

**แบบจำลองการกำจัดสารอาหารของระบบเอสปีอาร์**

**นาย ชีระพงษ์ วงศ์รัตนานนท์**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-295-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A SUBSTRATE REMOVAL MODEL OF AN SBR SYSTEM**

**Mr. Teerapong Wongrattananon**

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

**Department of Environmental Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

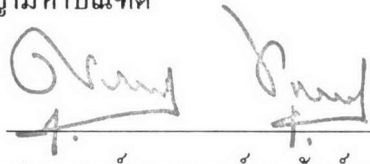
**Academic Year 1997**

**ISBN 974-637-295-5**

หัวข้อวิทยานิพนธ์      แบบจำลองการกำจัดสารอาหารของระบบเอสบีอาร์  
โดย                              นาย ชีระพงษ์ วงศ์รัตนานนท์  
ภาควิชา                              วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์

---

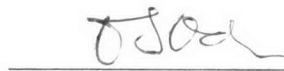
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



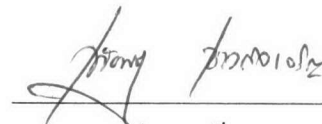
ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ชงชัย พรรณสวัสดิ์)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)



กรรมการ

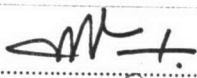
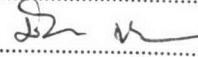
(อาจารย์ ดร. ชาลิต รัตนธรรมสกุล)

นายธีระพงษ์ วงศ์รัตนานนท์ : แบบจำลองการกำจัดสารอาหารของระบบเอสบีอาร์ ( A SUBSTRATE REMOVAL MODEL OF AN SBR SYSTEM ) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์ ; 166 หน้า.  
ISBN 974-637-295-5

ความมุ่งหมายในงานวิจัยนี้เพื่อทำการศึกษากาการใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำจัดสารอาหารของระบบเอสบีอาร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจริง แบบจำลองนี้ได้จากการเขียนดุลทางมวลของกระบวนการแบบกึ่งเท โดยแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ ช่วงระหว่างป้อนน้ำเสียและหลังป้อนน้ำเสีย และใช้นิพจน์แบบโมโนดในการคำนวณแบบจำลอง น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำสับประคผสมขึ้นจากโรงงานแห่งหนึ่ง นำมาเจือจางและเติมอาหารเสริมหลักที่จำเป็นอย่างเพียงพอ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ของน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณแบบจำลอง โดยใช้ระบบเอกทิวเต็ดสตัคซ์แบบกวนสมบูรณ์ แปรค่าอายุสตัคซ์ 3, 5, 9, 15 วัน ขั้นตอนที่สองเป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงของทีโอซีกรองและเอ็มแอลวีเอสเอสที่เกิดขึ้นภายในรอบวัฏจักรของระบบเอสบีอาร์เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองโดยใช้ระบบเอสบีอาร์ซึ่งกำหนดเวลา 1 รอบวัฏจักรเท่ากับ 6 ชม. ประกอบด้วยเวลาในการป้อนน้ำเสีย 60 นาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 210 นาที เวลาในการตกตะกอน 45 นาที และระบายน้ำใส 45 นาที ปริมาตรในการป้อนน้ำเสียเท่ากับ 4 ลิตรต่อรอบวัฏจักร และปริมาตรน้ำในถังปฏิกิริยาเมื่อสิ้นสุดการป้อนน้ำเสียเท่ากับ 10 ลิตร

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนแรกมีค่า  $Y = 0.58$  ก. วิเอสเอส/ก. ทีโอซี,  $K_s = 0.052$  วัน<sup>-1</sup>,  $\mu_m = 1.62$  วัน<sup>-1</sup>,  $K_d = 29.63$  มก. ทีโอซี/ล. เมื่อนำมาคำนวณในแบบจำลองและเปรียบเทียบผลกับการทดลองในขั้นตอนที่สองพบว่า ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสลดลงในขณะที่ป้อนน้ำเสียและก่อนข้างคังที่หลังป้อนน้ำเสีย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเอ็มแอลวีเอสเอสมีความสอดคล้องกันดีระหว่างการทดลองจริงกับแบบจำลอง ค่าสัมประสิทธิ์โดยเฉพาะค่ายึดคังจริงและอัตราการสลายตัวจำเพาะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสน้อย การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะเนื่องมาจากการเจือจางของน้ำเสียที่ป้อนมากกว่า ส่วนความเข้มข้นของทีโอซีกรองนั้นมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ป้อนน้ำเสียและลดลงจนก่อนข้างคังที่หลังป้อนน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงว่าค่าทีโอซีกรองที่ได้จากการทดลองจริง โดยเฉพาะในช่วงเวลาการป้อนน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าแบบจำลองมาก จึงมีความเป็นไปได้ว่าในถังปฏิกิริยาแบบกึ่งเทมีการใช้สารอาหารเร็วกว่าในระบบแบบไหลต่อเนื่อง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในถังปฏิกิริยาแบบกึ่งเทมีการเคลื่อนคังของความเข้มข้นสารอาหารที่สูงกว่า คังนั้นอัตราในการเจริญเติบโตของจุลชีพและการดูดคังคัง ( adsorption ) จึงเกิดขึ้นสูงกว่า

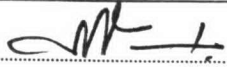
ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา ..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



C718056	ENVIRONMENTAL ENGINEERING
##	: MAJOR
KEY WORD:	SEQUENCING BATCH REACTOR / MATHEMATIC MODEL / KINETIC PARAMETER
	TEERAPONG WONGRATTANANON : A SUBSTRATE REMOVAL MODEL OF AN SBR SYSTEM.
	THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 166 pp. ISBN 974-637-295-5
	<p>The purpose of this research was to study the application of a mathematic model for substrate removal of SBR system. The study was designed to compare the predictive values from the model with the values from the actual experiment. The model was derived from mass balance of semi-batch process during and after feeding periods. The Monod expression was used in the model. In the experiment, a high concentrated pineapple syrup from a certain factory was diluted together with other necessary macronutrients and used as influent. The experiment was divided into two phases. At the first phase kinetic parameters were determined in order to apply in the model by using a completely mixed activated sludge system with varying sludge age of 3, 5, 9, 15 days. At the second phase, the filtered TOC and MLVSS profiles occurring in a cycle of SBR operation were monitored in order to compare with the predictive values from the model. Each cycle period used in the SBR system was 6 hours, consisting of fill period of 60 minutes, react period of 210 minutes, settle period of 45 minutes and draw period of 45 minutes. The influent volume was 4 litres per cycle and the reactor volume at the end of fill was 10 litres.</p> <p>Kinetic parameters from the first phase of the experiment were <math>Y = 0.58 \text{ g. VSS/g. TOC}</math>, <math>K_d = 0.052 \text{ d}^{-1}</math>, <math>\mu_m = 1.62 \text{ d}^{-1}</math>, <math>K_s = 29.63 \text{ mg. TOC/l}</math>. The derived model was tested and compared with results from the second phase of experiment. It was found that the concentration of MLVSS was decreasing during fill period and fairly constant after the end of fill. These changes were concurrent between the actual experiment and the model. The changes of concentration of MLVSS were affected mainly by the dilution of influent while the kinetic parameters especially <math>Y</math> and <math>K_d</math> slightly affected the changes. Filtered TOC from the actual experiment was increasing during fill period and was decreasing until fairly constant after the end of fill. Experimental results showed that filtered TOC from the actual experiment especially during the fill period were much lower than values from the model. It was possible that the substrate was utilized faster in the semi-batch reactor than in the continuous system. This might be due to the fact that semi-batch reactor had higher substrate concentration gradient, therefore the rate of growth of microorganism and the rate of adsorption were consequently higher.</p>

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต..... 

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

บุคคลที่ผู้วิจัยอยากจะขอขอบพระคุณเป็นอันดับแรกคือ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำชี้แนะแนวทางในการวิจัย อีกทั้งอบรมสั่งสอนให้เกิดวิจารณญาณในเชิงวิชาการ ความใฝ่รู้ หลักในการทำงาน รวมถึงกรุณาให้ความสนับสนุนอุปถัมภ์ในการทดลองบางส่วน อันเป็นผลให้งานวิจัยนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัย รวมทั้งการประสิทธิ์ประสาทวิทยากรต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการวิจัยทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณศมน วงศ์รัตนานนท์ ภรรยาผู้ที่อยู่เคียงข้างและคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย อย่างดีเสมอมา

อนึ่ง งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มออกมาได้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ค
คำเทียบศัพท์.....	ท

### บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีพื้นฐานและแนวคิดในการวิจัย.....	3
2.1 ทฤษฎีการทำงานพื้นฐานของระบบเอสปีอาร์.....	3
2.2 การออกแบบระบบเอสปีอาร์.....	7
2.3 โมเดลการกำจัดสารอาหารของกระบวนการแบบกึ่งเท.....	13
2.4 วิธีประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์.....	18
2.5 การป้องกันปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์.....	24
แบบกวนสมบูรณ์และมีการเวียนกลับสลัดจ์	
2.5.1 แนวคิดในการแก้ปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัว.....	24
2.5.2 การออกแบบถังคั้ดพันธุ.....	25
2.5.3 การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของเส้นใยจุลชีพ.....	26
3. ทบทวนเอกสาร.....	29
4. การวางแผนการวิจัย.....	46
4.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง.....	46
4.1.1 อุปกรณ์การทดลองชุดที่ 1.....	46

### สารบัญเรื่อง (ต่อ)

4.1.2	อุปกรณ์การทดลองชุดที่ 2.....	47
4.2	การเตรียมน้ำเสีย.....	50
4.3	แผนงานการทดลอง.....	50
4.3.1	แผนงานการการทดลองชุดที่ 1.....	50
4.3.2	แผนงานการทดลองชุดที่ 2.....	51
4.4	การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	52
4.4.1	การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	52
4.4.2	การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	53
5.	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	56
5.1	การทดลองชุดที่ 1.....	56
5.1.1	ผลการทดลองย่อยที่ 1.1.....	57
5.1.2	ผลการทดลองย่อยที่ 1.2.....	62
5.1.3	ผลการทดลองย่อยที่ 1.3.....	67
5.1.4	ผลการทดลองย่อยที่ 1.4.....	73
5.1.5	ประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์.....	79
5.2	การทดลองชุดที่ 2.....	84
5.2.1	ผลการทดลองย่อยที่ 2.1.....	85
5.2.2	ผลการทดลองย่อยที่ 2.2.....	91
5.2.3	ผลการทดลองย่อยที่ 2.3.....	99
5.3	เปรียบเทียบ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของการกำจัดสารอาหารของ..... ระบบเอสปีอาร์กับการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จริง	107
6.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	115
6.1	บทสรุป.....	115
6.2	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป.....	117
	รายการอ้างอิง.....	118
	ภาคผนวก.....	122
	ประวัติผู้เขียน.....	148

**สารบัญภาพ**

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์ที่ประกอบด้วยถังปฏิกริยา 3 ใบ.....	4
2.2 ปริมาตรในส่วนต่าง ๆ ของถังปฏิกริยา.....	5
2.3 ช่วงเวลาการป้อนน้ำเสียใน 1 รอบวัฏจักรของระบบเอสปีอาร์แบบ 3 ถัง : $3T_f = T_c$ .....	6
2.4 อัตราการไหลของน้ำเสียที่เวลาต่าง ๆ ในช่วงหนึ่งวัน.....	10
2.5 การเปลี่ยนแปลงของ $BOD_5$ สำหรับการป้อนน้ำเสีย 1, 2, 3 ชม.....	17
2.6 การเปลี่ยนแปลงของ MLVSS สำหรับการป้อนน้ำเสีย 1, 2, 3 ชม.....	17
2.7 แบบจำลองกระบวนการแยกทิวเด็คสลัดจ์แบบกวนสมบรูณ์และมีการเวียนสลัดจ์กลับ...	18
2.8 การหาค่า $Y$ และ $K_d$ .....	21
2.9 การหาค่า $\mu_m$ และ $K_s$ .....	23
2.10 เปรียบเทียบกราฟอัตราการเติบโตโดยทั่วไประหว่างจุลชีพชนิดเส้นใยและ ชนิดสร้างฟล็อก ( Metcalf & Eddy. Inc, 1991 )	24
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแฉ้มของการนับเส้นใยจุลชีพ เทียบกับค่า SVI ของโรงบำบัด..... น้ำเสียแบบแยกทิวเด็คสลัดจ์แห่งหนึ่ง	27
2.12 ภาพถ่ายของจุลชีพซึ่งจำแนกตามความอุดมสมบรูณ์ของเส้นใยจุลชีพตามระบบการ..... นับแฉ้ม	28
3.1 ช่วงเวลาการทำงานต่าง ๆ ในรอบวัฏจักร ซึ่งแสดงใน Alleman และ Irvine (1980a).....	32
3.2 ช่วงเวลาการทำงานต่าง ๆ ในรอบวัฏจักร ซึ่งแสดงใน Alleman และ Irvine (1980b).....	33
3.3 ช่วงเวลาการทำงานต่าง ๆ ในรอบวัฏจักร ซึ่งแสดงใน Irvine และคณะ (1983).....	34
4.1 แผนภาพอุปกรณ์การทดลองชุดที่ 1.....	47
4.2 แผนภาพอุปกรณ์การทดลองชุดที่ 2.....	48
4.3 ผังเวลาการทำงานของอุปกรณ์ สำหรับการทดลองชุดที่ 2.....	49
4.4 แสดงการแบ่งเวลาการทำงานในแต่ละรอบวัฏจักร สำหรับการทดลองชุดที่ 2.....	52
5.1 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 1.1 (อายุสลัดจ์ 3 วัน).....	57
5.2 ภาพถ่ายการหาค่า V30 ในช่วงท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.1.....	60
5.3 ภาพถ่ายจุลชีพ (บริเวณขอบ ๆ ของกลุ่มฟล็อก) ในช่วงท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.1....	60
5.4 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 1.2 (อายุสลัดจ์ 5 วัน).....	62
5.5 ภาพถ่ายการหาค่า V30 ในช่วงท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.2.....	65

**สารบัญญาดภาพ (ต่อ)**

5.6 ภาพถ่ายจุลชีพ (บริเวณขอบ ๆ ของกลุ่มฟล็อก) ในช่วงท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.2.... 65

5.7 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 1.3 (อายุสลัดจ์ 9 วัน)..... 67

5.8 ภาพถ่ายจุลชีพ ในช่วงท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.3..... 70

5.9 ภาพถ่ายชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอน ที่ลำดับวันที่ 48 ของการทดลองย่อยที่ 1.3..... 71

5.10 ภาพถ่ายการหาค่า V30 ในวันสุดท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.3..... 71

5.11 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 1.4 (อายุสลัดจ์ 15 วัน)..... 73

5.12 ภาพถ่ายจุลชีพ ในช่วงท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.4..... 76

5.13 ภาพถ่ายชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอน ที่ลำดับวันที่ 54 ของการทดลองย่อยที่ 1.4..... 77

5.14 ภาพถ่ายการหาค่า V30 ในวันสุดท้ายของการทดลองย่อยที่ 1.4..... 77

5.15 แสดงการหาค่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้..... 80

5.16 แสดงกราฟระหว่างอัตราการใช้สารอาหารและค่า TOC ในถังเดิมอากาศจากการทดลอง  
เพื่อหาค่าสารอาหารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ 81

5.17 กราฟแสดงค่า  $Y$  และ  $K_d$  ที่ได้จากการทดลองที่ 1..... 83

5.18 กราฟแสดงค่า  $\mu_m$  และ  $K_s$  ที่ได้จากการทดลองที่ 1..... 83

5.19 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 2.1 (อายุสลัดจ์ 10 วัน)..... 85

5.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.1..... 88

5.21 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ MLVSS สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.1..... 88

5.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ OUR สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.1..... 90

5.23 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 2.2 (อายุสลัดจ์ 4 วัน)..... 91

5.24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.2..... 94

5.25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ MLVSS สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.2..... 94

5.26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ OUR สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.2..... 95

5.27 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.2..... 97  
( ป้อนน้ำเสียแบบเท )

5.28 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ OUR สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.2 (ป้อนน้ำเสียแบบเท) 98

5.29 กราฟแสดงผลการทดลองย่อยที่ 2.3..... 99

5.30 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.3..... 102

5.31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ MLVSS สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.3..... 102

### ตารางบัญชีภาพ (ต่อ)

5.32 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ OUR สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.3.....	103
5.33 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC สำหรับท้ายการทดลองย่อยที่ 2.3.....	105
( ป้อนน้ำเสียแบบเท )	
5.34 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ OUR สำหรับท้ายการทดลองย่อยที่ 2.3.....	106
( ป้อนน้ำเสียแบบเท )	
5.35(ก) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ TOC เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ.....	108
การทดลองย่อยที่ 2.1 ( อายุสลัดจ์ 10 วัน )	
5.35(ข) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ MLVSS เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ.....	108
การทดลองย่อยที่ 2.1 ( อายุสลัดจ์ 10 วัน )	
5.36(ก) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ TOC เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ.....	109
การทดลองย่อยที่ 2.2 ( อายุสลัดจ์ 4 วัน )	
5.36(ข) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ MLVSS เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ.....	109
การทดลองย่อยที่ 2.2 ( อายุสลัดจ์ 4 วัน )	
5.36(ค) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ TOC เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับ.....	110
ท้ายการทดลองย่อยที่ 2.2 ( อายุสลัดจ์ 4 วัน ) โดยทำการป้อนน้ำเสียแบบเท	
5.37(ก) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ TOC เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ.....	111
การทดลองย่อยที่ 2.3 ( อายุสลัดจ์ 1.25 วัน )	
5.37(ข) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ MLVSS เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์ของ.....	111
การทดลองย่อยที่ 2.3 ( อายุสลัดจ์ 1.25 วัน )	
5.37(ค) กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ TOC เทียบกับ โมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับ.....	112
ท้ายการทดลองย่อยที่ 2.3 ( อายุสลัดจ์ 1.25 วัน ) โดยทำการป้อนน้ำเสียแบบเท	
5.38 แสดงผลอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะในการทดสอบแบบเท ของสลัดจ์จากระบบ.....	114
แบบกวนสมบรูณ์ที่มีอัตราการป้อนน้ำเสียคงที่ และระบบแบบเติมเข้าถ้าออก	
ข-1 รายละเอียดการเดินสายไฟของแผงควบคุม PLC.....	127
ข-2 ภาพถ่ายของแผงควบคุม.....	128
ข-3 วงจรของแผงควบคุม PLC.....	128
ข-4 ตารางเวลาการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.1 และ 2.2.....	133
ข-5 โปรแกรม PLC สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.1 และ 2.2.....	134

**สารบัญแนพ (ต่อ)**

ข-6 ตารางเวลาการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.3.....	135
ข-7 โปรแกรม PLC สำหรับการทดลองย่อยที่ 2.3.....	136



**สารบัญตาราง**

ตารางที่	หน้า
2.1 เวลาสัมพัทธ์ที่แนะนำให้ใช้ในถังคัดพันธุ์แบบออกซิก, อ้างจาก Wanner ( 1994 ).....	25
2.2 ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ในถังคัดพันธุ์แบบออกซิกที่ควรใช้, อ้างจาก Wanner ( 1994 )....	26
2.3 ระบบการนับแฉ้มในการวัดความอุดมสมบูรณ์ของเส้นใยจุลินทรีย์.....	27
3.1 ช่วงเวลาการทำงานในรอบวัฏจักรของระบบเอสปีอาร์ที่เมือง Culver.....	35
3.2 ช่วงเวลาการทำงานในรอบวัฏจักรของระบบเอสปีอาร์ที่เมือง Grundy Center.....	36
3.3 ข้อมูลประสิทธิภาพ ( 10 มิถุนายน - 10 กรกฎาคม 1985 ) สำหรับ Grundy Center.....	37
3.4 สรุปการวัดผลการทำงานของระบบเอสปีอาร์ ( 1984 ).....	38
3.5 ข้อมูลลักษณะการทำงาน, อ้างจาก Melcer และคณะ ( 1987 ).....	42
3.6 ข้อมูลสมรรถนะการทำงาน, อ้างจาก Melcer และคณะ ( 1987 ).....	42
3.7 ข้อมูลการปฏิบัติการของกระบวนการ, อ้างจาก Melcer และคณะ ( 1987 ).....	43
4.1 ข้อมูลการปฏิบัติงานของแผนงานการทดลองชุดที่ 1.....	50
4.2 ข้อมูลการปฏิบัติงานของแผนงานการทดลองชุดที่ 2.....	51
4.3 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำและความถี่ในการวิเคราะห์ของการทดลองชุดที่ 1.....	52
4.4 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำและความถี่ในการวิเคราะห์ของการทดลองชุดที่ 2.....	53
5.1 แสดงค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองย่อยที่ 1.1.....	61
5.2 แสดงค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองย่อยที่ 1.2.....	66
5.3 แสดงค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองย่อยที่ 1.3.....	72
5.4 แสดงค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวของตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองย่อยที่ 1.4.....	78
5.5 สรุปผลการทดลองที่อายุสัปดาห์ต่าง ๆ.....	79
5.6 แสดงข้อมูลอัตราการใช้สารอาหารและ Filtered TOC ในถังเติมอากาศเพื่อใช้ในการหา... ค่าสารอาหารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้	80
5.7 แสดงค่าอายุสัปดาห์, ส่วนกลับของอายุสัปดาห์, อัตราการใช้สารอาหาร, ส่วนกลับของ..... อัตราการใช้สารอาหาร และส่วนกลับของความเข้มข้นสารอาหารในถังเติมอากาศของ การทดลองที่ 1	82
5.8 ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC และ MLVSS ในการทดลองย่อยที่ 2.1.....	87
5.9 ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC และ MLVSS ในการทดลองย่อยที่ 2.2.....	93

**สารบัญตาราง (ต่อ)**

5.10 ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC ในทำห้การทดลองย่อยที่ 2.2.....	96
( ทำการป้อนน้ำเสียบแบบเท )	
5.11 ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงของ Filtered TOC และ MLVSS ในการทดลองย่อยที่ 2.3.....	101
5.12 ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงของ FilteredTOC ในทำห้การทดลองย่อยที่ 2.3.....	104
( ทำการป้อนน้ำเสียบแบบเท )	

### สัญลักษณ์

$S_0$	=	ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำเสียที่เข้าระบบ, $ก./ม.^3$
$S$	=	ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำทิ้งที่บำบัดได้, $ก./ม.^3$
$Q$	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ, $ม.^3/วัน$
$\theta_c$	=	อายุสลัดจ์ (sludge age), วัน
$\theta_c^e$	=	อายุสลัดจ์สัมฤทธิ์ (effective sludge age), วัน
$Y$	=	ยิลด์จริง (true growth yield), $ก./ก.$
$Y_{obs}$	=	ยิลด์ปรากฏ (observed yield), $ก./ก.$
$\mu_m$	=	อัตราการเติบโตสูงสุดจำเพาะ (maximum specific growth rate), $วัน^{-1}$
$\mu$	=	อัตราการเติบโตจำเพาะ (specific growth rate), $วัน^{-1}$
$K_d$	=	อัตราการสลายตัวจำเพาะ (specific decay rate), $วัน^{-1}$
$K_s$	=	ค่าคงที่การอิ่มตัว (saturation constant) คือค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ทำให้ $\mu = \mu_m/2$ , $ก./ม.^3$
$K_m$	=	อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดจำเพาะ (maximum specific substrate utilization rate), $วัน^{-1}$
$q$	=	อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (specific substrate utilization rate), $วัน^{-1}$
$r_g$	=	อัตราการเติบโตของจุลชีพ (growth rate of microorganism), $ก./ม.^3 \cdot วัน$
$r_g'$	=	อัตราการเติบโตสุทธิของจุลชีพ (net growth rate of microorganism), $ก./ม.^3 \cdot วัน$
$r_s$	=	อัตราการใช้สารอาหาร (substrate utilization rate), $ก./ม.^3 \cdot วัน$

### ระบบเอสปีอาร์

$T_c$	=	เวลารอบวัฏจักร (total cycle time)
$T_f$	=	เวลาในการป้อนน้ำเสีย (fill time)
$T_r$	=	เวลาในการทำปฏิกิริยา (react time)
$T_s$	=	เวลาในการตกตะกอน (settle time)
$T_d$	=	เวลาในการระบายน้ำใส (draw time)
$T_i$	=	เวลาของระยะพัก (idle time)

### สัญลักษณ์ ( ต่อ )

$T_a$	=	เวลาในการเติมอากาศ ( aerate time )
$n$	=	จำนวนถังปฏิกริยา
$m$	=	จำนวนรอบวัฏจักรต่อวัน
$V_t$	=	ปริมาตรของถังปฏิกริยาทั้งหมด, $m^3$
$V_f$	=	ปริมาตรในส่วนที่รองรับน้ำเสียที่ป้อนของถังปฏิกริยาทั้งหมด, $m^3$
$V_o$	=	ปริมาตรหลังจากระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งของถังปฏิกริยาทั้งหมด, $m^3$
$X_t$	=	ความเข้มข้นของมวลจุลชีพในถังปฏิกริยาเมื่อสิ้นสุดการป้อนน้ำเสีย, $g./m^3$
$X_o$	=	ความเข้มข้นของมวลจุลชีพในถังปฏิกริยาหลังจากระบายน้ำใสส่วนบนทิ้ง, $g./m^3$

### ระบบแบบไหลต่อเนื่อง

$V$	=	ปริมาตรของถังเติมอากาศ, $m^3$
$X$	=	ความเข้มข้นของมวลจุลชีพในถังเติมอากาศ, $g./m^3$
$X_e$	=	ความเข้มข้นของมวลจุลชีพในน้ำทิ้ง, $g./m^3$
$X_r$	=	ความเข้มข้นของมวลจุลชีพในกระแสเวียนกลับ, $g./m^3$
$Q_w$	=	อัตราการทิ้งสลัดจ์, $m^3/วัน$
$Q_r$	=	อัตราการไหลของกระแสเวียนกลับ, $m^3/วัน$
$Q_e$	=	อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว, $m^3/วัน$

## คำเทียบศัพท์

แอกทิเวเต็ดสลัดจ์	=	activated sludge
ระบบเอสบีอาร์	=	SBR system
ระบบเติมเข้า-ถ่ายออก	=	fill and draw system
ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์	=	completely mixed activated sludge system
กระบวนการแบบเท	=	batch process
กระบวนการแบบกึ่งเท	=	semi-batch process
สัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์	=	kinetic parameter
นิพจน์แบบโมนอด	=	Monod expression
โมเดลทางคณิตศาสตร์	=	mathematic model
อัตราการใช้สารอาหาร	=	substrate utilization rate
อัตราการใช้ออกซิเจน	=	oxygen uptake rate
อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์	=	organic loading rate
การกำจัดสารอาหาร	=	substrate removal
รอบวัฏจักร	=	cycle
ช่วงเวลาในการป้อนน้ำเสีย	=	fill period
ช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยา	=	react period
ช่วงเวลาในการตกตะกอน	=	settle period
ช่วงเวลาในการระบายน้ำใส	=	draw period
ระยะพัก	=	idle period
สลัดจ์ไม่จมตัว	=	bulking sludge
ถังคัดพันธุ์	=	selector
เวลาในการสัมผัส	=	contact time
แบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค	=	floc forming bacteria
แบคทีเรียชนิดเส้นใย	=	filamentous bacteria
ความอุดมสมบูรณ์ของเส้นใยจุลชีพ	=	filament abundance
ชั้นสลัดจ์	=	sludge blanket
สารอาหารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้	=	biodegradable substrate
สารอาหารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้	=	nonbiodegradable substrate

## คำเทียบศัพท์ ( ต่อ )

ไนตริฟิเคชัน	= nitrification
ดีไนตริฟิเคชัน	= denitrification
สภาวะคงตัว	= steady state
เวลากักน้ำ	= detention time
อัตราการล้นผิว	= overflow rate
อายุสลัดจ์	= sludge age
การดูดติดผิว	= adsorption
การดูดกลืน	= absorption
กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส	= contact-stabilization process
เกรเดียนต์ของความเข้มข้นสารอาหาร	= substrate concentration gradient
ถังปรับให้เสมอ	= equalizing tank