการผลิตใหม่ๆ มาใช้มากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนการผลิตและแปรรูปเหล่านี้ น้ำได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในกระบวนการต่างๆ ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และขณะนี้แหล่งน้ำตามธรรมชาติคือ แหล่งต้นน้ำลำธารก็ลดลงทุกที เนื่องจากการตัดต้นไม้ทำลายป่าซึ่งทำให้ปริมาณน้ำที่มีใช้อยู่อย่างจำกัดอยู่แล้วลดน้อยลงไปอีก

ในปัจจุบันเราใช้น้ำในปริมาณที่มากขึ้นไม่ว่าจะใช้ในกิจกรรมประจำวัน ในทางเกษตรกรรม หรืออุตสาหกรรม ฯลฯ น้ำที่ผ่านการใช้แล้วจะกลายเป็นน้ำเสียถูกปล่อยออกมา ถ้าไม่มีการบำบัดและมีน้ำเสียสะสมในปริมาณที่มากขึ้นก็จะก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้แหล่งน้ำสะอาดพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ลดลงจึงเกิดแนวคิดที่จะนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นการประหยัดการใช้น้ำและยังช่วยลดมลภาวะทางน้ำในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

สถาบันราชภัฏนครราชสีมา เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ได้ให้ความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาผลกระทบต่อแหล่งน้ำ เนื่องจากในแต่ละวันทางสถาบันต้องใช้น้ำในปริมาณที่มากในกิจกรรมต่างๆ เช่น ทำความสะอาดอาคาร ล้างห้องน้ำ รดน้ำต้นไม้ ฯลฯ ซึ่งน้ำที่ใช้เป็นน้ำประปาทั้งสิ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เป็นจำนวนมาก

อาคารทับบั๊กพาเลซ เป็นอาคารหนึ่งในสถาบันราชภัฏนครราชสีมา ซึ่งมีการใช้น้ำในปริมาณมากกว่าอาคารอื่นๆ และมีการใช้น้ำตลอดเวลา เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการสร้างอาคารนี้เพื่อเป็นอาคารศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพสำหรับนักศึกษาฝึกงาน ตัวอาคารจึงมีลักษณะเป็นโรงแรมประกอบด้วยห้องพักจำนวน 40 ห้อง ห้องประชุมสัมมนา ร้านอาหาร ร้านเสริมสวย และร้านจำหน่ายสินค้าที่ระลึก จากรูปแบบของอาคารทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้น มีลักษณะเป็นน้ำเสียชุมชน เดิมทีทางอาคารทับบั๊กพาเลซ มีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่แล้ว แต่ยังไม่สามารถใช้งานได้มาตรฐาน ทางสถาบันจึงเกิดแนวคิดที่ว่า น้ำเสียที่เกิดขึ้นในปริมาณสูงนี้ ถ้าสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่จะทำให้

เป็นการประหยัดมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ น้ำที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์นั้นจะต้องมีวิธีการบำบัดอย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อลดความสกปรกของน้ำก่อนนำกลับมาใช้ประโยชน์

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้ระบบบำบัดแบบใดแบบหนึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย สถานที่ก่อสร้าง เงินทุน บุคลากร เป็นต้น (มณฑล สุคประเสริฐ, 2535)

ระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor[SBR]) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Irvine และ Davis ในปี 1971 จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมเข้า-ถ่ายออก (fill and draw system) ซึ่งคิดค้นโดย Arden และ Lockett ในปี 1914 ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางและได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในฐานะที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัด การดำเนินการทำได้ง่าย ใช้พื้นที่ก่อสร้างไม่มากนัก และการดูแลบำรุงรักษาน้อย (ธีระพงษ์ วงศ์รัตนานนท์, 2540) จากลักษณะดังกล่าวของระบบเอสปีอาร์ จึงมีความเหมาะสมกับอาคารทึบแก้วพาเลซซึ่งมีพื้นที่น้อย การดำเนินการและบำรุงรักษาง่าย และต้องการประสิทธิภาพในการบำบัดสูง โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะต้องมีมาตรฐานทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ (Kinetic Coefficients) ที่เหมาะสม เพื่อให้ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ โดยในที่นี้หมายถึงอาคารทึบแก้วพาเลซ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

จากความสำคัญของปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วทำให้ได้วัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1.2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ที่สร้างขึ้น

1.2.2 เพื่อหาค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับระบบเอสปีอาร์และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ของระบบเอสปีอาร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของการวิจัยได้ดังนี้

1.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของอาคารทึบแก้วพาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา ปัจจุบันไม่ได้ทำการเดินระบบแล้วและเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินการโดยใช้ Septic Tank บำบัด

เฉพาะน้ำทิ้งจากส้วมและน้ำที่เกิดจากการชำระล้างทิ้งลงท่อของทางเทศบาล ทำให้ไม่สามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ จึงได้นำเอาระบบเอสปีอาร์มาทำการศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเดิม เนื่องจากระบบเอสปีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและใช้พื้นที่น้อย ซึ่งเหมาะกับสภาพพื้นที่ของอาคารนี้

1.3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียจากอาคารทั่วมหาวิทยาลัย

1.3.3 การวิเคราะห์และตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำเสียเบื้องต้นตาม “Standard Methods” (APHA et al, 1998) ด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้

- Biochemical Oxygen Demand (BOD)
- Chemical Oxygen Demand (COD)
- Suspended Solids (SS)
- Volatile Suspended Solids (VSS)
- Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)
- Total Phosphorus (TP)
- Nitrate (NO_3^- -N)

1.3.4 สร้างแบบจำลองระบบเอสปีอาร์เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ที่สร้างขึ้น สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ในแต่ละชุดจะมีช่วงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (เดิมอากาศ) ที่แตกต่างกันเป็น 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ

1.3.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาจากค่า

- ค่าปริมาณอาหาร ณ จุดที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์เท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (K_s)
- ค่าของอัตราการใช้อาหารมากที่สุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์ (k)
- ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดลงของจุลินทรีย์ (k_d)
- ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการผลิตเซลล์ใหม่สูงสุดของช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตสุทธิสูงสุด (Y)

บทที่ 2

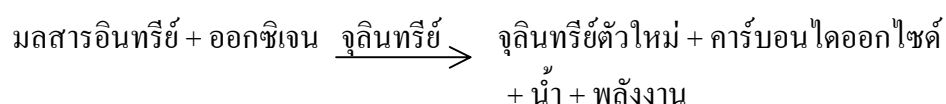
ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเอสปีอาร์

2.1.1 กระบวนการเลี้ยงตะกอน

สุรพล สายพานิช (2538) กล่าวว่า กระบวนการเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge Process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยสิ่งมีชีวิตอันได้แก่ พอกจุลินทรีย์ทั้งหลายในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง ดังนั้นในการควบคุมการทำงานจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนและละเอียดอ่อน ที่ต้องเข้าใจความต้องการของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ รวมทั้งสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต เพื่อให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด

กระบวนการเลี้ยงตะกอนประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมายหลายชนิด ที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่ และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีพได้อีกด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้



ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนประกอบด้วยส่วนสำคัญอย่างน้อย 2 ส่วน คือถังเติมอากาศและถังตกตะกอน โดยน้ำเสียจะถูกส่งมาเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีตะกอนเลี้ยงอยู่เป็นจำนวนมาก ภายในถังจะมีสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน เช่น มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ อาหาร pH ฯลฯ ในปริมาณที่พอเหมาะ ตะกอนจุลินทรีย์จะทำการลดค่ามลสารอินทรีย์ในรูปต่างๆ ด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น

น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วนี้จะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำใส ตะกอนที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอน ส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังเติมอากาศ เพื่อลดมลสารที่เข้ามาใหม่ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เป็นผลจากการเจริญเติบโตซึ่งจะ

ต้องนำไปทิ้ง สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วระบายออกจากระบบ

สรุปได้ว่าวัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน เพื่อให้สามารถดมลดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มากที่สุดในเวลาอันสั้นโดยวิธีทางชีววิทยา โดยทั่วไปกรรมวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าร้อยละ 90 และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถจะทิ้งลงลำน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.2 ประเภทของกระบวนการเลี้ยงตะกอน

รูปแบบของกระบวนการเลี้ยงตะกอนตามลักษณะของการใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.1.2.1 แบ่งตามลักษณะการบรรทุกอินทรีย์ของกระบวนการ (Process Organic Loading Range)

2.1.2.2 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของการจัดรูปถังเติมอากาศ (Physical Arrangement of Aeration Tank)

และลักษณะทางกายภาพของการจัดรูปถังเติมอากาศยังสามารถแบ่งออกเป็นลักษณะใหญ่ๆ ได้ 5 แบบ คือ

- 1) แบบกวนสมบูรณ์ (Complete Mix)
- 2) แบบไหลตามแนวยาว (Plug Flow)
- 3) แบบไหลเป็นวงจร (Circuit Flow)
- 4) แบบนำตะกอนกลับมาเติมอากาศใหม่ (Sludge Reaeration)
- 5) แบบการเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill and Draw)

2.1.3 กระบวนการเลี้ยงตะกอนแบบเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill and Draw Activated Sludge Process)

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและน้ำเสียไหลเป็นบางช่วง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งอาจจะมีน้ำเสียไหลเพียง 4-8 ชั่วโมงต่อวัน การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Process) จำเป็นจะต้องมีบ่อเก็บกักน้ำเสียหรือถังควบคุมอัตราการไหลขนาดใหญ่เพื่อเก็บน้ำเสียในช่วงที่มีปริมาณการไหลสูง แล้วค่อยๆ สูบเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสีย

อย่างสม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งยังต้องคิดเครื่องเติมอากาศในบ่อเก็บกากเพื่อป้องกันน้ำเสียเน่าเหม็นอีกด้วย

กระบวนการแบบเติมเข้า-ถ่ายออก จะใช้ถังเติมอากาศทำหน้าที่เป็นทั้งถังปฏิกริยาเพื่อบำบัดมลสารและถังตกตะกอน โดยทำการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดเอาไว้ปกติจะมีปริมาตรของน้ำตะกอนเข้มข้นนี้ประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของถังเติมอากาศ จากนั้นจึงเติมน้ำเสียเข้ามาในถัง โดยคำนวณปริมาตรที่เหลือให้สามารถรับน้ำเสียได้ทั้งหมดตลอดช่วงระยะเวลาที่น้ำเสียไหล เครื่องเติมอากาศจะให้ออกซิเจนแก่ระบบอย่างเพียงพอ ตั้งแต่เริ่มสูบน้ำเสียเข้าถังจนถึงประมาณ 3 ชั่วโมงก่อนที่จะเริ่มมีน้ำเสียเข้าระบบในวันต่อไปจึงปิดเครื่องเติมอากาศ เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์จมลงสู่ก้นถังเป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง จากนั้นจึงระบายน้ำเสียในส่วนบนซึ่งได้รับการบำบัดแล้วทิ้งออก ควรใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้ในกรณีที่มีปริมาตรของน้ำเสียไม่เกิน 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

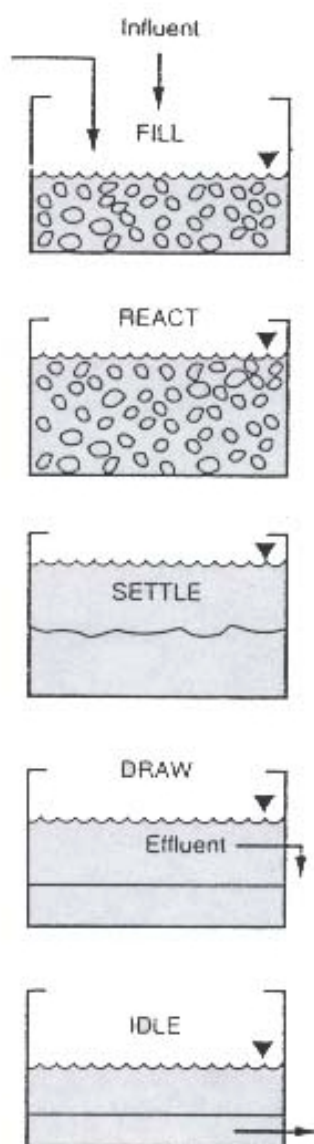
อันที่จริงกระบวนการแบบเติมเข้า-ถ่ายออกนี้เป็นรูปแบบการทำงานของกระบวนการเลี้ยงตะกอนในสมัยที่มีการค้นพบระยะแรกๆ ต่อมาก็ได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นแบบไหลต่อเนื่องโดยมีถังตกตะกอนชั้นสอง จนกระทั่งในระยะหลังนี้ Irvine and Busch (1979) ได้ทำการวิจัยอย่างละเอียดและได้พัฒนาการทำงานจากการเติมเข้า-ถ่ายออกของถังใบเดียวมาเป็นถังหลายใบทำงานสลับกันหรือต่อเนื่องกัน ทำให้สามารถรับน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่องไม่ต้องใช้ถังตกตะกอน และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง โดยเรียกชื่อเสียใหม่ว่า Sequencing Batch Reactor Activated Sludge

2.2 การทำงานของระบบเอสบีอาร์

การทำงานของระบบเอสบีอาร์ใน 1 วัฏจักรมี 5 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- 1) การเติม (Fill)
- 2) การทำปฏิกิริยา (React)
- 3) การตกตะกอน (Settle or Decant)
- 4) การระบายน้ำใสออก (Draw)
- 5) ระยะเวลาพัก (Idle)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบเอสบีอาร์มีการทำงานเป็นไปตามลำดับขั้นตอน มีรูปแบบเฉพาะตัวในระบบไม่มีการใช้สารเคมีเพื่อบำบัด ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับความคุมระยะเวลาในแต่ละช่วงให้เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการทำงานและรายละเอียดของขั้นตอนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.1 และตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบเอสปีอาร์

หมายเหตุ

จาก Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse (401),
Metcalf & Eddy, 1991, Singapore : McGraw-Hill.

จุดประสงค์ของการดำเนินการทั้ง 5 ขั้นตอนได้อธิบายรายละเอียดไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของขั้นตอนการทำงานตามลำดับของระบบเอสบีอาร์

ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1. การเติม (Fill)	จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อเติมสารอาหาร (Substrate) ในที่นี้จะหมายถึงน้ำเสียลงไปยังถังปฏิกิริยา ในกระบวนการเติมน้ำเสียโดยทั่วไปแล้วจะให้มีความเข้มข้นน้ำเสียในถังปฏิกิริยาเริ่มจาก 25% ของความจุ (ที่ระดับสุดท้ายของระยะพัก) จนถึง 100% ถ้าควบคุมโดยใช้เวลาช่วงระยะเวลาการเติมโดยปกติจะประมาณ 25% ของระยะเวลาทั้งหมดในการเดินระบบ
2. การทำปฏิกิริยา (React)	จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยา โดยจะเริ่มมีการทำปฏิกิริยาดังแต่ระหว่างช่วงการเติม โดยทั่วไปแล้วช่วงนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 35% ของระยะเวลาทั้งหมดในการเดินระบบ
3. การตกตะกอน (Settle or Decant)	จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อให้เกิดการแยกชั้นขึ้น ป้อนน้ำที่อยู่ด้านบนออก ในระบบเอสบีอาร์ กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าระบบที่มีการไหลต่อเนื่อง (Continuous-flow system) เพราะตะกอนได้ตกลงสู่ก้นถังจนหมดแล้ว
4. การระบายน้ำใสออก (Draw)	จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยา อุปกรณ์ที่นิยมใช้คือ เครื่องกั้นน้ำที่ปรับระดับได้ (Adjustable Weir) เวลาที่ใช้ในการระบายน้ำใสออกอยู่ในช่วง 5-30% ของระยะเวลาทั้งหมด โดยเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ (15 นาที - 2 ชั่วโมง) เวลาที่นิยมใช้ทั่วไปคือ 45 นาที
5. ระยะพัก (Idle)	จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ ในระบบที่มีหลายถังคือ เป็นช่วงเวลาสำหรับถังปฏิกิริยาที่ดำเนินกระบวนการจนเสร็จสิ้นแล้วก่อนจะใช้ถังอื่นต่อไป ช่วงระยะนี้ไม่มีความจำเป็น บางครั้งจึงสามารถตัดทิ้งได้

หมายเหตุ จาก Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse (402), Metcalf & Eddy, 1991, Singapore : McGraw-Hill.

2.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

จากการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบเอสปีอาร์ที่ผ่านมา สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสปีอาร์เปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ

ข้อดี	ข้อเสีย
<p>- ลักษณะสมบัติของน้ำ</p> <p>(1) ระบบเอสปีอาร์เหมาะสำหรับน้ำที่มีช่วงอัตราการไหลหรือภาระบรรทุกอินทรีย์ที่มีความแปรปรวนสูง (Hoepker and Schroeder, 1979)</p> <p>(2) ระบบเอสปีอาร์เป็นระบบที่ยืดหยุ่นตัวสูงสามารถปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะน้ำเสียได้ (Arora et al, 1985)</p> <p>(3) อัตราการเกิดน้ำเสีย ส่งผลต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน แต่ระบบเอสปีอาร์สามารถปรับตัวได้โดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีการเริ่มเดินระบบใหม่ (Norcross, 1990)</p>	
<p>- รูปแบบของระบบ</p> <p>(1) ระบบเอสปีอาร์มีถังปฏิกริยาและถังควบคุมอัตราการไหลอยู่ในถังเดียวกัน ทำให้สามารถดำเนินการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลและภาระบรรทุกอินทรีย์ที่มีความแปรปรวนสูงได้ (Topnik, 1983)</p>	<p>(1) หัวกระจายอากาศอุดตันง่ายจากการทับถมของตะกอนในช่วงตกตะกอน (Irvine et al, 1983)</p>

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
<p>(2) การบำบัดขั้นสุดท้าย เช่น การเติมคลอรีน ไม่มีความจำเป็นกับระบบเอสปีอาร์ (Topnik, 1983)</p> <p>(3) ไม่มีการไหลล้นวงจรเกิดขึ้นในระบบเอสปีอาร์เพราะระบบเอสปีอาร์เป็นระบบแบบเติมเข้า-ถ่ายออก (Arora et al, 1985)</p> <p>(4) ระบบเอสปีอาร์สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสและกำจัดไนโตรเจนจาก Nitrification และ Denitrification ได้ โดยไม่ใช้สารเคมี (Arora et al, 1985)</p> <p>(5) ระบบเอสปีอาร์มีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูงและไม่จำกัดทำให้สามารถสร้างถึงปฏิริยาได้ไม่จำกัดรูปทรง ไม่ว่าจะเป็นวงกลม, สี่เหลี่ยม ฯลฯ (Morling, 1991)</p> <p>(6) ระบบเอสปีอาร์ใช้พื้นที่น้อยในการก่อสร้าง (Norcross, 1990)</p> <p>(7) ระบบเอสปีอาร์มีขั้นตอนการดำเนินงานง่าย ระหว่างการทำงานไม่มีกลิ่นและเสียงดังรบกวน (Arora et al, 1985)</p>	<p>(2) ต้องระบายตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินออกจากระบบเสมอเมื่อตะกอนจุลินทรีย์อัดตัวแล้วมีระยะห่างจากบิมน้ำไม่เกิน 10% ของความสูงของน้ำ (Gupta, 1990)</p>
<p>- พลังงานและค่าใช้จ่าย</p> <p>(1) พบว่าจากผลการทดลองระบบเอสปีอาร์มีการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีสารอันตรายปนเปื้อนน้อยกว่าการใช้ activated carbon (Herzbrun et al, 1985)</p>	<p>(1) มีการสิ้นเปลืองพลังงานมากในช่วงระบายน้ำใสออก (Irvine, 1983)</p>

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
<p>(2) ไม่ต้องมีปั๊มสำหรับสูบน้ำกลับแบบระบบเลี้ยงตะกอน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงาน (Arora et al, 1985)</p> <p>(3) ระบบเอสปีอาร์มีการดำเนินงานง่ายจึงไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญสูง และยังมีค่าก่อสร้างและดำเนินการต่ำด้วย (Ng, 1991)</p> <p>(4) เสียค่าบำรุงรักษาน้อยเพราะใช้อุปกรณ์น้อย (Norcross, 1990)</p>	

2.4 สมการสำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยระบบเอสปีอาร์

Monod ได้ทำการทดลองศึกษาถึงลักษณะของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สำหรับปริมาณอาหารต่างๆ และเมื่อพิจารณาสมการสมดุลของอาหารจากความรู้เกี่ยวกับจลนศาสตร์และการวิเคราะห์รูปแบบของถังปฏิกรณ์แบบกะ ได้สมการของปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ในระบบดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2537)

$$(S_0 - S)/t = dS/dt = -kXS/(K_s + S) \quad (2-1)$$

$$(X_0 - X)/t = dX/dt = (YkXS/(K_s + S)) - k_d X \quad (2-2)$$

เมื่อ k = อัตราการใช้อาหารมากที่สุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์
 k_d = ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดลงของจุลินทรีย์ (d^{-1})

K_s	=	ค่าปริมาณอาหาร ณ จุดที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์เท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์
S	=	ปริมาณอาหาร (mg/L)
S_0	=	ปริมาณอาหาร ณ เวลาเริ่มต้น (mg/L)
t	=	ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ (d)
X	=	ความเข้มข้นของจำนวนจุลินทรีย์ (mg/L)
X_0	=	มวลของจุลินทรีย์ ณ เวลาเริ่มต้น (mg/L)
Y	=	ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการผลิตเซลล์ใหม่สูงสุดที่สุดของช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุทธิสูงสุด (kg VSS/kg BOD)

จากสมการที่ 2-1, 2-2 และค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้ในการออกแบบและดำเนินการได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์สามารถหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียและกระบวนการบำบัดน้ำเสียนั้นๆ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 น้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่เก็บจากจุดที่น้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียเดิมที่เป็นบ่อเกรอะ ซึ่งปัจจุบันไม่สามารถใช้งานได้แล้วของอาคารทับแก้วพาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา โดยเป็นน้ำเสียรวมที่เกิดจากน้ำเสียจากส้วมที่ผ่าน Septic Tank แล้วและน้ำเสียที่เกิดจากการชำระล้างที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเดิมเพื่อปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำทิ้งของทางเทศบาล ซึ่งเดิมอาคารทับแก้วพาเลซได้แยกท่อระบายน้ำเสียจากส้วมและจากการชำระล้างออกจากกัน แต่ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการรวบรวมท่อระบายน้ำเสียใหม่ทั้งหมดของอาคารให้มารวมที่จุดเดียวกัน โดยผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเดิม

3.2 การเก็บน้ำตัวอย่าง

วิธีการเก็บน้ำตัวอย่างเลือกใช้วิธีการเก็บน้ำเสียตัวอย่างแบบจ้วงตัก (Grab Sampling) ซึ่งเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำหรือน้ำเสีย ณ เวลาและสถานที่หนึ่ง แล้วนำตัวอย่างน้ำหรือน้ำเสียนั้นไปทำการวิเคราะห์ โดยน้ำหรือน้ำเสียในแหล่งดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ไม่แปรปรวนมาก ตัวอย่างน้ำหรือน้ำเสียที่เก็บมานั้นสามารถใช้แทนแหล่งน้ำแหล่งนั้นได้ โดยเลือกเก็บน้ำตัวอย่างที่จุดที่น้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียเดิม ที่เวลา 16.00 น. ทุกวันๆ ละ 1 ครั้ง รวม 4 วัน เนื่องจากเป็นบริเวณที่น้ำทั้งหมดไหลมารวมกันทำให้สามารถตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงได้ และเป็นช่วงเวลาที่มีอัตราการใช้น้ำสูงสุดในแต่ละวันด้วย

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 นำน้ำเสียมาตรวจสอบลักษณะสมบัติเบื้องต้น เพื่อนำไปหาแบบจำลองของระบบเอสปีอาร์โดยนำน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อหาค่าตัวแปรต่อไปนี้คือ BOD, COD, SS, VSS, TKN, TP และ

NO₃⁻-N ตามวิธีการทดลองของ “Standard Methods” (APHA et al, 1998) ส่วนวิธีการทดลองหาค่าตัวแปรดังกล่าวมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและวิธีการทดลองที่เลือกใช้

ตัวแปร	วิธีการทดลองที่เลือกใช้
BOD	5 – Day BOD Test
COD	Opened Dichromate Reflux
SS	Suspended Solids Dried at 103 ⁰ -105 ⁰ C
VSS	Volatile Suspended Solids Ignited at 550 ⁰ C
TKN	Macro-Kjeldahl Method
TP	Vanadomolybdophosphoric acid Method
NO ₃ ⁻ -N	Sodium Salicylate Method

3.3.2 ทำการสร้างแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 สำหรับรายละเอียดในแต่ละส่วนมีดังนี้

1) ถังรวบรวมน้ำเสีย

เป็นถังพลาสติกความจุณ้ำประมาณ 100 ลิตร ปลายต่อท่อซึ่งติดตั้งโซลินอยด์วาล์วเพื่อควบคุมการไหลของน้ำให้ได้ระดับตามความต้องการดังภาพที่ 3.2

2) ถังปฏิกรณ์

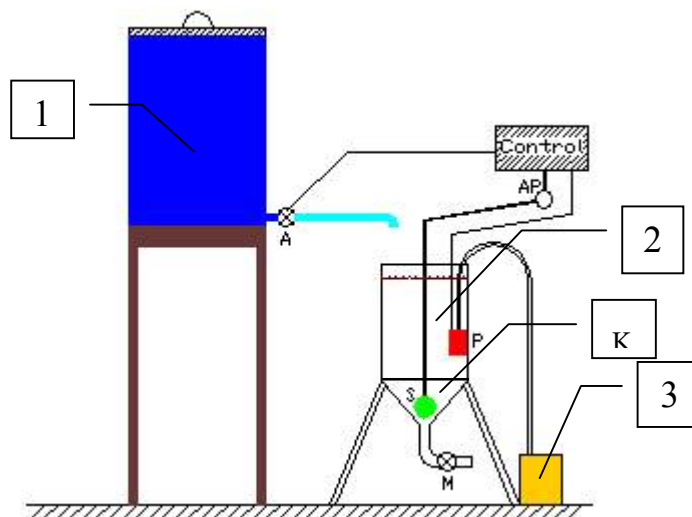
เป็นถังทรงกระบอกปลายกรวยมีวาล์วปิด-เปิดด้านล่าง ทำจาก Acrylic plastic และกรวยสแตนเลสความจุณ้ำทั้งหมดประมาณ 30 ลิตร กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุด 30 ซม. และระดับน้ำต่ำสุด 10 ซม. จากปลายถังทรงกระบอก ปริมาณน้ำที่ระบายออกประมาณ 15 ลิตร คิดเป็น 66.67% ของปริมาณน้ำทั้งหมดดังภาพที่ 3.2

3) ถังรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

เป็นถังพลาสติกความจุประมาณ 15 ลิตร ใช้รับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อนำไปวิเคราะห์

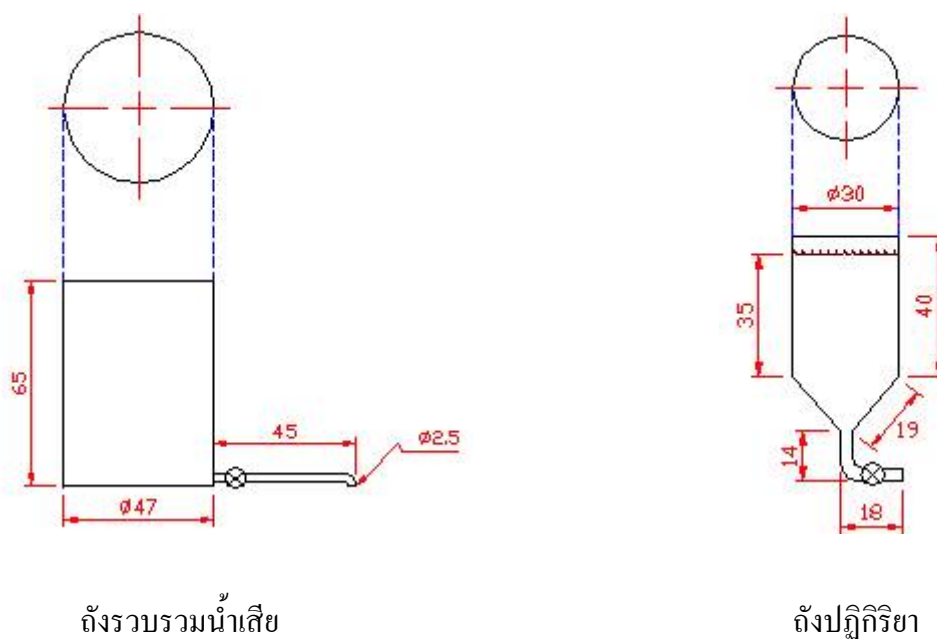
4) วาล์วอัตโนมัติ

เป็นวาล์วไฟฟ้าควบคุมการปิด-เปิดโดย PLC



- 1 = ถังรวบรวมน้ำเสีย (Storage Tank)
 2 = ถังปฏิกรณ์ (Reactor)
 3 = ถังรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Effluent Sumption Tank)
 A = วาล์วอัตโนมัติ (Solinoide Valve)
 AP = เครื่องเติมอากาศ (Air Pump)
 Control = เครื่องควบคุม (PLC)
 K = จุลินทรีย์ (Microorganism)
 M = วาล์วปิด-เปิดด้วยมือ (Manual Valve)
 P = ปั๊มน้ำ (Pump)
 S = หัวกระจายอากาศ (Air Diffuser Stone)

ภาพที่ 3.1 แบบจำลองระบบเอสปีอาร์



ถังรวบรวมน้ำเสีย

ถังปฏิกริยา

ภาพที่ 3.2 ขนาดถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลอง

5) เครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศจะทำงานในช่วงการทำปฏิกริยาโดยใช้หัวกระจายอากาศต่อสายมาจนถึงก้นถังปฏิกริยา เครื่องเติมอากาศต่อกับ PLC เพื่อควบคุมระยะเวลาในการเติมอากาศ

6) เครื่องควบคุม

ในที่นี้หมายถึง Programmable Logic Control (PLC) เป็นเครื่องที่ใช้ควบคุมการดำเนินการของระบบในแต่ละรอบเพื่อควบคุมระยะเวลาเติมน้ำ ระยะเวลาเติมอากาศ และระยะเวลาการระบายน้ำออก โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นเป็นตัวควบคุม

7) จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบเป็นจุลินทรีย์แอโรบิกที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร ที่มีความเข้มข้นประมาณ 2,000 mg/L ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่า COD เฉลี่ยไม่เกิน 300 mg/L

8) วาล์วปิด-เปิดด้วยมือ

วาล์วทำหน้าที่ปิด-เปิดท่อเพื่อใช้ในการระบายตะกอนออกจากระบบ โดยส่วนใหญ่จะระบายตะกอนในช่วงพัก

9) ป้อนน้ำ

ใช้ดึงน้ำจากถังปฏิบัติการไปยังถังรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

3.3.3 นำน้ำตัวอย่างมาทดลองเดินระบบแบบจำลองของระบบเอสบีอาร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการเดินระบบดังนี้

- 1) การเติม – เติมน้ำเสียจากถังรวบรวมน้ำเสียจนถึงระดับน้ำสูงสุดที่กำหนด โดยมีเซนเซอร์เป็นตัวควบคุม ช่วงนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 5 นาที
- 2) การทำปฏิกิริยา – เริ่มทำการเติมอากาศ ช่วงนี้จะมีการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ระยะเวลา 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ
- 3) การตกตะกอน – เมื่อการเติมอากาศสิ้นสุดลงตะกอนจะแยกชั้นกับน้ำใสโดยตะกอนจะตกลงสู่ก้นถัง ช่วงนี้จะกำหนดให้ใช้ระยะเวลา 45 นาที
- 4) การระบายน้ำใสออก – เมื่อตะกอนแยกชั้นกับน้ำใสหลังผ่านการบำบัดแล้วจะทำการระบายน้ำใสออกเพื่อนำน้ำมาวิเคราะห์ โดยน้ำจะมีการระบายออกจนถึงระดับน้ำต่ำสุดที่กำหนดไว้โดยใช้เซนเซอร์เป็นตัวควบคุม
- 5) ระยะเวลาพัก – หลังจากช่วงเวลาในการดำเนินกระบวนการเสร็จสิ้นลงแล้วจะมีช่วงระยะเวลาการพักประมาณ 10 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมในการดำเนินการในรอบต่อไป

3.3.4 นำน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยแบบจำลองของระบบเอสบีอาร์มาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบค่า COD ซ้ำหลายๆ ครั้งจนมีสภาวะคงที่

3.3.5 ทำการเก็บน้ำตัวอย่างเฉพาะในช่วงเติมอากาศมาวัดค่า BOD, SS และ VSS ทุกๆ 2 ชั่วโมง จำนวน 3 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลไว้ ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ โดย BOD วัดจากน้ำในส่วนที่เป็นน้ำใสที่ผ่านการกรองแล้ว

3.3.6 การหาประสิทธิภาพในการบำบัดของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ของน้ำได้แก่ BOD, SS, VSS, TKN, TP และ NO_3^- -N ที่วัดได้ของน้ำก่อนเข้าระบบและน้ำหลังผ่านแบบจำลองระบบเอสบีอาร์แล้วที่แต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกัก

3.3.7 ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Matlab ซึ่งเขียนขึ้นเพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ของแบบจำลองระบบเอนไซม์ที่สร้างขึ้นโดยการนำสมการของ Monod มาจัดรูปให้เป็นเส้นตรง ค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์จะหาได้จากจุดตัดแกน Y และค่าความชันของกราฟของข้อมูลในแต่ละชุดที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกัน (ภาคผนวก ข.)

3.3.8 นำค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ที่หาได้และสมการของ Monod มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ในระบบเอนไซม์สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอาคารทับแก้ว พาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา โดยใช้โปรแกรม Maple ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการแก้สมการ เนื่องจากสมการของ Monod มีลักษณะสมการเป็น Nonlinear แบบ 1st order system ที่มีความยุ่งยากมากในการแก้สมการโดยวิธีปกติ (ภาคผนวก ค.)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

ผลการทดลองการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบเอสบีอาร์จะมีการนำเสนอตามลำดับดังนี้

- 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่าง
- 4.2 ประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์
- 4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่าง

ผลการตรวจสอบลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยใช้น้ำเสียจากอาคารบำบัดแก้วพาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีการทดลองของ “Standard Methods” (APHA et al, 1998) พบว่ามีค่าตัวแปรต่างๆ (ตารางที่ 2ก) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร (ภาคผนวก จ.) ที่กำหนดไว้ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่วัดได้จากการทดลองและค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร

ตัวแปร	ค่าที่วัดได้จากการทดลอง (mg/L)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร (mg/L)
BOD	134 ± 5	ไม่เกิน 40
COD	168 ± 5	
SS	64 ± 0.5	ไม่เกิน 50
VSS	13 ± 0.5	
TKN	47 ± 0.5	ไม่เกิน 40
TP	1.6 ± 0.05	
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	0	

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาจากข้อมูลของน้ำเสียตัวอย่างแล้วจะเห็นได้ว่า ค่า BOD, SS และ ไนโตรเจน มีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียเดิมยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ที่จะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้

4.2 ประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์

จากการทดลองโดยใช้แบบจำลองระบบเอสบีอาร์ได้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

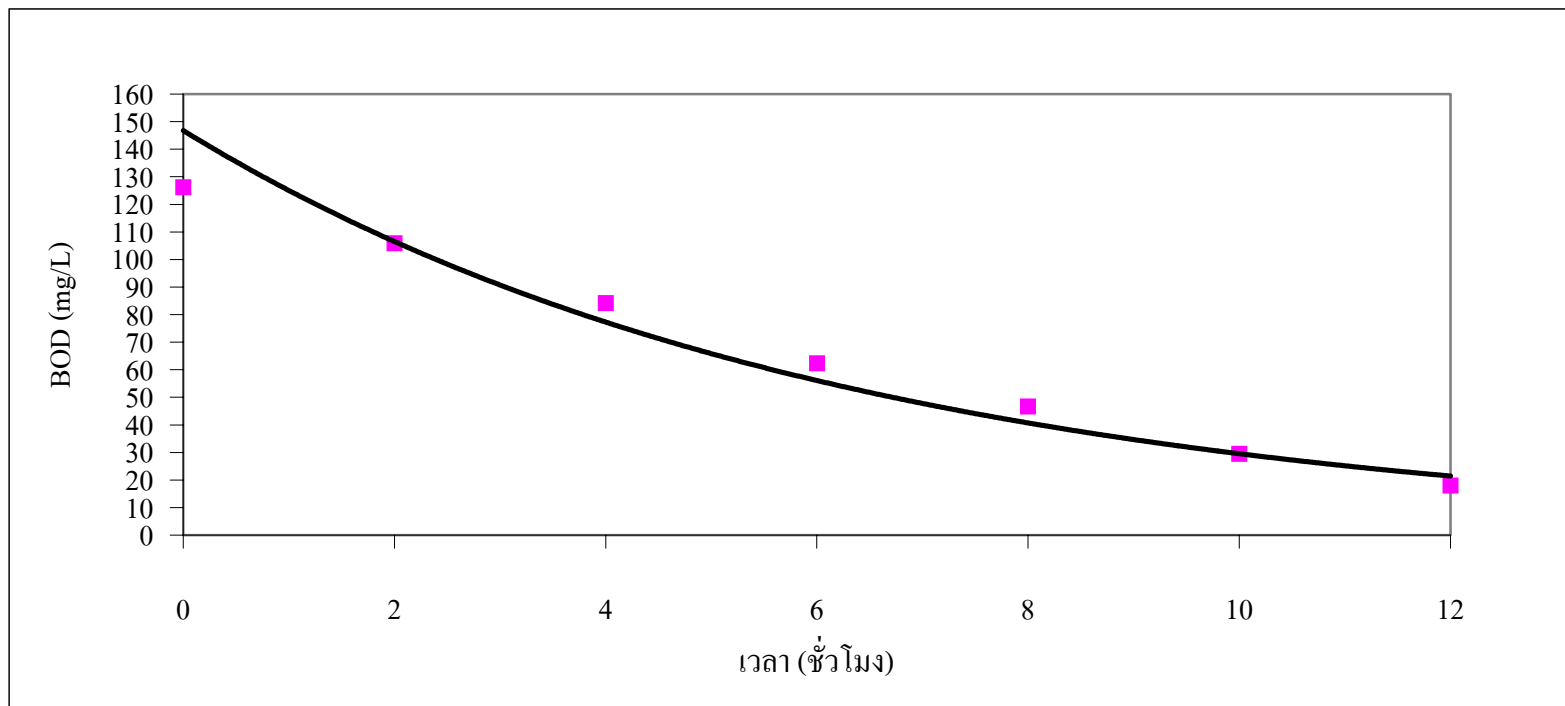
4.2.1 ประสิทธิภาพของการบำบัด BOD

การวิเคราะห์หาค่า BOD เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งโดยปกติแล้วค่า BOD จะมีค่าอยู่ระหว่าง 40-60% ของค่า COD (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุนน, 2535)

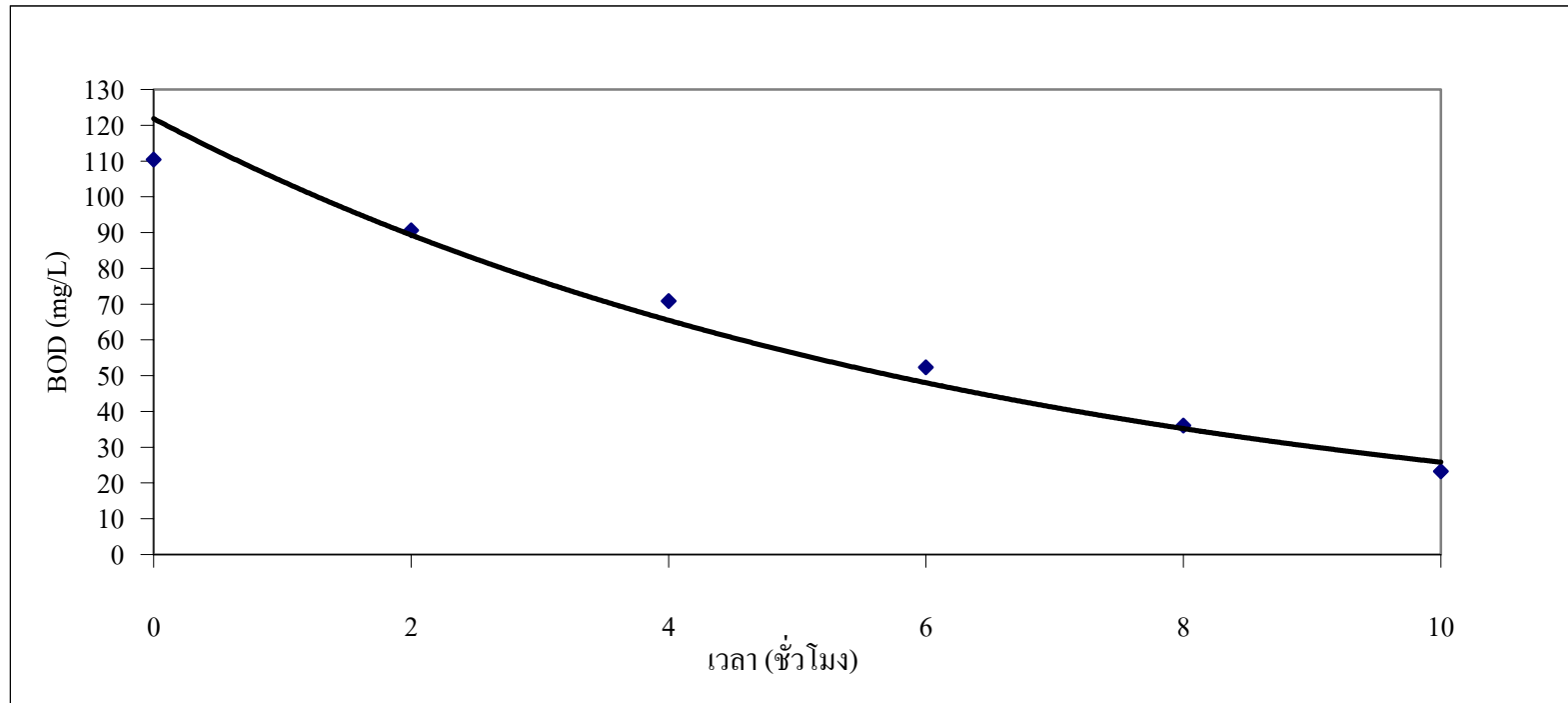
จากการทดลองค่า BOD มีการลดลง ในแต่ละช่วงระยะเวลาเต็มอากาศ เมื่อผ่านแบบจำลองของระบบเอสบีอาร์ โดยทำการวัดค่า BOD ทุกๆ 2 ชั่วโมง ในที่นี้จะทำการหาค่า BOD ในรูปอัตราส่วนของค่า COD เนื่องจากการหาค่า BOD ใช้ระยะเวลาในการทดลองนานมากกว่า COD โดยอัตราส่วน BOD:COD ที่ได้จากการทดลองเป็น 0.44:1.00 (ภาคผนวก ก.) ค่า BOD ที่วัดได้ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4

จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเต็มอากาศที่ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ค่า BOD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 124 mg/L โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ค่า BOD เมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเท่ากับ 18, 23, 39 และ 38 mg/L (จากตารางที่ 2ก) โดยคิดเปรียบเทียบเป็นประสิทธิภาพการบำบัดจะได้ค่า 86%, 80%, 72% และ 68% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.5

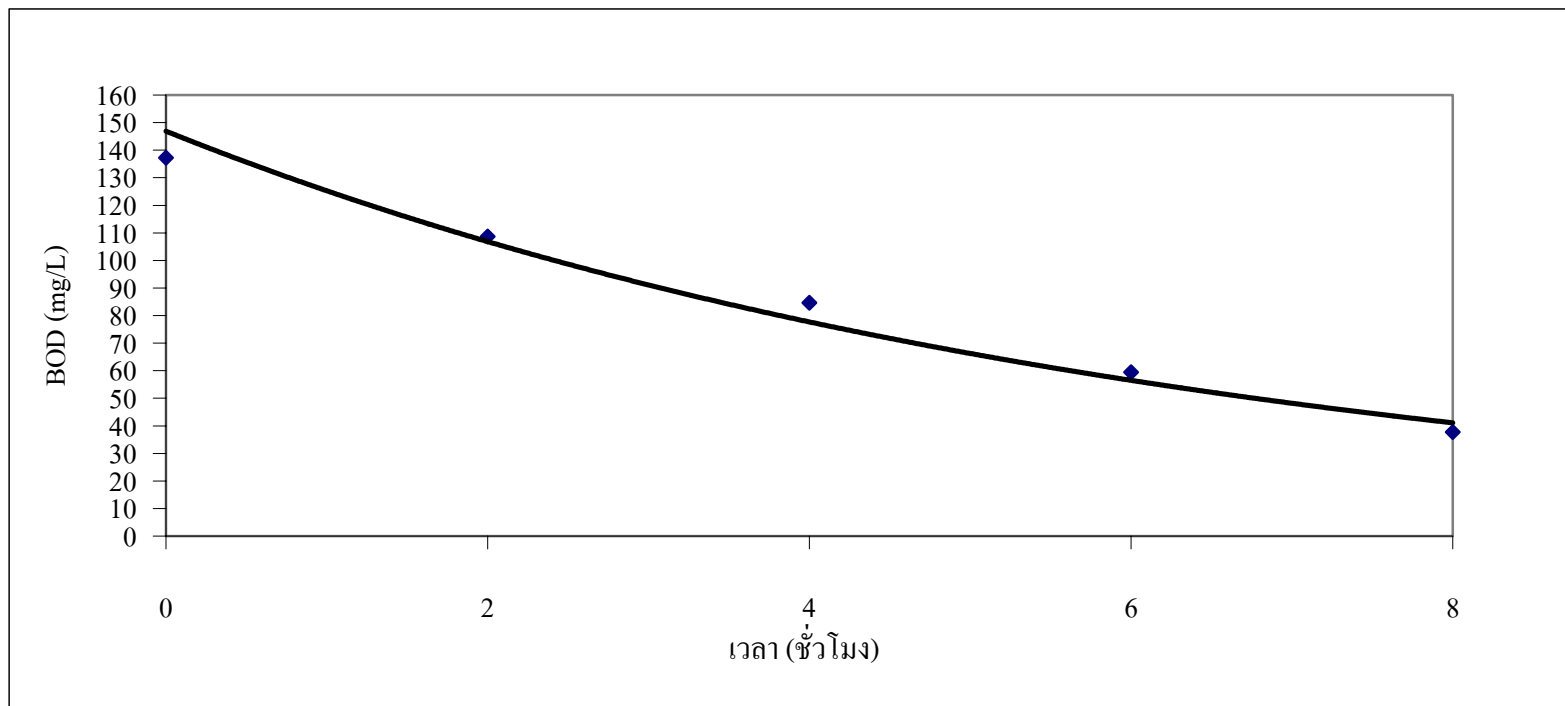
จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเต็มอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระยะเวลาเต็มอากาศสูง ทำให้ช่วงระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ยาวนานยิ่งขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้อยลง ประสิทธิภาพในการบำบัดวัดในรูป BOD จึงสูงกว่าที่ระยะเวลาเต็มอากาศต่ำ



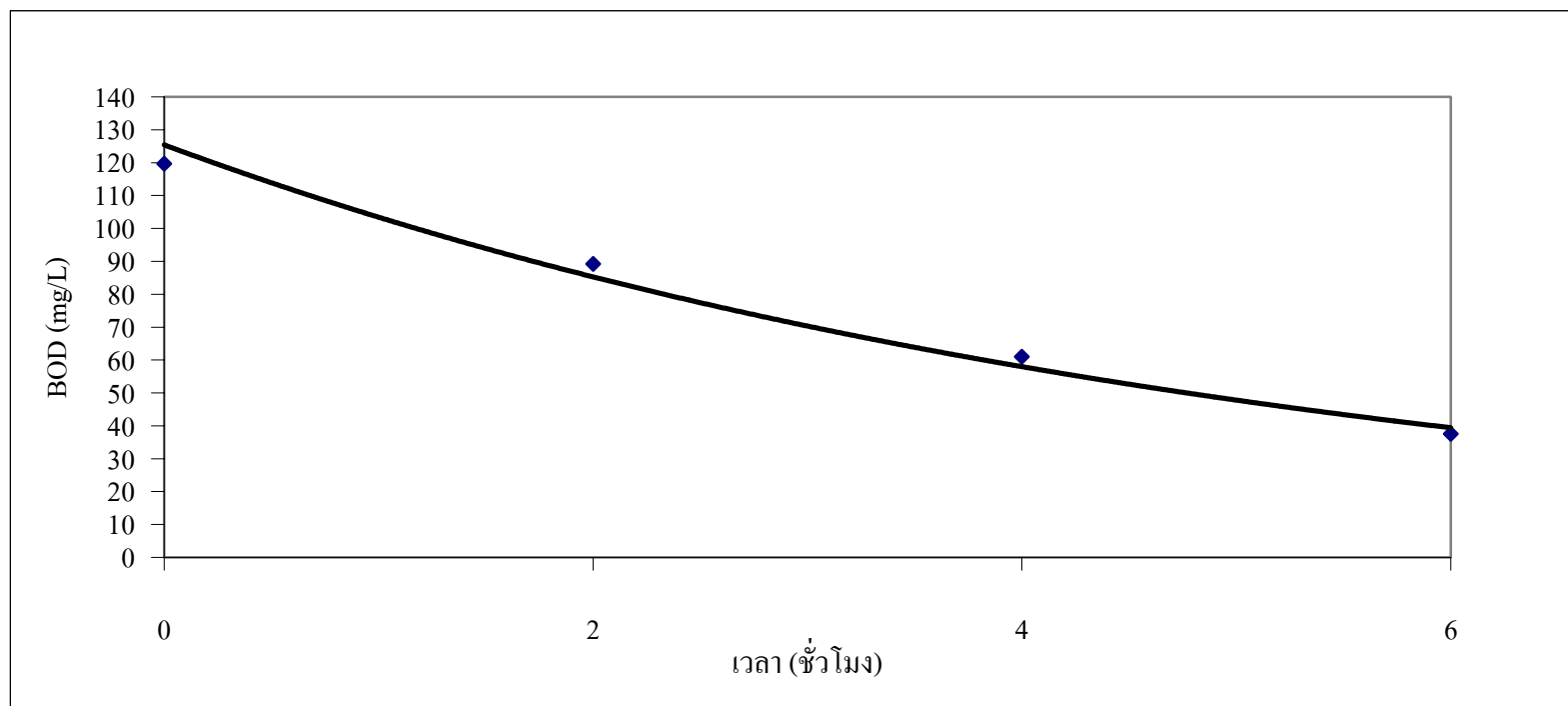
ภาพที่ 4.1 การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเต็มอากาศ 12 ชั่วโมง



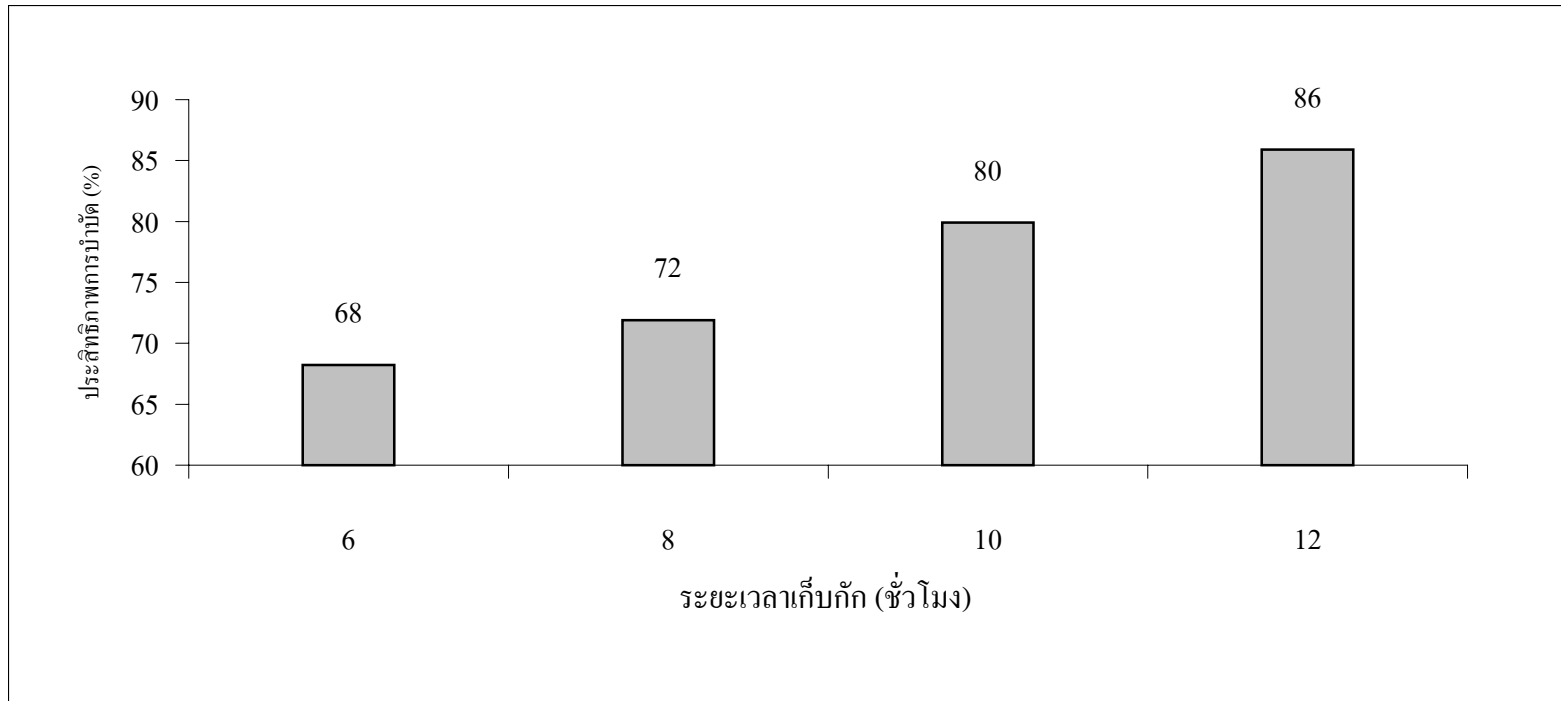
ภาพที่ 4.2 การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเต็มอากาศ 10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.3 การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเต็มอากาศ 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.4 การลดลงของค่า BOD ที่ระยะเวลาเต็มอากาศ 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกัน

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของ SS

การวิเคราะห์หาค่า SS เป็นการวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (“Whatman” GF/C) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุนน, 2535) ซึ่งโดยปกติแล้วค่า SS จะมีค่ามากกว่าค่า VSS เนื่องจากค่า SS เป็นผลบวกระหว่างค่า VSS กับ FS (Fixed Solids)

การทดลองจะทำการวัดค่า SS ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกัน เมื่อผ่านแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ โดยทำการวัดค่า SS ทุกๆ 2 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาเดิมอากาศ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่า SS ที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2
ตารางที่ 4.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า SS ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกัน

SS (mg/L)	ระยะเวลาเดิมอากาศ			
	12 ชั่วโมง	10 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
เวลา (ชั่วโมง)				
0	1,877	2,690	2,039	2,752
2	1,949	2,703	2,063	2,779
4	1,975	2,722	2,086	2,798
6	1,979	2,771	2,102	2,833
8	1,987	2,793	2,123	-
10	2,009	2,821	-	-
12	2,013	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	1,970	2,750	2,082	2,791

เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่า SS มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีการเจริญเติบโตรวมกับปริมาณจุลินทรีย์ที่ตายและยังย่อยสลายไม่หมด เมื่อทำการวัดโดยการชั่งน้ำหนักซึ่งเป็นปริมาณรวมทำให้ SS มีค่าสูงขึ้น และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่า SS ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกันกับค่า SS เฉลี่ยจากผลการทดลองในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก ง.) ดังนั้นจึงถือว่าค่า SS เฉลี่ยเป็นค่า SS ที่วัดได้ในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยที่ระยะเวลาเดิมอากาศ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมง มีค่า SS เป็น 1,970, 2,750, 2,082 และ 2,791 mg/L ตามลำดับ

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของ VSS

การวิเคราะห์หาค่า VSS เป็นการวัดปริมาณของสารที่สลายกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิ $550^{\circ} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์จากการนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิดังกล่าว ทำให้ทราบปริมาณคร่าวๆของสารอินทรีย์ในส่วนที่เป็นของแข็งในน้ำเสีย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และพีเชรพร เชาวกิจเจริญ, 2536)

การทดลองจะทำการวัดค่า VSS ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกัน เมื่อผ่านแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ โดยทำการวัดค่า VSS ทุกๆ 2 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่า VSS ที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า VSS ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเติมอากาศ			
	12 ชั่วโมง	10 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
0	1,441	1,525	1,562	1,887
2	1,454	1,537	1,576	1,903
4	1,466	1,549	1,591	1,919
6	1,477	1,560	1,604	1,933
8	1,488	1,570	1,616	-
10	1,498	1,579	-	-
12	1,506	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	1,476	1,553	1,590	1,911

เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่า VSS มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากค่า VSS ในที่นี้เราใช้แทนปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นเมื่อปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบที่มีการเจริญเติบโตพร้อมกับปริมาณจุลินทรีย์ที่ตายและยังย่อยสลายไม่หมดเช่นเดียวกับค่า SS มาทำการวัดโดยการชั่งน้ำหนักซึ่งเป็นปริมาณรวมทำให้ VSS มีค่าสูงขึ้นได้ และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่า VSS ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกันกับค่า VSS เฉลี่ยจากผลการทดลองในแต่ละระยะเวลาเติมอากาศ โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก ง.) ดังนั้นจึงถือว่าค่า VSS เฉลี่ยเป็นค่า VSS ที่วัดได้ในแต่ละระยะเวลาเติมอากาศ โดยที่ระยะเวลาเติมอากาศ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมง มีค่า VSS เป็น 1,476, 1,553, 1,590 และ 1,911 mg/L ตามลำดับ

4.2.4 การลดลงของ TKN และการเพิ่มขึ้นของ NO_3^- -N

การวิเคราะห์หาค่า TKN เป็นการวัดปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำตามแหล่งน้ำต่างๆ ซึ่งเป็นผลบวกระหว่างค่าออร์แกนิกไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชหรือสัตว์ที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน, 2535)

จากการทดลองวัดค่า TKN เมื่อผ่านแบบจำลองของระบบเอสปีอาร์ ที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมง โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว การลดลงของค่า TKN ของน้ำเสียหลังผ่านแบบจำลองระบบเอสปีอาร์แสดงในตารางที่ 4.4 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการลดลงของค่า TKN ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกันกับค่า TKN เฉลี่ยจากผลการทดลองในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก ง.) ดังนั้นจึงถือว่าการลดลงของค่า TKN เฉลี่ยเป็นการลดลงของค่า TKN ที่วัดได้ในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยที่การลดลงของค่า TKN มีค่าเท่ากับ 95%

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า TKN ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	Sample	TKN (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)
6	In	20	95
	Out	1	
8	In	27	98
	Out	1	
10	In	32	98
	Out	1	
12	In	24	90
	Out	2	
ค่าเฉลี่ย			95

กระบวนการ Nitrification เป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียอิสระให้เป็น NO_2^- -N และ NO_3^- -N ในระบบบำบัดขั้นที่ 2 ของกระบวนการโปรยกรองและระบบเลี้ยงตะกอน ปฏิริยาออกซิเดชันขั้นแรกจะเปลี่ยนเป็น NO_2^- -N และจากนั้นเป็น NO_3^- -N อัตราเร็วในการเกิด NO_3^- -N จาก NO_2^- -N นั้นเกิดขึ้นเร็วมากโดยมีข้อยกเว้นน้อยมาก ดังนั้นการตรวจพบ NO_3^- -N เป็นการชี้บ่งที่ดีถึงการเกิด

เสถียรภาพของกระบวนการ Nitrification อย่างสมบูรณ์ (ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และพีชพร เซาวกิจเจริญ, 2536)

จากการทดลองวัดค่า NO_3^- -N เมื่อผ่านแบบจำลองของระบบเอสปีอาร์ ที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมง โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว การเพิ่มขึ้นของค่า NO_3^- -N ของน้ำเสีย หลังผ่านแบบจำลองระบบเอสปีอาร์แสดงในตารางที่ 4.5 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการเพิ่มขึ้นของค่า NO_3^- -N ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกันกับค่า NO_3^- -N เฉลี่ยจากผลการทดลองในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก ง.) ดังนั้นจึงถือว่าการเพิ่มขึ้นของค่า NO_3^- -N เฉลี่ยเป็นการเพิ่มขึ้นของค่า NO_3^- -N ที่วัดได้ในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยที่ค่า NO_3^- -N มีค่าเท่ากับ 26.8 mg/L

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า NO_3^- -N ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	Sample	NO_3^- -N (mg/L)
6	In	0
	Out	26.7
8	In	0
	Out	26.8
10	In	0
	Out	26.9
12	In	0
	Out	26.8
ค่าเฉลี่ย		26.8

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันของปริมาณ NO_3^- -N ที่เพิ่มขึ้นในขณะค่า TKN ลดลง เนื่องจากไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำเสียเมื่อได้รับออกซิเจนจากการเติมอากาศในช่วงการทำปฏิกิริยาทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็น NO_3^- -N จากปฏิกิริยา Nitrification

4.2.5 การลดลงของ TP

การวิเคราะห์หาค่า TP จะเป็นการหาฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำทั้งหมดโดยฟอสฟอรัสที่พบในน้ำเสียเกือบทุกชนิดจะอยู่ในรูปฟอสเฟตชนิดต่างๆอาจจะพบฟอสเฟตในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปของสารอนินทรีย์หรือในรูปของตัวจุลินทรีย์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และเพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 2536)

จากการทดลองการลดลงของค่า TP ที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 12, 10, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ เมื่อผ่านแบบจำลองของระบบเอสปีอาร์ โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว การลดลงของค่า TP ของน้ำเสียหลังผ่านแบบจำลองระบบเอสปีอาร์แสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างการลดลงของค่า TP ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเดิมอากาศที่แตกต่างกันกับค่า TP เฉลี่ยจากผลการทดลองในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก ง.) ดังนั้นจึงถือว่าการลดลงของค่า TP เฉลี่ยเป็นการลดลงของค่า TP ที่วัดได้ในแต่ละระยะเวลาเดิมอากาศ โดยที่การลดลงของค่า TP มีค่าเท่ากับ 89.5%

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า TP ที่ระยะเวลาเก็บกักที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	Sample	TP (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)
6	In	3	91
	Out	0.3	
8	In	4	83
	Out	0.7	
10	In	3	96
	Out	0.1	
12	In	4	92
	Out	0.3	
ค่าเฉลี่ย			89.5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า TP มีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์นำเอาฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำเสียมาใช้ในกิจกรรมของเซลล์และการสร้างเซลล์ใหม่ เมื่อทำการแยกตะกอน-จุลินทรีย์ออกจากน้ำจึงทำให้ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าลดลง

4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์

ค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ต่าง ๆ ได้แก่ K_s , k , k_d และ Y สามารถหาได้ จากการนำค่า BOD และค่า VSS ที่ได้จากการทดลองมาหาค่าสัมประสิทธิ์โดยใช้โปรแกรม Matlab (รายละเอียดในภาคผนวก ข.) ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} K_s &= 29 \text{ mg/L} \\ k &= 0.102 \text{ d}^{-1} \\ k_d &= 0.048 \text{ d}^{-1} \\ Y &= 0.4525 \text{ mg VSS/ mg BOD} \end{aligned}$$

4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเอสปีอาร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเอสปีอาร์ได้จากการนำสมการของ Monod มาวิเคราะห์ในรูปของสมการสมดุลของอาหารในถังปฏิกรณ์แบบกะ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเอสปีอาร์ที่ได้ใช้เป็นต้นแบบในการสร้างระบบเอสปีอาร์สำหรับใช้งานหรือเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเอสปีอาร์

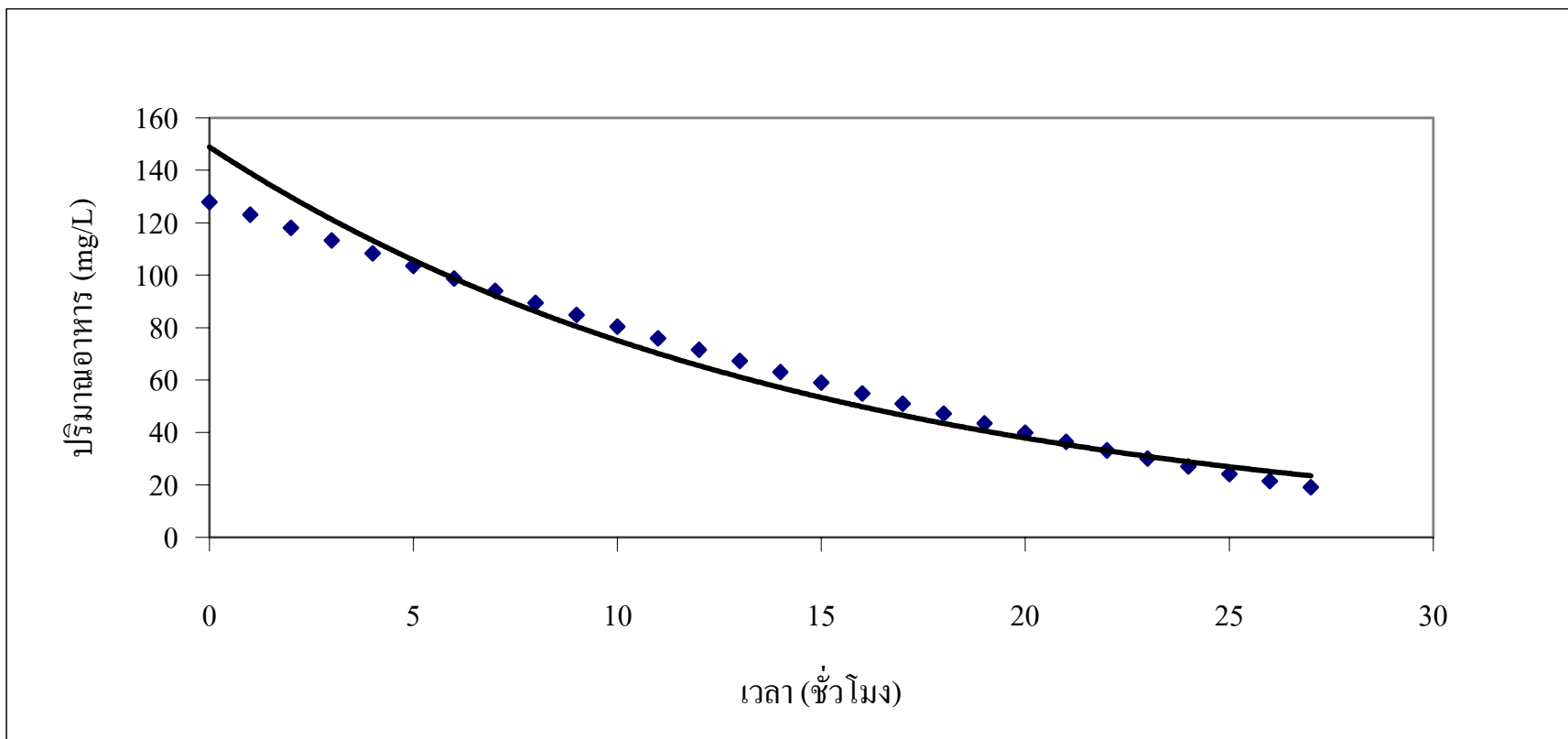
$$dS/dt = -kXS/(K_s + S)$$

$$dX/dt = (YkXS/(K_s + S)) - k_dX$$

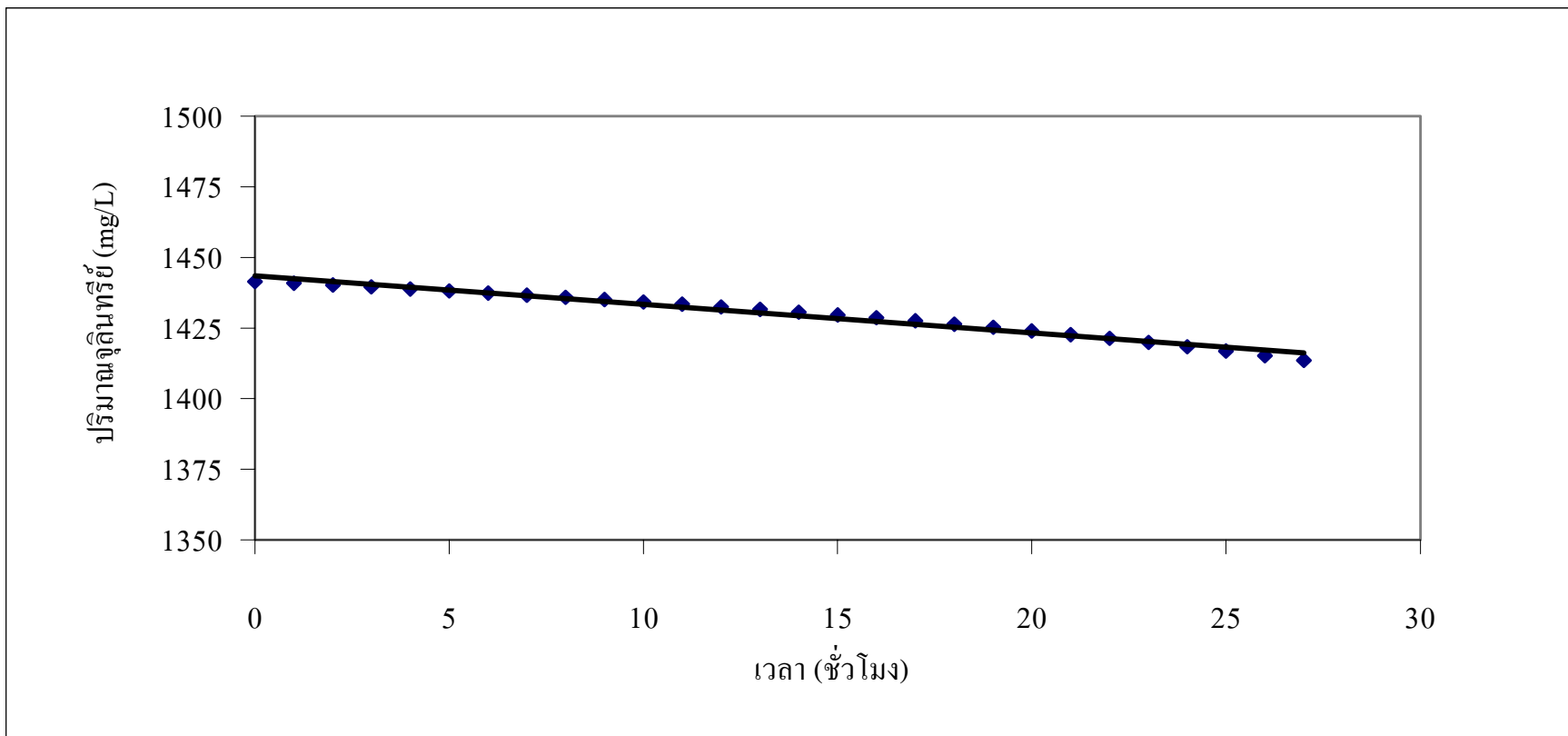
จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเอสปีอาร์และค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ได้ในรูปของกราฟดังแสดงในภาพที่ 4.6 และ 4.7 โดยใช้โปรแกรม Maple ซึ่งค่าเริ่มต้นที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลเบื้องต้นที่นำมาทำการทดลองและเมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่า BOD และ VSS ที่วัดได้กับค่า BOD และ VSS ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้น

โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก ก.)

ภาพที่ 4.6 และ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารและจุลินทรีย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลองของน้ำเสียจากอาคารทับแก้วพาเลซ ค่าปริมาณอาหารมีค่าลดลงที่ระยะเวลาเก็บกักสูงขึ้น และเนื่องจากเราจะนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน จึงเลือกใช้เกณฑ์มาตรฐาน BOD ไม่เกิน 20 mg/L ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโดยทั่วไปเป็นตัวกำหนด โดยระยะเวลาเก็บกักที่ได้สำหรับค่า BOD และ VSS นี้คือ 27 ชั่วโมง จะสามารถลดค่า BOD ได้เป็น 19 mg/L ซึ่งน้อยกว่า 20 mg/L ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารที่กำหนดไว้ โดยที่ค่าปริมาณจุลินทรีย์เกือบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง จากความสัมพันธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการบำบัดของระบบในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม จากข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบและดำเนินการสร้างระบบเอสปีอาร์ของอาคารทับแก้วพาเลซต่อไป



ภาพที่ 4.6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณอาหารในแบบจำลองระบบเอสปีอาร์



ภาพที่ 4.7 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณยูเรียไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาเราสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

(1) ลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่างจากอาคารทับแก้วพาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา จากการตรวจสอบพบว่ามียค่า BOD, SS และ ไนโตรเจน เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร

(2) ประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์ มีประเด็นสรุปคือ

- ประสิทธิภาพของการบำบัด BOD ในน้ำเสียตัวอย่าง จากการทดลองที่ระยะเวลาเติมอากาศ 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณ BOD ลงได้ 68%, 72%, 80% และ 86% ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้นตามระยะเวลาเติมอากาศที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระยะเวลาเติมอากาศสูง ทำให้ช่วงระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ยาวนานยิ่งขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียน้อยลง ประสิทธิภาพในการบำบัดวัดในรูป BOD จึงสูงกว่าที่ระยะเวลาเติมอากาศต่ำ

- การเปลี่ยนแปลงของค่า SS และ VSS ในน้ำเสียตัวอย่าง จากการทดลองที่ระยะเวลาเติมอากาศ 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง SS และ VSS มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามระยะเวลาเติมอากาศที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อทำการทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่า SS และ VSS ที่วัดได้ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่แตกต่างกันกับค่า SS และ VSS เฉลี่ยจากผลการทดลองในแต่ละระยะเวลาเติมอากาศ โดยการทดสอบค่า t (t-test) พบว่ามีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงถือว่าค่า SS และ VSS เฉลี่ยเป็นค่า SS และ VSS ที่วัดได้ในแต่ละระยะเวลาเติมอากาศ โดยที่ระยะเวลาเติมอากาศ 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง มีค่า SS เป็น 2,791, 2,082, 2,750 และ 1,970 mg/L และค่า VSS เป็น 1,911, 1,590, 1,553 และ 1,476 mg/L ตามลำดับ ผลของค่า SS และ VSS ที่วัดได้สอดคล้องกันเนื่องจากค่า VSS เป็นส่วนหนึ่งของค่า SS โดยค่า SS หมายถึงค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบ ส่วนค่า VSS หมายถึงค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ซึ่งในที่นี้หมายถึงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

- เดิมทีจากการทดลอง เมื่อผ่านแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ปริมาณไนโตรเจนที่ตรวจสอบในรูปของ TKN มีค่าลดลง ทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงมาก แต่เมื่อทำการตรวจสอบค่า NO_3^- -N พบว่ามี NO_3^- -N เกิดขึ้นในปริมาณที่สูงมากเช่นกัน ทำให้สรุปได้ว่าระบบอาจจะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากในถังปฏิกริยามีการเกิด Nitrification จากการเติมอากาศ ทำให้ไนโตรเจนในน้ำเสียส่วนใหญ่เปลี่ยนรูปไปเป็น NO_3^- -N

- ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสในรูปของ TP มีประสิทธิภาพการบำบัดค่า TP เท่ากับ 89.5% แสดงให้เห็นว่า TP มีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์นำเอาฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำเสียมาใช้ในกิจกรรมของเซลล์และการสร้างเซลล์ใหม่ เมื่อทำการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำจึงทำให้ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าลดลง

(3) แบบจำลองของระบบเอสบีอาร์

- แบบจำลองของระบบเอสบีอาร์สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอาคารทับแก้วพาเลซ สถาบันราชภัฏนครราชสีมาเป็นดังนี้

$$dS/dt = -0.102XS/(29 + S)$$

$$dX/dt = (0.046XS/(29 + S)) - 0.048X$$

- ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารและจุลินทรีย์ของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ปริมาณอาหารมีการลดลงตามลำดับ เมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มมากขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบค่อนข้างคงที่ โดยระยะเวลาเก็บกักที่ได้คือ 27 ชั่วโมงสามารถลดค่า BOD ได้เป็น 19 mg/L ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารที่กำหนดไว้ จากข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบและดำเนินการสร้างระบบเอสบีอาร์ของอาคารทับแก้วพาเลซต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปของ NO_3^- -N ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สาหร่ายในน้ำเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2543). **มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ:กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2537). **วิศวกรรมกรำจัดน้ำเสีย**. (เล่มที่ 3). กรุงเทพฯ:มิตรนรากรพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2538). **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และเพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ. (2536). **ปฏิบัติการอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย**. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน. (2535). **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระ เกรอด. (2539). **วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ**. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระพงษ์ วงศ์รัตนานนท์. (2540). **แบบจำลองการกำจัดสารอาหารของระบบเอสบีอาร์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มณฑล สดุดประเสริฐ. (2535). **การบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมโดยใช้ระบบบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์ต่อแบบอนุกรม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- APHA, AWWA and WPCF. (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. (19 th ed.). APHA:Washington D.C.
- Arora, Madan L., Barth, Edwin F. and Umhres, Margaret B. (1985). Technology evaluation of sequencing batch reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol. 57, No. 8, pp. 867-875.
- Gupta, H. (1990). **Removal of Phenol from Wastewater Using an Immobilized Cell Sequencing Batch Reactor**. M.S.thesis, Asian Institute of Technology.
- Herzbrun, A., Irvine, Robert L. and Malinowski, C. (1985). Biological Treatment of Harzardous Waste in Sequencing Batch Reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol. 57, No. 12, pp. 1163-1167.
- Hoepker, E.C. and Schroeder, E.D. (1979). The Effect of Loading Rate on Batch Activated Sludge Effluent Quality. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol. 51, No. 2, pp. 264-273.

- Irvine, Robert L. and Busch, W. (1979). Sequencing batch biological reactors and overview. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol. 51, No. 2, pp. 235-243.
- Irvine, Robert L., Ketchum, Lloyd H. Jr, Breyfoyle R. and Barth, Edwin F. (1983). Municipal application of sequencing batch treatment. **Journal of Water Pollution Control Federation**. Vol. 55, pp. 484-488.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse**. (3 rd ed). Singapore: McGraw-Hill.
- Morling, S. (1991). **The SBR-Technology: An Attractive Biological Wastewater Treatment Option for Advanced Industrial Application**. Scandiaconsult International AB, Sweden.
- Ng, J. (1991). **Treatment of Wastewaters with The SBRs (Sequencing Batch Reactor System)**. Department of Civil Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- Norcross, L. (1990). Performance & Design Consideration for SBR Treatment of Food Processing wastewater. **Prepared for 1990 Food Industry Environmental Conference**. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, USA.
- Olsson, Gustaf and Newell, Bob. (1999). **Wastewater Treatment Systems**. London: IWA Publishing
- Sawyer, N., McCarty, P.L., and Parkin, F. (1994). **Chemistry for Environmental Engineering**. 4 th ed., McGraw-Hill, New York.
- Tonik, H. (1983). **Operating Experiences with the Batch Aeration Process**. Manitoba, Canada: Topnik and Associates, Ltd.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูล

ตารางที่ 1ก อัตราส่วนระหว่าง BOD : COD

Sample	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
1	265	110
2	261	110
3	261	120
4	140	63
5	125	60
6	129	57
ค่าเฉลี่ย	197	87

อัตราส่วนระหว่าง BOD : COD = 0.44 : 1.00

ตารางที่ 2ก ค่า BOD ที่คำนวณได้จากการทดลอง

ระยะเวลาเติม อากาศ (ชั่วโมง)	Sample แต่ละช่วง เวลา (ชั่วโมง)	COD (mg/L)				BOD* (mg/L)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
12	0	292	293	287	291	128
	2	250	237	237	241	106
	4	196	195	184	192	85
	6	149	146	142	146	64
	8	112	95	112	106	47
	10	69	69	70	69	30
	12	40	42	41	41	18
10	0	256	253	256	255	112
	2	208	206	207	207	91
	4	160	166	160	162	71
	6	120	119	121	120	53
	8	80	87	79	82	36
	10	56	47	50	51	23
8	0	315	310	311	312	137
	2	253	248	249	250	110
	4	189	194	190	191	84
	6	134	139	135	136	60
	8	87	92	85	88	39
6	0	272	271	271	271	119
	2	200	200	208	203	89
	4	144	139	140	141	62
	6	88	80	88	85	38

* $BOD (mg/L) = 0.44COD (mg/L)$

ตารางที่ 3ก ค่า SS ที่วัดได้จากการทดลอง

ระยะเวลาเต็มอากาศ (ชั่วโมง)	Sample แต่ละช่วงเวลา (ชั่วโมง)	SS (mg/L)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	0	1,816	1,935	1,880	1,877
	2	1,924	2,071	1,852	1,949
	4	1,998	2,047	1,880	1,975
	6	1,939	2,000	1,998	1,979
	8	1,961	2,022	1,978	1,987
	10	1,963	2,046	2,018	2,009
	12	1,980	2,071	1,988	2,013
10	0	2,638	2,710	2,722	2,690
	2	2,665	2,678	2,767	2,703
	4	2,655	2,795	2,716	2,722
	6	2,766	2,798	2,749	2,771
	8	2,798	2,785	2,796	2,793
	10	2,808	2,800	2,855	2,821
8	0	2,014	2,012	2,092	2,039
	2	2,040	1,986	2,162	2,063
	4	2,092	2,080	2,086	2,086
	6	2,130	2,004	2,172	2,102
	8	2,120	2,008	2,241	2,123
6	0	2,765	2,745	2,745	2,752
	2	2,700	2,848	2,790	2,779
	4	2,808	2,772	2,813	2,798
	6	2,810	2,913	2,777	2,833

ตารางที่ 4ก ค่า VSS ที่วัดได้จากการทดลอง

ระยะเวลาเติมอากาศ (ชั่วโมง)	Sample แต่ละช่วงเวลา (ชั่วโมง)	VSS (mg/L)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	0	1,449	1,469	1,405	1,441
	2	1,453	1,489	1,420	1,454
	4	1,450	1,488	1,460	1,466
	6	1,462	1,481	1,488	1,477
	8	1,459	1,511	1,494	1,488
	10	1,460	1,520	1,514	1,498
	12	1,474	1,528	1,516	1,506
10	0	1,550	1,565	1,460	1,525
	2	1,634	1,588	1,390	1,537
	4	1,535	1,562	1,550	1,549
	6	1,580	1,595	1,506	1,560
	8	1,600	1,511	1,600	1,570
	10	1,580	1,600	1,558	1,579
8	0	1,580	1,530	1,576	1,562
	2	1,508	1,561	1,660	1,576
	4	1,570	1,504	1,698	1,591
	6	1,594	1,518	1,700	1,604
	8	1,592	1,481	1,776	1,616
6	0	1,880	1,880	1,900	1,887
	2	1,922	1,887	1,902	1,903
	4	1,907	1,920	1,930	1,919
	6	1,950	1,893	1,956	1,933

ตารางที่ 5ก ค่า TKN ที่วัดได้จากการทดลอง

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	Sample	TKN (mg/L)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	In	24	24	24	24
	Out	3	2	2	2
10	In	33	26	36	32
	Out	0	1	1	1
8	In	25	26	30	27
	Out	1	1	1	1
6	In	20	21	20	20
	Out	1	1	1	1

ตารางที่ 6ก ค่า TP ที่วัดได้จากการทดลอง

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	Sample	TP (mg/L)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	In	4	4	3	4
	Out	0.3	0.3	0.3	0.3
10	In	3	3	4	3
	Out	0.0	0.1	0.2	0.1
8	In	5	4	4	4
	Out	0.3	1.6	0.3	0.7
6	In	3	3	3	3
	Out	0.3	0.3	0.3	0.3

ตารางที่ 7ก ค่า NO_3^- -N ที่วัดได้จากการทดลอง

ระยะเวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	Sample	NO_3^- -N (mg/L)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	In	0	0	0	0
	Out	26.6	26.5	27.3	26.8
10	In	0	0	0	0
	Out	26.7	26.8	27.2	26.9
8	In	0	0	0	0
	Out	27.0	26.3	27.0	26.8
6	In	0	0	0	0
	Out	26.7	27.5	26.0	26.7

ภาคผนวก ข.
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ (Matlab)

ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

Data 1

clear all

Time =[0:2:12]

BOD =[127.956 106.236 84.587 64.433 46.677 30.418 18.029]

Vss =[1441.486 1453.839 1465.983 1477.462 1488.042 1497.730 1505.833]

Step =2

Data 2

clear all

Time =[0:2:10]

BOD =[112.216 90.967 71.124 52.625 36.025 22.546]

Vss =[1524.965 1537.304 1549.167 1560.261 1570.421 1579.255]

Step =2

Data 3

clear all

```
Time =[0:2:8]
```

```
BOD =[137.240 109.918 84.212 59.987 38.578 ]
```

```
Vss =[1561.582 1576.448 1590.667 1604.025 1616.206]
```

```
Step =2
```

```
Data 4
```

```
clear all
```

```
Time =[0:2:6]
```

```
BOD =[119.275 89.350 61.927 37.913 ]
```

```
Vss =[1886.506 1903.059 1918.594 1932.538]
```

```
Step =2
```

```
%Solution
```

```
clc
```

```
Gph01=plot(Time,BOD);
```

```
set(Gph01,'Marker','o')
```

```
xlabel('time')
```

```
ylabel('BOD')
```

```
grid on
```

```
%pause
```

```
X= sum(Vss)/length(Vss) ;

% Calculate ds/dt

for cont = 1 : 1 : length(Time)-1

    dst(cont)=(BOD(cont)-BOD(cont+1))/(Step*X) ;

end

% Calculate dx/dt

for cont = 1 : 1 : length(Time)-1

    dxt(cont)=((Vss(cont+1)-Vss(cont))/(Step*X)) ;

end

Gph02=plot(dst,dxt);
set(Gph02,'Marker','o')
c=polyfit(dst,dxt,1)
C1=c(1) ;
C2=c(2) ;

Kd=C2/C1;

grid on
pause
%close
```

```
% Calculate ln(S0/S)/time

for cont = 1:1:length(Time)-1

    lss(length(Time)-cont)=(log(BOD(cont+1)/BOD(1)))/(cont*Step) ;

end

% Calculate S0-S/time

for cont = 1:1:length(Time)-1

    lxx(cont)=(BOD(1)-BOD(cont+1))/(cont*Step) ;

end

Gph04=plot(lxx,lss);
set(Gph04,'Marker','o')
grid on
pause
close

d=polyfit(lxx,lss,1)
D1=d(1) ;
D2=d(2) ;
Ks= 1/D1 ;
pause
close

% Display final Solution
```

p=1 ;

m=3 ;

clc

Y = C1

Kd

Ks = abs(Ks)

w=(Vss(p)-Vss(m))/(Ks*Time(m)) ;

s=(1/Time(m))*log(Vss(m)/Vss(p)) ;

k=(-1)*(w-s)*Ks/X

ข.2 ผลจากการคำนวณ

Y = 0.45

Y = 0.46

Y = 0.46

Y = 0.44

k_d = 0.002

k_d = 0.002

k_d = 0.002

k_d = 0.002

K_s = 28

K_s = 30

K_s = 28

K_s = 30

k = 0.004

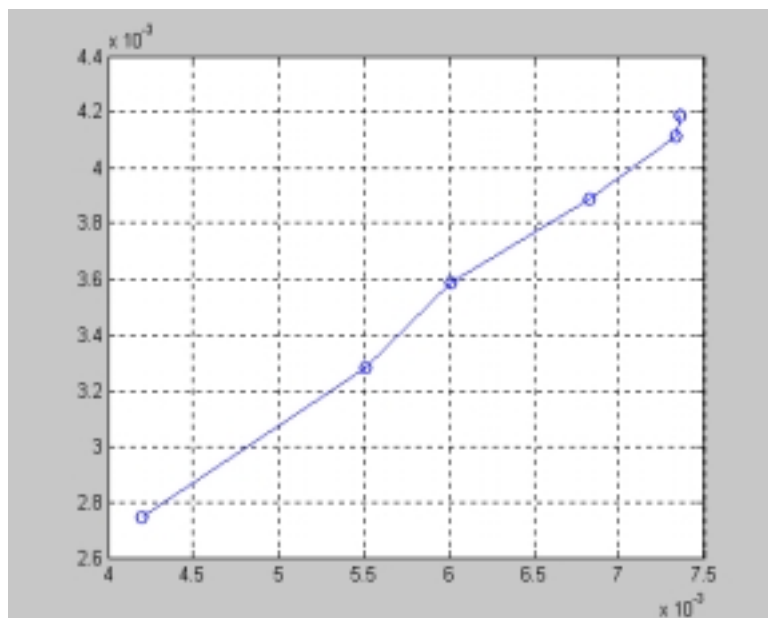
k = 0.004

k = 0.005

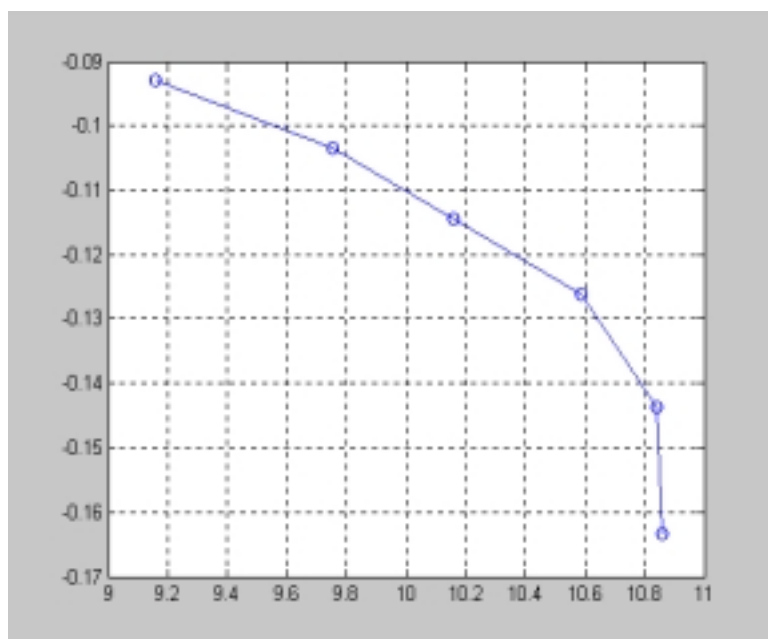
k = 0.004

ข.3 กราฟจากโปรแกรม

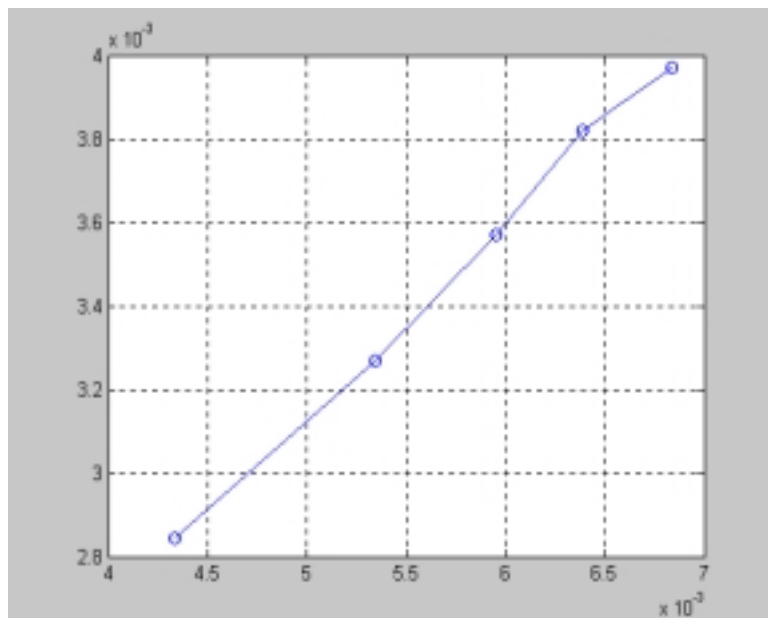
ภาพที่ 1ข กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 12 ชั่วโมง



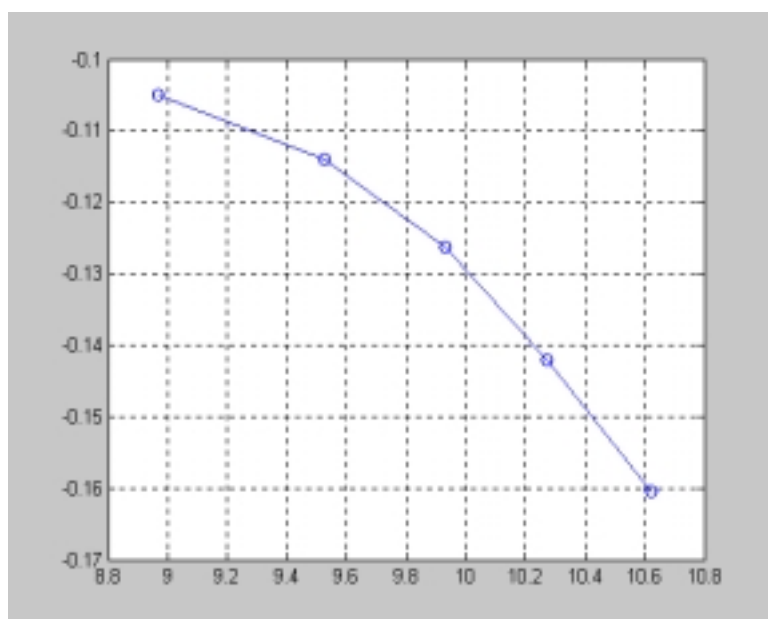
ภาพที่ 2ข กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 12 ชั่วโมง



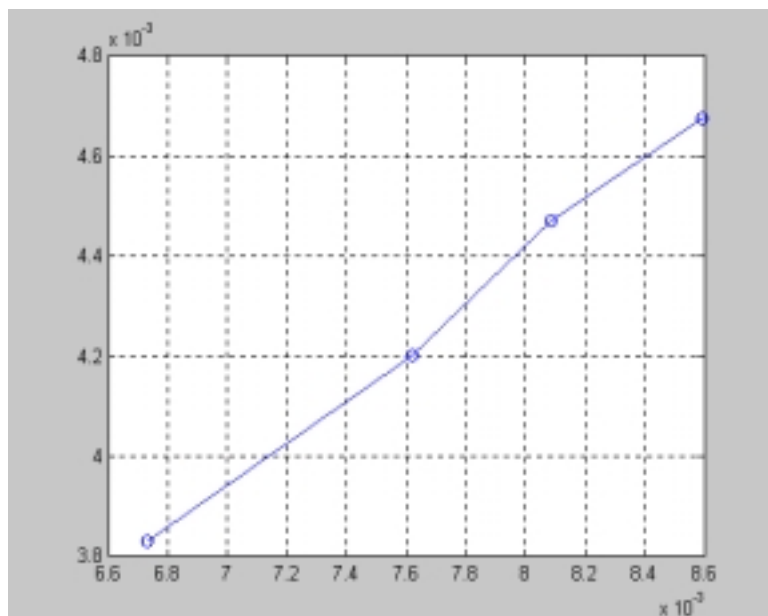
ภาพที่ 3ข กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 10 ชั่วโมง



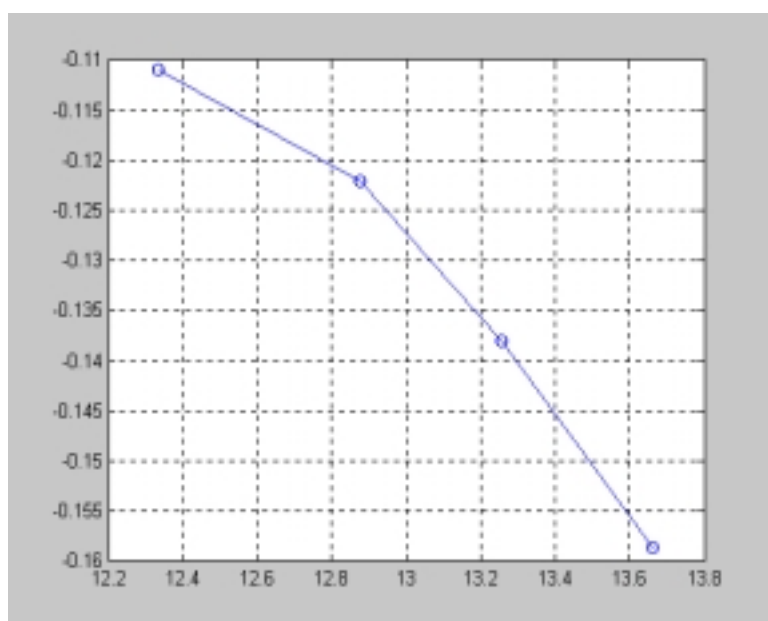
ภาพที่ 4ข กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเติมอากาศที่ 10 ชั่วโมง



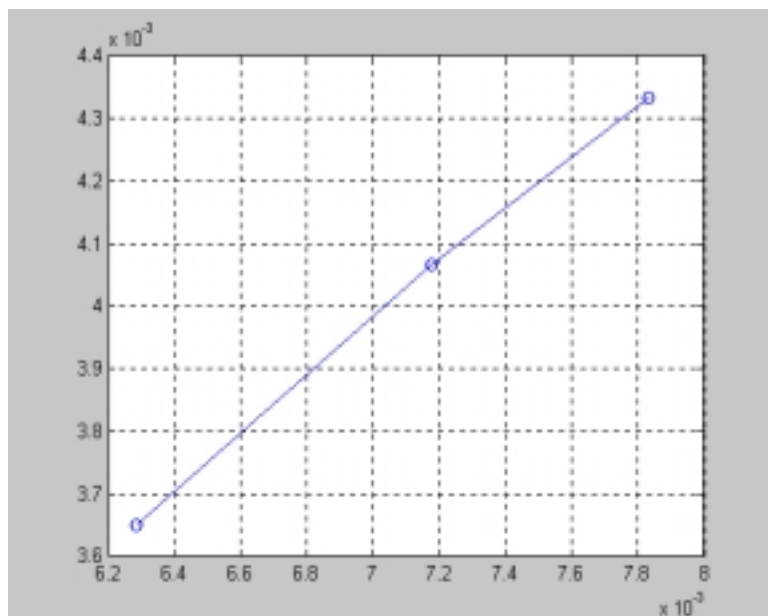
ภาพที่ 5x กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเต็มอากาศที่ 8 ชั่วโมง



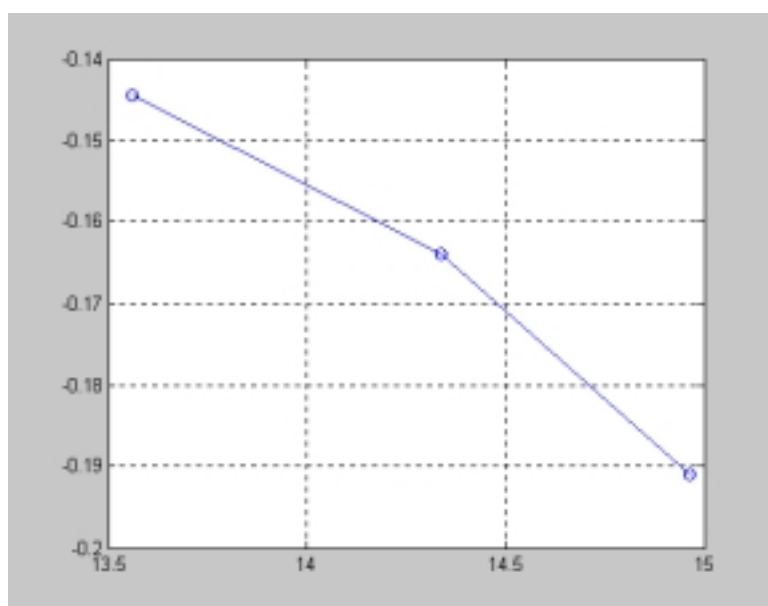
ภาพที่ 6x กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเต็มอากาศที่ 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 7ข กราฟแสดงการหาค่า Y และ k_d ที่ระยะเวลาเต็มอากาศที่ 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 8ข กราฟแสดงการหาค่า K_s และ k ที่ระยะเวลาเต็มอากาศที่ 6 ชั่วโมง



ภาคผนวก ค.
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ (Maple)

```

> restart;
> with (plots) :with (Detools) :
> sys := diff (s(t),t) = -0.00425* x(t) * s(t) / (29+ s(t)) , diff (x(t),t) = 0.001923125 * x(t) * s(t) /
(29+ s(t)) - 0.002 * x(t) ;
> fcns := { s(t),x(t) } ; initial := x(0) = 1441.486 , s(0) = 127.956 ;

```

sys := d/dt s(t) = -.00425 (x(t) s(t))/(29+s(t)) , d/dt x(t) = (.001923125 x(t) s(t))/(29+s(t)) - .002 x(t)

fcns := { s(t),x(t) }

initial := x(0) = 1441.486, s(0) = 127.956

```

> g := dsolve ( { sys, initial } ),
{ s(t),x(t) }, type = numeric, method = rkf45, output = procedurelist) :
> for I from 1 by 1 while I <= 24 do
g(I)
od;

```

```

[t = 1, x(t) = 1440.854821661010, s(t) = 122.981049150896]
[t = 2, x(t) = 1440.206682396494, s(t) = 118.0464080056041]
[t = 3, x(t) = 1439.540583224998, s(t) = 113.1543612105399]
[t = 4, x(t) = 1438.855445902040, s(t) = 108.3073734238116]
[t = 5, x(t) = 1438.150105693166, s(t) = 103.5081053314789]
[t = 6, x(t) = 1437.423303538505, s(t) = 98.75943142701463]
[t = 7, x(t) = 1436.673677602004, s(t) = 94.06445912238557]
[t = 8, x(t) = 1435.899754219764, s(t) = 89.42654922577691]
[t = 9, x(t) = 1435.099938292902, s(t) = 84.84933768814464]
[t = 10, x(t) = 1434.272503214510, s(t) = 80.33675842291794]
[t = 11, x(t) = 1433.415580481845, s(t) = 75.89306686661654]
[t = 12, x(t) = 1432.527149229126, s(t) = 71.52286376111410]
[t = 13, x(t) = 1431.605026029641, s(t) = 67.23111838655589]

```

[t = 14, x(t) = 1430.646855465634, s(t) = 63.02319014113429]
[t = 15, x(t) = 1429.650102158505, s(t) = 58.90484693238350]
[t = 16, x(t) = 1428.612045197816, s(t) = 54.88227829758118]
[t = 17, x(t) = 1427.529776210619, s(t) = 50.96210049633727]
[t = 18, x(t) = 1426.400202672697, s(t) = 47.15135001644440]
[t = 19, x(t) = 1425.220058470030, s(t) = 43.45746102730338]
[t = 20, x(t) = 1423.985924144190, s(t) = 39.88822136529202]
[t = 21, x(t) = 1422.694259644461, s(t) = 36.45170076393367]
[t = 22, x(t) = 1421.341452669169, s(t) = 33.15614445472442]
[t = 23, x(t) = 1419.923885668217, s(t) = 30.00982527390715]
[t = 24, x(t) = 1418.438024107509, s(t) = 27.02084843930732]
[t = 25, x(t) = 1416.880527438081, s(t) = 24.19690571095921]
[t = 26, x(t) = 1415.248382152311, s(t) = 21.54498020048204]
[t = 27, x(t) = 1413.539053226364, s(t) = 19.07100991713395]

ภาคผนวก ง.
ผลการทดสอบทางสถิติ

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

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	Test Value	Mean	Std. Deviation	t	df	Prob.
12	1,970	1,969.8571	46.2869	-.008	6	.994
10	2,750	2,750.0000	52.7712	.000	5	1.000
8	2,082	2,082.6000	32.8070	.041	4	.969
6	2,791	2,790.5000	34.0441	-.029	3	.978

ตารางที่ 2ง การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า VSS

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	Test Value	Mean	Std. Deviation	t	df	Prob.
12	1,476	1,475.7143	23.5847	.000	6	1.000
10	1,553	1,553.3333	20.3437	.000	5	1.000
8	1,590	1,589.8000	21.5221	.000	4	1.000
6	1,911	1,910.5000	19.8914	.000	3	1.000

ตารางที่ 3ง การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า TKN

Test Value = 95

Mean	Std. Deviation	t	df	Prob.
95.3500	3.7969	-.026	3	.981

ตารางที่ 4ง การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า TP

Test Value = 90

Mean	Std. Deviation	t	df	Prob.
89.5500	4.2115	.024	3	.983

ตารางที่ 5ง การทดสอบค่า t (t-test) แบบ One-Sample Test ของค่า NO_3^- -N

Test Value = 26.8

Mean	Std. Deviation	t	df	Prob.
26.8000	8.165E-02	.000	3	1.000

ภาคผนวก จ.
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร

ตารางที่ 1จ ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง					หมายเหตุ
		ก	ข	ค	ง	จ	
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล. (mg/L)	20	30	40	50	200	
3. ปริมาณของแข็ง (Solids)							
3.1 ค่าสารแขวนลอย	„	30	40	50	50	60	
3.2 ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids)	„	0.5	0.5	0.5	0.5	-	
3.3 ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids)	„	500	500	500	500	-	เป็นค่าที่ เพิ่มจาก ปริมาณ สารละลาย ในน้ำใช้ ตามปกติ
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	„	1.0	1.0	3.0	4.0	-	
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN)	„	35	35	40	40	-	
ออร์แกนิก – ไนโตรเจน*	„	10	10	15	15	-	
แอมโมเนีย – ไนโตรเจน*	„	-	-	25	25	-	
6. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	„	20	20	20	20	100	

หมายเหตุ จาก ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537)

* พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (2522)

ตารางที่ 2จ ประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่
แหล่งน้ำ สาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

ประเภทของอาคาร	ขนาดของอาคารที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง				
	ก*	ข	ค	ง	จ
1. อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด	≥ 500 ห้องนอน	100 แต่ไม่ถึง 500 ห้อง	< 100 ห้องนอน	-	-
2. โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม	≥ 200 ห้องนอน	60 แต่ไม่ถึง 200 ห้อง	< 60 ห้องนอน	-	-
3. หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก	-	≥ 250 ห้อง	50 แต่ไม่ถึง 250 ม. ²	10 แต่ไม่ถึง 50 ม. ²	-
4. สถานบริการอาบอบนวด	-	≥ 5,000 ม. ²	1,000 แต่ไม่ถึง 5,000 ม. ²	< 1,000 ม. ² **	-
5. สถานพยาบาล	≥ 30 เตียง	10 แต่ไม่ถึง 30 เตียง	-	< 10 เตียง**	-
6. อาคารโรงเรียนราษฎร์ หรือ สถาบันอุดมศึกษา	≥ 25,000 ม. ²	5,000 แต่ไม่ถึง 25,000 ม. ²	-	< 5,000 ม. ² **	-
7. อาคารที่ทำการ	≥ 55,000 ม. ²	10,000 แต่ไม่ถึง 55,000 ม. ²	5,000 แต่ไม่ถึง 1,000 ม. ²	< 5,000 ม. ² **	-
8. ศูนย์การค้า ห้างสรรพสินค้า	≥ 25,000 ม. ²	5,000 แต่ไม่ถึง 25,000 ม. ²	1,000 แต่ไม่ถึง 5,000 ม. ²	< 1,000 ม. ² **	-
9. ตลาด	≥ 2,500 ม. ²	1,500 แต่ไม่ถึง 2,500 ม. ²	1,000 แต่ไม่ถึง 1,500 ม. ²	500 แต่ไม่ถึง 1,000 ม. ²	-
10. กัดอาคารและร้านอาหาร	≥ 2,500 ม. ²	500 แต่ไม่ถึง 2,500 ม. ²	250 แต่ไม่ถึง 500 ม. ²	100 แต่ไม่ถึง 250 ม. ²	< 100 ม. ²
11. อาคารอยู่อาศัย**		≥ 10,000 ม. ² **	2,000 ถึง < 10,000 ม. ² **	< 2,000 ม. ² **	-
12. อาคารในที่ดินจัดสรร**			10 ถึง < 100 หลัง**	-	-

หมายเหตุ : < = น้อยกว่า, ไม่ถึง

≥ = เกินกว่าหรือเท่ากับ

จาก * ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537)

** พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (2522)

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลเบื้องต้นและการคำนวณขนาดถังปฏิกริยา

ฉ.1 อัตราการใช้น้ำของอาคารที่บ่อกักเก็บน้ำ สถาบันราชภัฏนครราชสีมา

ตารางที่ 1ฉ ปริมาณการใช้น้ำ

ชั่วโมงที่	ปริมาณการใช้น้ำ (m ³)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.18	3.25	4.96	4.12
4	2.76	3.81	4.01	4.07
6	2.05	3.90	5.14	3.40
8	3.71	3.43	5.68	3.09
10	2.72	3.01	3.48	2.75
12	2.99	3.92	3.68	3.01
14	2.70	2.63	0.85	4.39
16	3.22	2.74	5.23	2.95
18	2.01	4.84	3.75	4.21
20	1.64	1.80	2.55	2.69
22	2.30	2.49	2.76	2.18
24	2.20	2.51	2.45	2.25
รวม	30.48	38.33	44.54	39.38

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรต่างๆ เบื้องต้นของน้ำเสียที่วัดได้จากการทดลอง

ตัวแปร	ค่าที่วัดได้ (mg/L)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย
BOD	134	139	132	131	134
COD	167	173	167	165	168
SS	64.1	64.5	63.8	63.6	64.0
VSS	12.5	13.1	13.2	13.2	13.0
TKN	47.5	46.9	47.0	46.6	47.0
TP	1.57	1.59	1.65	1.59	1.60
NO ₃ ⁻ -N	0	0	0	0	0

ฉ.2 การคำนวณขนาดของถังปฏิกริยา (Reactor)

กำหนดให้	BOD_{in}	=	C_0	=	200 mg/L	
	BOD_{out}	=	C	=	20 mg/L	
	Q	=	2 L/hr			
	γ	=	0.1			
	%O ₂	=	0.21			
	Overflow rate	=	20 m ³ /m ² ·d			
	ρ_a	=	1 kg/m ³			
	O_2	=	ΔBOD	=	$Q(C_0 - C)$	
		=	2 L/hr (200-20) mg/L			
		=	360 mg/hr			
	O_2 จริง	=	O_2/γ	=	360/0.1	
		=	3.6 g/hr			
Air	=	O_2 จริง/ %O ₂	=	3.6 g/hr/0.21	=	17.14 g/hr
Q_a	=	Air/ ρ_a	=	17.14 g/hr/1,000 g/m ³		
		=	0.017 m ³ /hr			
	Q_a จริง	=	10·0.017 m ³ /hr	=	0.17 m ³ /hr	
		=	0.17 Nm ³ /hr			
สมมติให้	Q_a จริง	=	200 L/hr	>	170 L/hr	
สมมติให้	$Q_{น้ำ}$	=	2 L/hr			
	A	=	$Q_{น้ำ}/$ Overflow rate			
	A	=	(2·10 ⁻³ m ³ /hr)/(20 m ³ /m ² ·d)·24 hr/d			
		=	2.4·10 ⁻³ m ²	=	$\pi d^2/4$	
	d	=	0.055 m	เกินไปไม่ได้		

กำหนดให้	d	=	0.30 m	
	A	=	0.071 m ²	
	V	=	20•10 ⁻³ m ³	= A•H
	H	=	0.28 m+ Expanded depth	
ดังนั้นถึงปฏิริยาจะมี	d = 30 cm, H = 38 cm			

ฉ.3 การคำนวณหาปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในถังปฏิริยา

กำหนดให้	F/M	=	0.2 kg BOD/kg VSS•d
	F/M	=	BOD/VSS• θ_c
	0.2	=	200 mg/L/VSS•0.5 d
	VSS	=	2,000 mg/L

ดังนั้นน้ำตะกอน (จุลินทรีย์) ในถังปฏิริยาใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 2,000 mg/L