ค่าจลนพลศาสตร์และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

นายจักรกฤษณ์ จตุรภัทรโภคิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

KINETIC PARAMETERS AND COMPUTER MODEL OF
INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT

Mr. Chakkrit Jaturapattarapokin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2008
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ค่าจลนพลศาสตร์และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
โดย	นายจักรกฤษณ์ จตุรภัทรโภคิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ปธาน บรรจงปรุ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จักรกฤษณ์ จตุรภัทรโภคิน : ค่าจลนพลศาสตร์และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม (KINETIC PARAMETERS AND COMPUTER MODEL OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. ศรัณย์ เตชะเสน, 80 หน้า

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศของนิคมอุตสาหกรรมนวนคร โดยศึกษาหาค่าจลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดทางชีวภาพของน้ำเสียและตะกอนแบบเติมอากาศและสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแบ่งขั้นตอนการวิจัยเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่หนึ่ง ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพ (μ_m), สัมประสิทธิ์การอิ่มตัวครึ่งหนึ่งของจุลชีพ (K_S), ยิลด์ของเฮเทอโรโทรป (Y_H), และอัตราการย่อยสลายจำเพาะของจุลชีพ (b_H) จากการย่อยสลายของค่าซีโอดีละลายน้ำ (sCOD) และจุลชีพที่เกิดขึ้น และศึกษาอัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอน (k_d) จากการย่อยสลายตะกอนในน้ำเสียขาเข้า (nsCOD) ซึ่งศึกษาแยกกันโดยใช้ทั้งน้ำเสียจริงซีโอดี 25 - 300 mg/L และน้ำเสียคัมเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดีเป็น 30 - 900 mg/L, ตะกอนในถังเติมอากาศ 4,000 mg-COD/L, และตะกอนในน้ำเสียขาเข้า 8,000 และ 12,000 mg-COD/L วิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์และสัดส่วนของ nbCOD/TCOD ของน้ำเสียทั้งสองชนิด ตะกอนในน้ำเสียขาเข้า และตะกอนในถังเติมอากาศ จากการศึกษาพบว่าค่า nbCOD/TCOD, μ_m และ K_S ของน้ำเสียจริงเท่ากับ 0.363 ± 0.025, 9.92 ± 1.91 d^{-1} และ 88.9 ± 38.5 mg/L ตามลำดับ และของน้ำเสียคัมเท่ากับ 0.374 ± 0.008, 4.43 ± 0.325 d^{-1} และ 47.5 ± 13.1 mg/L ตามลำดับ ส่วน Y_H เท่ากับ 0.620 ± 0.038 mg-cellCOD/mg-COD ตะกอนในน้ำเสียขาเข้ามีค่า nbCOD/TCOD เท่ากับ 0.752 ± 0.009, k_d เท่ากับ 0.907 ± 0.090 d^{-1} และสัดส่วน COD/MLSS เท่ากับ 1.52 ± 0.013 ตะกอนในถังเติมอากาศมีค่า nbCOD/TCOD เท่ากับ 0.862 ± 0.025, b_H เท่ากับ 0.176 ± 0.061 d^{-1} และสัดส่วน COD/MLSS เท่ากับ 0.756 ± 0.005

ส่วนที่สอง สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนคร โดยโปรแกรม AQUASIM ใช้ค่าจลนพลศาสตร์จากการทดลองในส่วนที่หนึ่งและข้อมูลการเดินระบบบำบัดจริงเป็นตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลอง เปรียบเทียบค่าซีโอดีของน้ำเสียและความเข้มข้นของตะกอนระหว่างผลการบำบัดจริงกับผลจากแบบจำลอง พบว่าค่า TCOD ในน้ำทิ้งจากแบบจำลองเกือบทั้งหมด (99%) มาจากค่า nbCOD และตะกอนส่วนใหญ่ (66%) ในถังเติมอากาศไม่ใช่จุลชีพ และค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้สามารถนำไปปรับปรุงและควบคุมระบบบำบัดให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม......ลายมือชื่อนิสิต....จักรกฤษณ์ จตุรภัทรโภคิน..............

สาขาวิชา..........วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม......ลายมือชื่ออ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..................

ปีการศึกษา........2551..........................

##4970249421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ACTIVATED SLUDGE/KINETIC PARAMETERS/INDUSTRIAL WASTEWATER/COMPUTER MODEL

CHAKKRIT JATURAPATTARAPOKIN : KINETIC PARAMETERS AND COMPUTER MODEL OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT. ADVISOR : ASSOC. PROF. SARUN TEJASEN, Ph.D., 80 pp.

This research objective was to improve the operation and control for activated sludge process of Navanakorn Industrial Estate by determining kinetic parameters of biological aerobic degradation of both soluble and nonsoluble organics. Also, a computer model imitating real wastewater treatment process was constructed. This research contents were divided into two steps as follow.

First step included the determination of μ_m, K_S, Y_H, and b_H for soluble organics (sCOD) and microbial sludge, and determination of k_d for influent suspended solids. Experiments were performed separately using concentrations of real wastewater 25 - 300 mg COD/L, boiled wastewater 30 - 900 mg COD/L, microbial sludge 4,000 mg cellCOD/L, and influent suspended solids 8,000 and 12,000 mg COD/L. Kinetic parameters were analyzed using non-linear Monod equation by SPSS and AQUASIM programs. Ratio of nbCOD/TCOD of wastewater, influent solids, and microbial sludge were also determined. Results from sCOD analysis found that nbCOD/TCOD, μ_m, and K_S of real wastewater were 0.363 ± 0.025, $9.92 \pm 1.91\ d^{-1}$, and 88.9 ± 38.5 mg/L, respectively. For boiled wastewater were 0.374 ± 0.008, $4.43 \pm 0.325\ d^{-1}$, and 47.5 ± 13.1 mg/L, respectively. Yield (Y_H) was 0.620 ± 0.038 mg cellCOD/mg-COD. Results from influent solids analysis found that nbCOD/TCOD, k_d, and COD/MLSS were 0.752 ± 0.009, $0.907 \pm 0.090\ d^{-1}$, and 1.52 ± 0.013, respectively. And results from microbial sludge analysis found that nbCOD/TCOD, b_H, and COD/MLSS were 0.862 ± 0.025, $0.176 \pm 0.061\ d^{-1}$, and 0.756 ± 0.005, respectively.

Second step was the construction of computer model of Navanakorn wastewater treatment process by AQUASIM. Kinetic parameters from first step and real operation conditions from Navanakorn were applied in the computer model. Data of COD and MLSS between real data from Navanakorn reports and this computer model were compared. Results were found that most of effluent TCOD (99%) was nondegradable (nbCOD) and 66% of sludge in aeration tank was inert. These founded kinetic parameters can be used to improve the operation and control of this wastewater treatment plant.

Department :.........Environmental Engineering.......Student's Signature : Chakkrit Jaturapattarapokin

Field of Study :......Environmental Engineering......Advisor's Signature :..............................

Academic Year :...2008.....................................

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ดร. ปธาน บรรจงปรุ อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบรูณ์ยิ่งขึ้น

ศวกรขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บริษัท ส. นภา (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียรวมนิคมอุตสาหกรรมนวนครที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องน้ำเสีย เชื้อจุลชีพ และข้อมูลต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

มีให้จนประสบความสำเร็จขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับความช่วยเหลือที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ
กิตติกรรมประกาศ.. ฉ
สารบัญ.. ช
สารบัญตาราง.. ญ
สารบัญภาพ.. ฎ
บทที่ 1 บทนำ.. 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.. 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.. 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ... 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 4
2.1 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร.. 4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไป.. 4
2.1.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย.. 5
2.1.3 ปริมาณน้ำเสีย... 10
2.1.4 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.. 11
2.1.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย... 12
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.. 14
2.2.1 ข้อมูลทั่วไป.. 14
2.2.2 หลักการทำงานของระบบ.. 15
2.2.3 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์รูปแบบต่างๆ.. 15
2.2.4 ปัญหาตะกอนไม่จมตัวและการเกิดตะกอนลอย.. 18
2.3 การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์.. 19
2.3.1 การหาค่าจลนพลศาสตร์... 22
2.3.2 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์... 25

หน้า

2.3.2.1 สมการของ Monod..26
2.3.2.2 สมการของ Lineweaver-Burk..26
2.3.2.3 สมการของ Hanes..27
2.3.2.4 สมการของ Hofstee..28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย...35
3.1 แผนการวิจัย..35
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..36
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย...36
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..36
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย..37
3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง...37
3.4.1 การทดลองขั้นที่ 1 การกำหนดขอบเขตการทดลอง..........................37
3.4.2 การทดลองขั้นที่ 2 การทดลองและวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์
ในห้องปฏิบัติการ...38
3.4.2.1 การหาค่า μ_m และ K_S 38
3.4.2.2 การหาค่ายิลด์ของเฮเทอโรโทรป..39
3.4.2.3 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้...................40
3.4.2.4 การหาสัดส่วน COD/MLSS...40
3.4.2.5 การหาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในถังเติมอากาศ..........41
3.4.2.6 การหาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า..........41
3.4.3 การทดลองขั้นที่ 3 การสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสีย
และเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้ 42
3.4.3.1 การสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสีย
ของนิคมอุตสาหกรรมนวนครโดยโปรแกรม AQUASIM 42
3.4.3.2 การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล... 44
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง....................................44

หน้า

4.2 การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์………………………………………………………… 45
4.2.1 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ของตัวอย่างน้ำเสียจริงจากกราฟข้อมูล…………..45
4.2.2 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ของตัวอย่างน้ำเสียต้มจากกราฟข้อมูล…………...48
4.2.3 การเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียจริงและต้ม……………………...50
4.3 การศึกษาค่ายิลด์ของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป………………………………...50
4.4 การศึกษาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสีย………………………52
4.5 การศึกษาสัดส่วนของซีโอดีต่อความเข้มข้น……………………………………………53
4.6 การศึกษาอัตราการสลายตัว………………………………………………………… 53
4.6.1 อัตราการสลายตัวจำเพาะของตะกอนในถังเติมอากาศ………………………….. 53
4.6.2 อัตราการสลายตัวจำเพาะของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า…………………………… 54
4.7 การสร้างแบบจำลองและการเปรียบเทียบ………………………………………………55
4.7.1 การสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบผลโดยโปรแกรม AQUASIM …………....55
4.7.2 การเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้………................................... 60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ……………………………………….....61
5.1 สรุปผลการวิจัย……………………………………………………………………… 61
5.2 ความสำคัญด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้งาน…………………….………………… 62
5.3 ข้อเสนอแนะ………………………………………………………………………… 62
รายการอ้างอิง……………………………………………………………………………………..63
ภาคผนวก………………………………………………………………………………………… 65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…………………………………………………………………….. 80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ประเภทและจำนวนของอุตสาหกรรม.. 5
2.2 หน่วยกระบวนการของระบบบำบัด... 8
2.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ของระบบบำบัด... 8
2.4 ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัด...10
2.5 สมบัติน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด...11
2.6 คาดการณ์สมบัติของน้ำเสีย.. 12
2.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย...13
2.8 ขีดความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสีย..14
2.9 สมการทางจลนพลศาสตร์และปริมาณสารสัมพันธ์ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1......... 23
2.10 ค่าจลนพลศาสตร์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..34
3.1 วิธีการวิเคราะห์หรืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....................37
3.2 ระยะที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุดจากโปรแกรม AQUSIM.......................................38
4.1 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำเสียจริงและน้ำเสียต้ม...45
4.2 ข้อมูลจากการวิเคราะห์กราฟซีโอดีเทียบกับเวลาของน้ำเสียจริง................................ 46
4.3 ข้อมูลจากการวิเคราะห์กราฟซีโอดีเทียบกับเวลาของน้ำเสียต้ม..................................48
4.4 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์จากสมการ Monod และ Hanes ของน้ำเสียทั้งสองชนิด........ 50
4.5 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่ายิลด์ของจุลชีพ..51
4.6 ข้อมูลจากการทดลองการย่อยสลายตะกอนในถังเติมอากาศและในน้ำเสียขาเข้า.............. 53
4.7 ตัวแปรใช้ในโปรแกรม AQUASIM... 57
4.8 การเปรียบเทียบตัวแปรจากการวิเคราะห์กับงานที่เกี่ยวข้อง....................................... 60

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ขอบเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนครและที่ตั้งโรงบำบัดน้ำเสีย..................................... 4
2.2 แบบแปลนระบบบำบัดน้ำเสีย.. 6
2.3 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์... 7
2.4 ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์..16
2.5 ระบบเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส.. 16
2.6 ระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน.. 17
2.7 ระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์.. 18
2.8 แผนผังจำลองวัฏจักรการใช้ซีโอดีของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป................................ 21
2.9 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Monod......................26
2.10 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Lineweaver-Burk.........27
2.11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hanes......................28
2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hofstee.....................29
3.1 ตัวอย่างรูปที่ได้จากโปรแกรม AQUSIM เพื่อใช้หาเวลาที่เหมาะสมในการทดลอง...............38
3.2 การประมาณค่ายิลด์ของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป.. 40
3.3 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ...40
3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง nsCOD ของตะกอนในถังเติมอากาศกับเวลา.........................41
3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง nsCOD ของตะกอนในน้ำเสียขาเข้ากับเวลา..........................42
3.6 แผนผังปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง... 43
3.7 กราฟจำลองปริมาณซีโอดีขาเข้าและขาออกจากโปรแกรม AQUASIM........................... 43
4.1 ลักษณะของน้ำเสียดิบ น้ำเสียที่ผ่านการกรอง และน้ำเสียต้มที่ผ่านการกรอง......................44
4.2 ตะกอนในน้ำเสียจริงและน้ำเสียต้ม... 45
4.3 ปฏิกิริยาทางชีวภาพของน้ำเสียจริง...47
4.4 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์น้ำเสียจริงจากสมการ Monod และ Hanes......................... 47
4.5 ปฏิกิริยาทางชีวภาพของน้ำเสียต้ม..49
4.6 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์น้ำเสียต้มจากสมการ Monod และ Hanes.......................... 49
4.7 กราฟความสัมพันธ์ของซีโอดีที่ลดลงและเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับเวลา.............................51

รูปที่ หน้า
4.8 ค่ายิลด์ของน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนคร.. 52
4.9 สัดส่วนของซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ.. 52
4.10 สัดส่วนของซีโอดีต่อความเข้มข้น.. 53
4.11 อัตราการสลายตัวจำเพาะของตะกอนในถังเติมอากาศ.. 54
4.12 อัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า.. 54
4.13 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำเสียระหว่างกราฟจากแบบจำลองกับกราฟจากโรงบำบัด..... 55
4.14 กราฟตัวแปร bs และ nbs ที่ได้จากโปรแกรม AQUASIM.. 57
4.15 กราฟเปรียบเทียบค่าซีโอดีจากโปรแกรม AQUASIM.. 58
4.16 กราฟตัวแปร bns nbns และ X ที่ได้จากโปรแกรม AQUASIM.. 59
4.17 กราฟเปรียบเทียบค่าเอ็มแอลเอสเอสจากโปรแกรม AQUASIM.. 59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท นวนคร จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการทางด้านเขตอุตสาหกรรมเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2514 ตั้งอยู่ที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีการขยายตัวของเขตส่งเสริมอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่นิคมอุตสาหกรรมมีระบบบำบัดน้ำเสียรวม ก่อสร้างตั้งแต่ปี พ.ศ.2514 และมีการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อปี พ.ศ.2530 เพื่อขยายความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเป็น 26,000 ลบ.ม./วัน ซึ่งในปัจจุบันแนวโน้มปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบจะมีปริมาณมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่ของโครงการมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีปัญหาเรื่องของคุณภาพน้ำทิ้งที่มีค่าซีโอดีไม่แน่นอนและของแข็งแขวนลอยสูง ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ในปัจจุบันจะต้องมีการทำแผนปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถรับปริมาณน้ำเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคตตามการขยายตัวของเขตส่งเสริมอุตสาหกรรม

การออกแบบและการเดินระบบที่ดีควรอาศัยค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสีย เนื่องจากค่าจลนพลศาสตร์นี้เป็นตัวแปรควบคุมสภาวะต่างๆ ในการทำงานของระบบให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของน้ำเสีย เช่น ปริมาณของชีวมวลในถังเติมอากาศ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ ขนาดของถังปฏิกิริยา เป็นต้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้จริงในนิคมอุตสาหกรรมโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนคร

การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์นี้จะใช้แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 (Activated Sludge Model 1) และสร้างแบบจำลองของระบบบำบัดโดยใช้โปรแกรม AQUASIM (พัฒนาโดย Peter Reichert : Swiss Federal Institute for environmental science and technology (EAWAG) Switzerland) ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองการบำบัดเปรียบเทียบกับผลการบำบัดจริง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนและความแตกต่างที่เกิดขึ้น นำไปสู่การสรุปผลและวิจารณ์ความเหมาะสมในการนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปใช้ในการออกแบบและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนครต่อในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 หาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

1.2.2 นำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้มาใช้จำลองระบบบำบัดน้ำเสีย

1.2.3 เปรียบเทียบและหาความคลาดเคลื่อนของผลจากแบบจำลองและผลการบำบัดจริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้น้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนคร โดยน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีละลาย (sCOD) และของแข็งแขวนลอย (SS) สูงที่สุดเป็นตัวแทนของน้ำเสียทั้งหมด ส่วนน้ำเสียที่ความเข้มข้นอื่นๆ จะใช้การเจือจางด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์

1.3.2 การทดลองทั้งหมดทำในถังปฏิกิริยาแบบแบตซ์และใช้ค่าซีโอดีในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมดโดยทำซ้ำอย่างน้อย 3 ค่า

1.3.3 แยกวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำและของแข็งแขวนลอย โดยแยกของแข็งละลายน้ำออกด้วยวิธีการตกตะกอนและการกรอง ส่วนการแยกของแข็งแขวนลอยอาศัยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) แล้วล้างด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์

1.3.4 นำสมการจากเอเอสเอ็ม 1 มาใช้ในการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ 4 ค่า ได้แก่

1. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (Heterotroph maximum specific growth rate; μ_{mH})
2. สัมประสิทธิ์การอิ่มตัวครึ่งหนึ่งของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (Half-saturation coefficient Heterotroph; K_{SH})
3. อัตราการย่อยสลายจำเพาะของจุลชีพ (Specific decay rate of Heterotroph lid; b_H)
4. อัตราการย่อยสลายจำเพาะของของแข็งแขวนลอย (Specific decay rate of suspended solid; k_d)

1.3.5 ศึกษาค่าปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric parameter) คือ ยิลด์ของเฮเทอโรโทรป (Heterotroph growth yield; Y_H)

1.3.6 ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ AQUASIM 2.1b ในการสร้างแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ตัวแทนค่าจลนพลศาสตร์การบำบัดแบบใช้ออกซิเจนของน้ำเสียอุตสาหกรรม

1.4.2 สามารถนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้ไปใช้อ้างอิงและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบหรือการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมของนิคมอุตสาหกรรมให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

1.4.3 ทราบความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำค่าดังกล่าวมาใช้ตรวจสอบหรือปรับปรุงให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรืออาจใช้ค่าดังกล่าวเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป

บริษัท นวนคร จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการทางด้านเขตอุตสาหกรรม เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2514 ที่ตั้งของโครงการอยู่ที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พื้นที่ในปัจจุบันของนิคมอุตสาหกรรมนวนครมีประมาณ 6,000 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่ขายและพัฒนาแล้ว พื้นที่ระบบสาธารณูปโภค และพื้นที่เหลือภายในโครงการ มีอุตสาหกรรมมากกว่า 14 ประเภท รวม 177 โรงงาน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งส่วนใหญ่ประมาณ 30% เป็นอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิกส์ รองลงมาได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและยา บรรจุภัณฑ์ ยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์

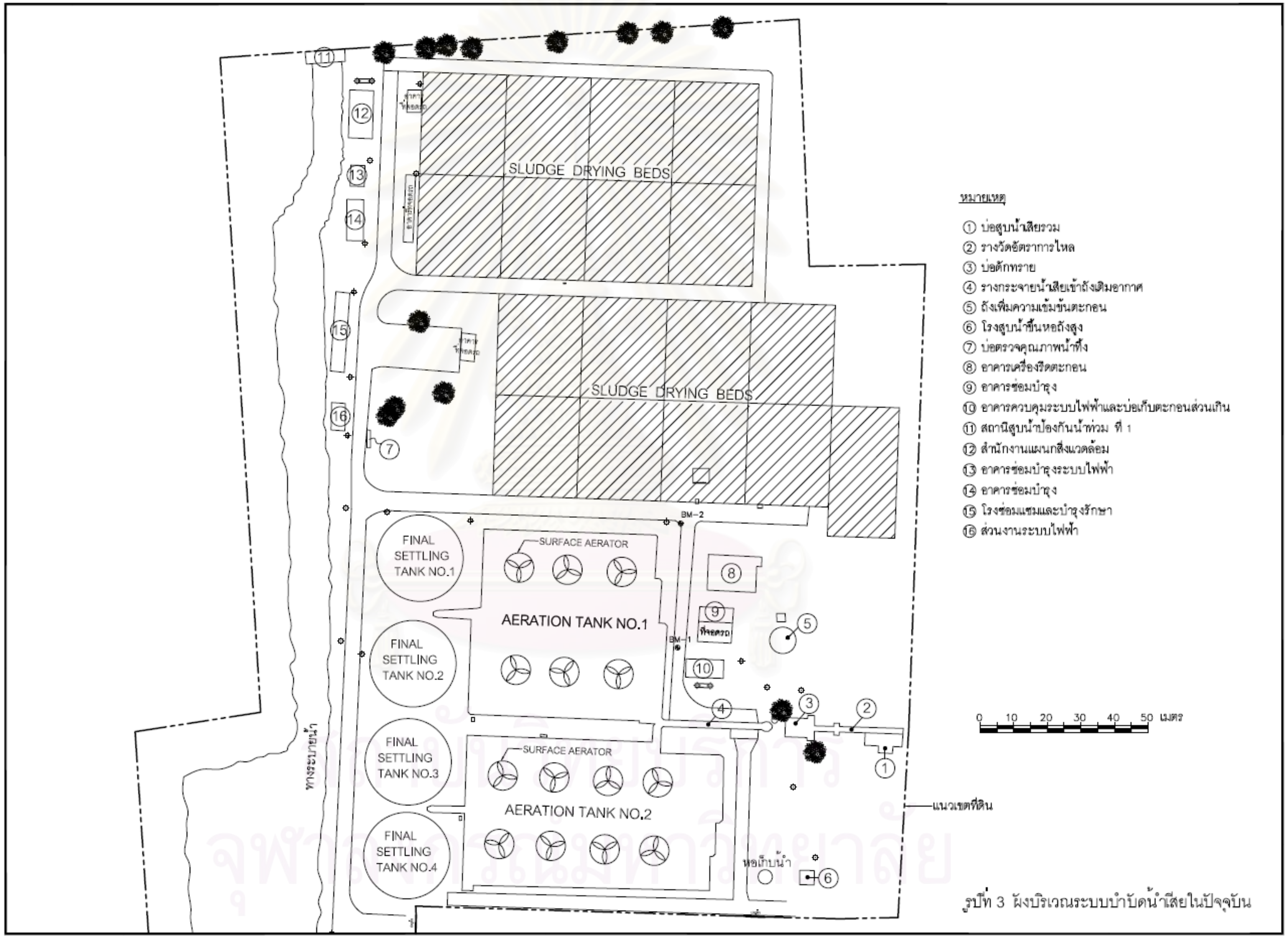
รูปที่ 2.1 ขอบเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร (- - -) และที่ตั้งโรงบำบัดน้ำเสีย (·········) (DigitalGlobe, 2007)

ตารางที่ 2.1 ประเภทและจำนวนของอุตสาหกรรม (บริษัท นวนคร จำกัด, 2005-2006)

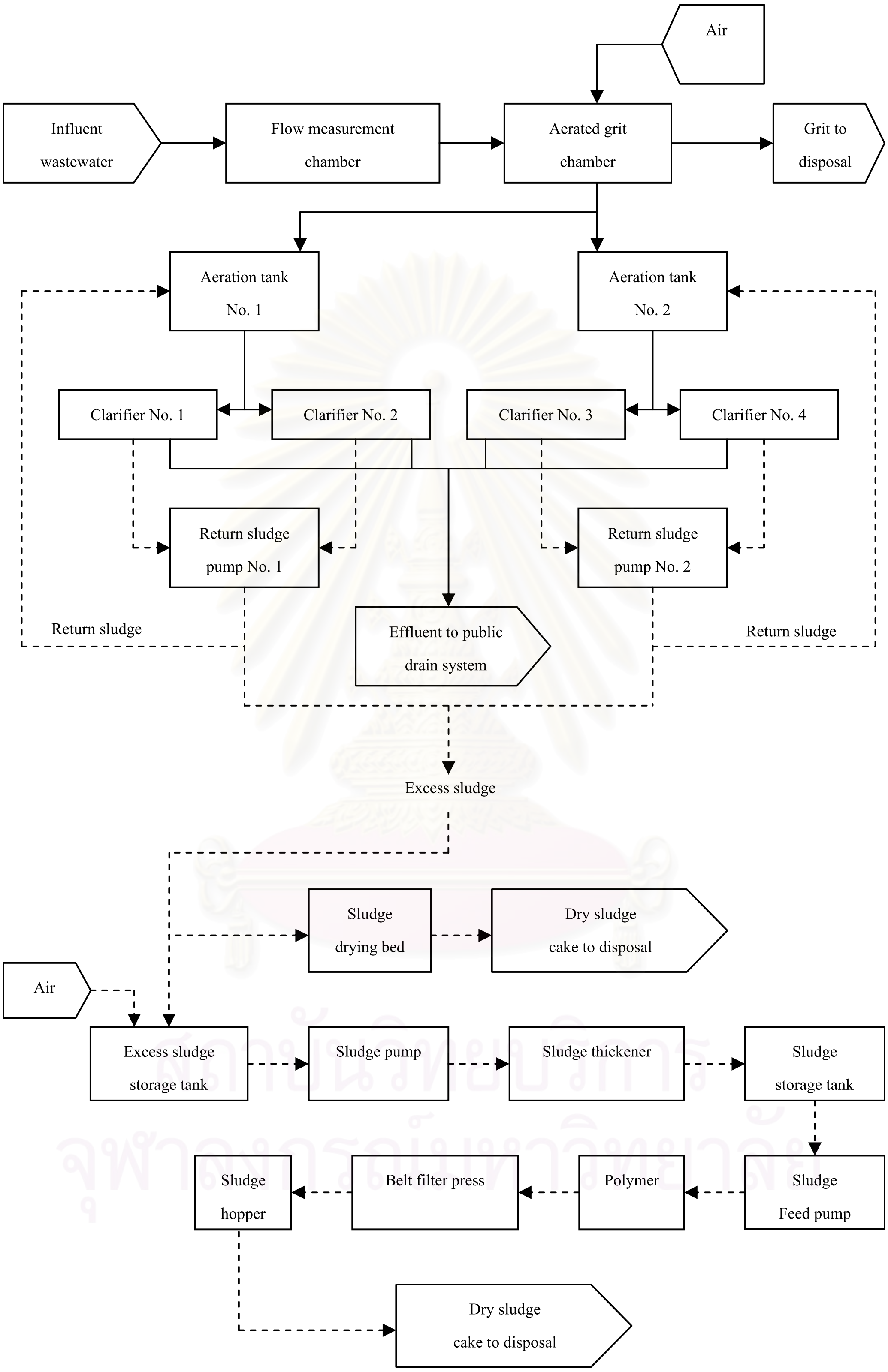
ลำดับ	ประเภทของโรงงาน	จำนวนโรงงาน
1	อิเลคทรอนิกส์	53
2	ยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์	10
3	อาหารและยา	17
4	พลาสติก	8
5	เคมีภัณฑ์	8
6	บรรจุภัณฑ์	14
7	สิ่งทอ	6
8	เฟอร์นิเจอร์	9
9	ของเล่น	4
10	อัญมณี	3
11	ยาง	5
12	บริการ	6
13	แม่พิมพ์	4
14	อื่นๆ	30
รวม		177

2.1.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรมนวนครเป็นแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ประกอบด้วยหน่วยบำบัด 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยถังเติมอากาศ 1 ถัง และถังตกตะตอน 2 ถัง โดยน้ำเสียจากโรงงานต่างๆ จะไหลมารวมที่บ่อสูบน้ำเสียรวม แล้วไหลผ่านรางวัดอัตราการไหลและบ่อดักกรวดทรายจากนั้นจึงเข้าสู่ถังเติมอากาศของแต่ละหน่วยบำบัดโดยแบ่งอัตราการไหลเท่าๆ กัน น้ำที่ผ่านการบำบัดจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำ โดยตะกอนส่วนหนึ่งจะนำกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศ ส่วนที่เหลือจะนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อนำไปกำจัด แบบแปลนและแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนครแสดงดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 ส่วนรายละเอียดของหน่วยบำบัดน้ำเสียและอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 แบบแปลนระบบบำบัดน้ำเสีย (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริ่ง จำกัด, 2007)



รูปที่ 2.3 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์ (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

ตารางที่ 2.2 หน่วยกระบวนการของระบบบำบัด (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

ลำดับที่	หน่วยกระบวนการ	ขนาด (เมตร)			
		กว้าง	ยาว	สูง	Free Board
1	บ่อสูบน้ำเสียรวม	3.85	10.00	8.00	0.50
2	รางวัดอัตราการไหลของน้ำเสีย 2 ชุด	0.50	~15.00	~1.20	~0.50
3	บ่อดักทราย 2 ชุด	2.50	6.00	(ลึก) 1.9	-
4	บ่อเติมอากาศบ่อที่ 1	50.00	50.00	3.40	0.50
5	บ่อเติมอากาศบ่อที่ 2	38.80	70.00	3.40	0.50
6	บ่อตกตะกอนสุดท้ายบ่อที่ 1-4	∅ 24.00		2.10	~0.30
7	บ่อเก็บตะกอนส่วนเกิน	1.40	5.30	3.00	0.70
8	ลานตากตะกอนชุดที่ 1-18	25.00	30.00	0.75	0.10
9	บ่อสูบน้ำจากลานตากตะกอนและบ่อดักทราย	1.20	5.00	2.00	0.50
10	ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน	∅ 7.00		3.00	0.50
11	บ่อเก็บตะกอนจากถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน	2.00	2.00	3.00	0.70

หมายเหตุ: ∅ = เส้นผ่านศูนย์กลาง

ตารางที่ 2.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ของระบบบำบัด
(บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

ลำดับที่	รายละเอียด	ตำแหน่งที่ตั้ง	จำนวน (ชุด)
1	เครื่องสูบน้ำเสีย สูบน้ำเสียได้ 278 l/s มอเตอร์ 60 hp.	บ่อสูบน้ำเสียรวม	2
2	เครื่องวัดอัตราการไหลน้ำ (Flow Meter)		
2.1	เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (FL-1)	รางวัดอัตราการไหล	1
2.2	เครื่องวัดอัตราการไหลของตะกอนเวียนกลับบ่อที่ 1 (FL-2)	บ่อเติมอากาศบ่อที่ 1	1
2.3	เครื่องวัดอัตราการไหลของตะกอนเวียนกลับบ่อที่ 2 (FL-3)	บ่อเติมอากาศบ่อที่ 2	1
3	ตะแกรง (Bar Screen)		
3.1	ตะแกรงหยาบความกว้างของช่องตะแกรงหยาบ 0.425 ม.	ก่อนบ่อดักทราย	2
3.2	ตะแกรงละเอียด ความกว้างของช่องตะแกรงหยาบ 0.025 ม.	หลังบ่อดักทราย	14
4	เครื่องเติมอากาศจ่ายอากาศได้ 2.37 m^3/min มอเตอร์ 3 hp, 1425 rpm	บ่อดักทราย	1

ตารางที่ 2.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ของระบบบำบัด (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียด	ตำแหน่งที่ตั้ง	จำนวน (ชุด)
5	เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ (Surface Aerator)		
5.1	เครื่องเติมอากาศแบบ Turbine BSD Favorit มอเตอร์ขนาด 40 hp, 70 rpm ประสิทธิภาพการเติมอากาศ1.8 - 3.5 kg-O_2/kwh	บ่อเติมอากาศที่ 1	2
5.2	เครื่องเติมอากาศแบบ Turbine BSD Favorit มอเตอร์ขนาด 25 hp, 72.5 rpm ประสิทธิภาพการเติมอากาศ 1.8 - 1.5 kg-O_2/kwh	บ่อเติมอากาศที่ 1	4
5.3	เครื่องเติมอากาศแบบ Turbine BSD Favorit มอเตอร์ขนาด 25 hp, 72.5 rpm ประสิทธิภาพการเติมอากาศ 1.8 - 1.5 kg-O_2/kwh	บ่อเติมอากาศที่ 2	8
6	เครื่องกวาดตะกอนชนิด Half Bridge ยาว 12 เมตร เกียร์มอเตอร์ขนาด 1 hp, 1400 rpm อัตราทดรอบ 40:1	บ่อตกตะกอน ขั้นสุดท้ายบ่อที่ 1 - 4	4
7	เครื่องสูบตะกอนแบบ Screw Pump สูบตะกอนได้ 395-540 m^3/hr เกียร์มอเตอร์ขนาด 15 hp, 1460 rpm อัตราทดรอบ 29:1	บ่อเติมอากาศบ่อที่ 1 - 2	2
8	เครื่องสูบตะกอนแบบ Positive Displacement สูบตะกอนได้ 55 m^3/hr มอเตอร์ขนาด 25 hp	บ่อเก็บตะกอนส่วนเกิน	2
9	เครื่องสูบน้ำตะกอนแบบ Submersible Pump สูบน้ำเสียได้ 30 m^3/hr มอเตอร์ขนาด 5 hp	บ่อเก็บตะกอนส่วนเกิน	1
10	เครื่องสูบน้ำแบบ Submersible Pump สูบน้ำเสียได้ 185 m^3/hr มอเตอร์ขนาด 4.2 hp	บ่อสูบน้ำกรองจากลานตากตะกอนและจากบ่อดักทราย	2
11	เครื่องสูบตะกอนแบบ Positive Displacement สูบตะกอนได้ 10 m^3/hr, 20 m TDH, 330 rpm, มอเตอร์ขนาด 3 hp	ถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน	2

2.1.3 ปริมาณน้ำเสีย

บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาทางด้านน้ำเสียได้สำรวจระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนครเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเลือกบ่อดักกรวดทรายเป็นจุดตรวจสอบปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จากนั้นตรวจสอบตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 2 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ช่วงวันที่ 9 - 10 พฤษภาคม พ.ศ.2550 โดยตรวจสอบทุกๆ 30 นาทีและครั้งที่ 2 ช่วงวันที่ 11 - 12 พฤษภาคม พ.ศ.2550 ตรวจสอบทุกๆ 5 นาที ซึ่งผลการตรวจสอบปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบทั้ง 2 ครั้ง แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัด (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

การตรวจสอบ วันที่	**ครั้งที่ 1 9-10 พ.ค.2550**	**ครั้งที่ 2 11-12 พ.ค.2550**
ตำแหน่งตรวจสอบ วิธีตรวจสอบ	บ่อดักกรวดทราย (Grit Chamber Tank) Rectangular Sharp Edged Weir 1.50 m Width	
ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	29,310.55	25,436.55
อัตราการไหลเฉลี่ย (ลบ.ม./ชม.)	1,221.27	1,059.86
อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./ชม.)	2,152.80	1,357.70
อัตราการไหลต่ำสุด (ลบ.ม./ชม.)	902.75	1,024

จากตารางที่ 2.4 พบว่าปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดมีค่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุด 1.76 เท่าของอัตราการไหลเฉลี่ย ค่าดังกล่าวสามารถใช้ตรวจสอบหน่วยกระบวนการบำบัดต่างๆ ภายในระบบที่การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลมีผลต่อการทำงานของระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยที่เข้าระบบบำบัดเท่ากับ 29,310.55 ลบ.ม./วัน คิดเป็นปริมาณน้ำเสียเท่ากับ 8.50 ลบ.ม.ต่อพื้นที่ขาย 1 ไร่/วัน (คิดพื้นที่ขายจำนวน 3,450 ไร่) และจากการสำรวจเบื้องต้นภายในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมนวนครพบว่า ระบบท่อรวบรวมน้ำเสียมีการชำรุด ดังนั้นในอนาคตถ้ามีการปรับปรุงระบบรวบรวมน้ำเสียจะทำให้อัตราการเกิดน้ำเสียและลักษณะสมบัติน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลดังกล่าวสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดของนิคมอุตสาหกรรมนวนครในอนาคตเท่ากับ 42,600 ลบ.ม./วัน ดังนั้นบริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด จึงเสนอแนะให้ออกแบบปริมาณน้ำเสียในอนาคตที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 50,000 ลบ.ม./วัน

2.1.4 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด เก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนคร โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างครั้งแรกเป็นตัวอย่างแบบรวม (Composite Sample) ในวันที่ 9 - 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 และครั้งที่สองเป็นตัวอย่างแบบรวม (Composite Sample) ในวันที่ 11 - 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ**	
		9 - 10 พ.ค.2550	**11 - 12 พ.ค.2550**
1. pH		7.30	7.15
2. BOD_5	mg/l	108	126
3. COD	mg/l	334.40	399.52
4. NH_4-N	mg/l N	24.30	26.21
5. Org-N	mg/l N	7.34	2.91
6. Nitrate	mg/l N	< 0.001	0.002
7. Nitrite	mg/l N	0.004	< 0.0005
8. TKN	mg/l N	31.64	29.12
9. Total Phosphorus	mg/l P	2.76	5.91
10. SS	mg/l	208	150
11. TS	mg/l	1,058	1,460
12. Dissolved Solids	mg/l	850	1,310
13. Oil and Grease	mg/l	17.33	17.33
14. Heavy Metal			
14.1 Pb	mg/l Pb	< 0.02	0.315
14.2 Cr	mg/l Cr	< 0.05	< 0.05
14.3 Cd	mg/l Cd	< 0.002	< 0.002
14.4 Ag	mg/l Ag	0.049	< 0.01
14.5 Hg	mg/l Hg	< 0.0001	0.0001
14.6 Cu	mg/l Cu	0.205	0.179
14.7 Ni	mg/l Ni	0.657	1.612

จากตารางที่ 2.5 พบว่าสัดส่วนของ BOD_5 : N : P มากกว่า 100 : 5 : 1 ซึ่งเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียมี Oil and Grease และ Ni สูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ไม่เกิน 5.0 มก./ล. และ 1.0 มก./ล. ตามลำดับ) และค่า BOD_5 และ COD ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านมา ดังนั้นในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันจึงใช้ค่าในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คาดการณ์สมบัติของน้ำเสีย (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

รายการ	**หน่วย**	**ค่าที่ได้**
จำนวนพื้นที่ขายทั้งหมด	ไร่	5,016
อัตราการใช้น้ำ	ลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่ขาย 1 ไร่ต่อวัน	14.65
ปริมาณการใช้น้ำ	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	73,500
สัดส่วนการเกิดน้ำเสีย	%	57.99
ปริมาณน้ำเสีย	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	42,600
ความเข้มข้นของ BOD_5	มิลลิกรัมต่อลิตร	300
ความเข้มข้นของ COD	มิลลิกรัมต่อลิตร	1,000
ภาระบรรทุกรวมในรูปของ BOD	กิโลกรัมต่อวัน	12,780

2.1.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด ได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัด ความเข้มข้นตะกอน (MLSS) และค่า SV_{30} ของตะกอนในถังเติมอากาศและถังตะกอนหมุนเวียน เพื่อใช้ประกอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติแสดงในตารางที่ 2.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย (บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**น้ำเสียขาเข้า**		**น้ำเสียขาออก**		**ถังเติมอากาศ 1**		**ถังเติมอากาศ 2**		**ถังตะกอนหมุนเวียน**	
		ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**
ปริมาณน้ำเสีย	m^3/d	29,310	25,436	-	-	-	-	-	-	-	-
pH		7.3	7.15	7.77	7.58	7.14	7.14	6.94	7.21	-	-
SS	mg/l	208	150	24	34	-	-	-	-	-	-
BOD_5	mg/l	108	126	14.4	19.2	585	645	600	735	-	-
COD	mg/l	334.4	399.52	66.88	65.38	2,358	2,106	2,640	3,341	-	-
MLSS	mg/l	-	-	-	-	3,060	2,900	2,680	4,320	1,630	2,860
MLVSS	mg/l	-	-	-	-	2,120	2,060	1,900	3,000	1,210	1,860
SV_{30}	ml/l	-	-	-	-	700	766	660	923	-	-
SVI	ml/g	-	-	-	-	333	372	347	307	-	-

จากตารางที่ 2.7 เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสียขาเข้าและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียยังสามารถกำจัดความสกปรกในรูป BOD_5 และ COD ได้ แต่เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศค่า MLSS, MLVSS และ SV_{30} พบว่าค่า SVI มีค่าสูงมากกว่า 300 ทำให้เกิดสภาวะไม่จมตัวของตะกอน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการนำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินในระบบมากำจัดน้อยเกินไป ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ขีดความสามารถของแต่ละหน่วยกระบวนการเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงระบบบำบัดในอนาคต สรุปได้ดังตารางที่ 2.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 ขีดความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสีย
(บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด, 2007)

ลำดับ	หน่วยกระบวนการ	ขีดความสามารถ (ลบ.ม./วัน)
	Pump Sump	44,352
1.	Bar Screen	25,920
2.	Aerated Grit Chamber	27,360
3.	Aeration Tank	
4.	- Aeration Tank No. 1	11,252
	- Aeration Tank No. 2	12,162
	รวม	23,414
5.	Final Setting Tank	
	- For Aeration Tank No. 1	10,848
	- For Aeration Tank No. 2	10,848
	รวม	21,696
6.	Sludge Treatment	
	- Sludge Thickener	35,933
	- Belt Press	10,000

จากตารางที่ 2.8 พบว่าตั้งแต่หน่วยกระบวนการ Aerated Grit Chamber จนถึง Final Setting Tank ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิมจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด 21,696 ลบ.ม./วัน ซึ่งความสามารถนี้จะถูกจำกัดโดยขนาดของ Final Setting Tank ส่วนกระบวนการบำบัดตะกอน (Sludge Treatment) นั้นจะสามารถบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียในปริมาณ 10,000 ลบ.ม./วัน

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process)

2.2.1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุตสาหกรรม การเดินระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้มีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

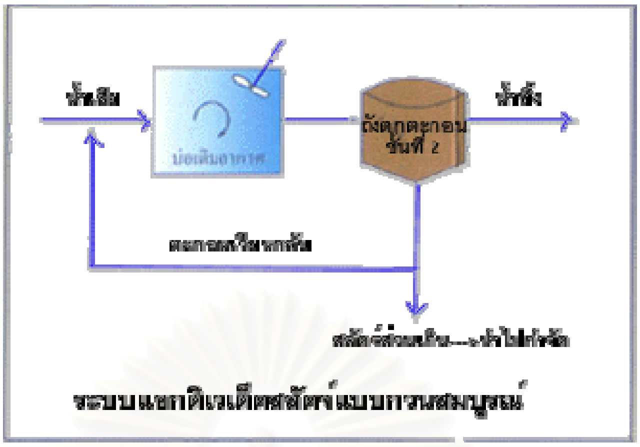
ในปัจจุบัน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น

2.2.2 หลักการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่ออกแบบไว้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิค จุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่อยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

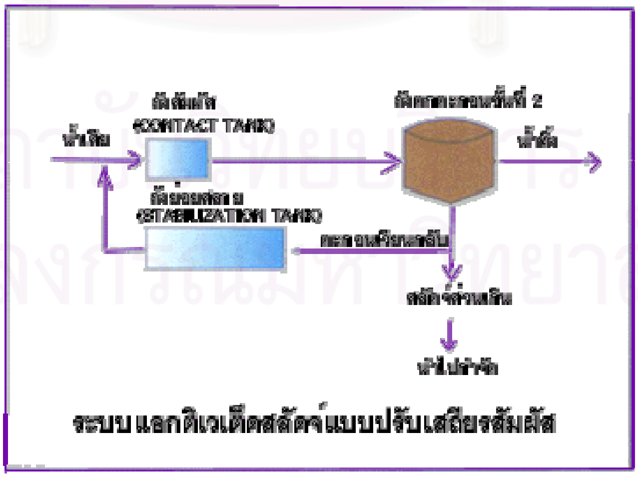
2.2.3 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์รูปแบบต่าง ๆ

1) ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge: CMAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ มีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและสลัดจ์ผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งถัง ระบบแบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) ได้ดี เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำเสียจะกระจายไปทั่วและสภาพแวดล้อมต่างๆ ในถังเติมอากาศก็มีค่าสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่มีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งถัง (Uniform Population) ดังรูปที่ 2.4



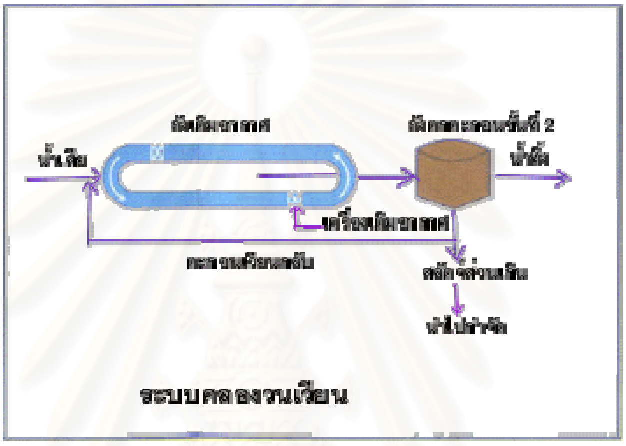
รูปที่ 2.4 ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ (ตั้มซีวิลดอทคอม, 2007)

2) ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge: CSAS) ลักษณะสำคัญ คือ แบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถัง ได้แก่ ถังสัมผัส (Contact Tank) และถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) โดยตะกอนที่สูบมาจากก้นถังตกตะกอนขั้นที่สองจะส่งมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลาย จากนั้นส่งมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในถังสัมผัสนี้ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่ผสมเข้ามาใหม่ น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนขั้นที่สองเพื่อแยกตะกอนกับส่วนน้ำใส โดยน้ำใสส่วนบนระบายออกจากระบบและตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลายและอีกส่วนหนึ่งจะนำไปทิ้ง ทำให้บ่อเติมอากาศมีขนาดเล็กกว่าบ่อเติมอากาศของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไป ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส (ตั้มซีวิลดอทคอม, 2007)

3) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch: OD) ลักษณะสำคัญ คือ ถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้ทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า Anoxic ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^-) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrosomonas Spp. และ Nitrobactor Spp.) ทำให้สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน (ตั้มซีวิลดอทคอม, 2007)

4) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ลักษณะสำคัญ คือ เป็นระบบแอกทิเวเต็ดจ์สลัดจ์ประเภทเติมเข้า - ถ่ายออก (Fill-and-Draw Activated Sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบตะกอนเร่งแบบอื่น ๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน การเดินระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่าย ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ดังรูปที่ 2.7 โดยการเดินระบบแบบเอสบีอาร์ 1 รอบการทำงาน (Cycle) จะมี 5 ช่วงตามลำดับ ดังนี้

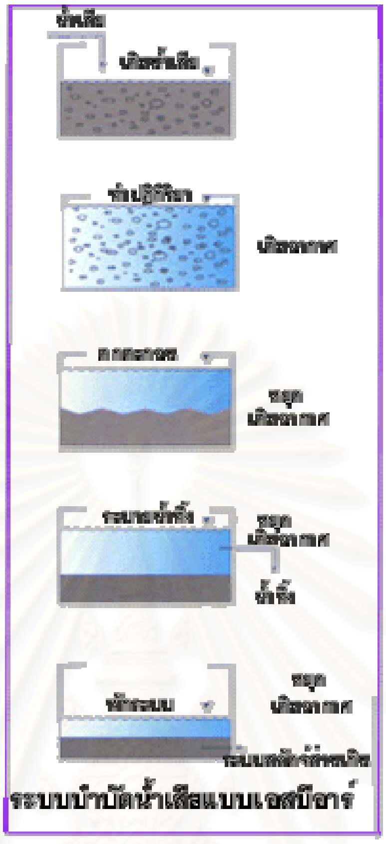
1.) ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ

2.) ช่วงทำปฏิกิริยา (React) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD)

3.) ช่วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกิริยา

4.) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด

5.) ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่



รูปที่ 2.7 ระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์ (ตั้มซีวิลดอทคอม, 2007)

2.2.4 ปัญหาตะกอนไม่จมตัว (Bulking Sludge) และการเกิดตะกอนลอย (Rising Sludge)

1) ตะกอนไม่จมตัว (Bulking Sludge) เกิดจากสภาวะที่มีจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (Filamentous Organism) มากเกินไป ซึ่งทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศไม่จับตัวกันเป็นฟล็อค (Floc) เมื่อไหลไปยังถังตกตะกอนจะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้จะลอยขึ้นมาคล้ายลูกคลื่นเป็นชั้นตลอดทั่วทั้งถังตกตะกอน การควบคุมจุลินทรีย์จำพวกเส้นใยสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเติมคลอรีนหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในตะกอนจุลินทรีย์ที่สูบกลับ (Return Sludge) การป้องกันการเกิดจุลินทรีย์เส้นใยในระบบนั้นต้องควบคุมให้ระบบมีสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ได้แก่ การควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศไม่น้อยกว่า 1 มก./ล. และการเติมสารอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่พอเหมาะ การควบคุม pH ไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 เป็นต้น

2) ตะกอนลอย (Rising Sludge) เกิดจากสภาวะดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยก๊าซไนโตรเจนจะสะสมตัวอยู่ใต้ชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังตกตะกอนจนมากพอที่จะดันให้ตะกอนจุลินทรีย์เหล่านั้นลอยขึ้นมาเป็นก้อนใหญ่ๆ เมื่อลอยขึ้นมาจนถึงผิวน้ำแล้วจะแตกกระจายออกเป็นแผ่นมองเห็นฟองก๊าซเล็ก ๆ ลอยขึ้นมากับตะกอน การแก้ปัญหาตะกอนลอย ได้แก่ การเพิ่มอัตราการสูบตะกอนกลับจากถังตกตะกอนเพื่อลดระยะเวลาเก็บกักตะกอนในถังตกตะกอน หรือลดอายุสลัดจ์ (Sludge Age) โดยการเพิ่มอัตราการระบายตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge) ทิ้ง

2.3 การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์

ใช้แบบจำลองระบบเอเอสเอ็มซึ่งสร้างขึ้นโดย IAWPRC (International Association on Water Pollution Research and Control) นั้น โดยแบบจำลองระบบเอเอสเอ็มถือเป็นแบบจำลองตัวแรกที่ IAWPRC คิดค้นขึ้น ซึ่งตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1987 จนถึงปัจจุบันเป็นเวลาร่วม 20 ปีแล้วที่แบบจำลองระบบเอเอสเอ็มยังคงเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยต่างๆ มากมาย อีกทั้งยังเป็นแบบจำลองพื้นฐานในการนำไปใช้พัฒนาปรับปรุงแบบจำลองอื่นๆ ด้วย แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องและน่าเชื่อถือของแบบจำลองนี้ ปัจจุบันแบบจำลองระบบเอเอสนั้น ได้ตีพิมพ์ออกมาแล้ว 3 รุ่นด้วยกัน ซึ่งใช้อธิบายขอบเขตของกระบวนการทางชีวภาพที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 (ASM 1) เป็นแบบจำลองพื้นฐาน ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยที่สุดและเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอดของแบบจำลองระบบเอเอสรุ่นอื่นๆ โดยอธิบายถึงกระบวนการทางชีวภาพต่างๆ ในระบบเอเอสรวมถึงการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

2. แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 2 (ASM 2) เป็นส่วนขยายแบบจำลองระบบเอเอส 1 ซึ่งจะมีความซับซ้อนขึ้น โดยเพิ่มกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเข้าไป

3. แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 2d (ASM 2d) เป็นส่วนขยายเพิ่มเติมจากแบบจำลองระบบเอเอส 2 ซึ่งจะมีความซับซ้อนยิ่งขึ้นไปอีก โดยเพิ่มการอธิบายกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นด้วยจุลชีพในกลุ่ม PAOs เข้าไป

4. แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 3 (ASM 3) ถือเป็นแบบจำลองพื้นฐานตัวใหม่แทนที่แบบจำลองระบบเอเอส 1 ซึ่งจะนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองของระบบเอเอสในยุคต่อไป โดยแบบจำลองตัวนี้จะอธิบายกระบวนการทางชีวภาพต่างๆ เช่นเดียวกับแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 แต่ได้ทำการปรับแก้ข้อด้อยที่พบในแบบจำลองเดิม ได้แก่

- ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ไม่มีค่าจลนพลศาสตร์ที่ใช้แก้ปัญหาในเรื่องของไนโตรเจนและความเป็นด่างของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป

- ค่าอินทรีย์ไนโตรเจนละลาย; S_{ND} (Soluble organic nitrogen) และค่าอนุภาคอินทรีย์ไนโตรเจน; X_{ND} (Particulate organic nitrogen) ตรวจวัดได้ยากและทำให้แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ยุ่งยากโดยไม่จำเป็น

- ค่าจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมนีฟิเคชั่น (Ammonification) ในเอเอสเอ็ม 1 ใช้หาปริมาณได้ยากเนื่องจากกระบวนการเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลกระทบอย่างมากในการคาดคะเนแบบจำลอง

- ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 แบ่งแยกประเภทของอนุภาคสารอินทรีย์เฉื่อย; X_I และ X_P (Inert particulate organic material) โดยดูจากต้นกำเนิดของมัน น้ำเสียขาเข้า และการสลายตัวของชีวมวล (Biomass decay) แต่ในความเป็นจริงแล้วเป็นไปไม่ได้ที่จะแบ่งแยกค่าทั้งสองนี้

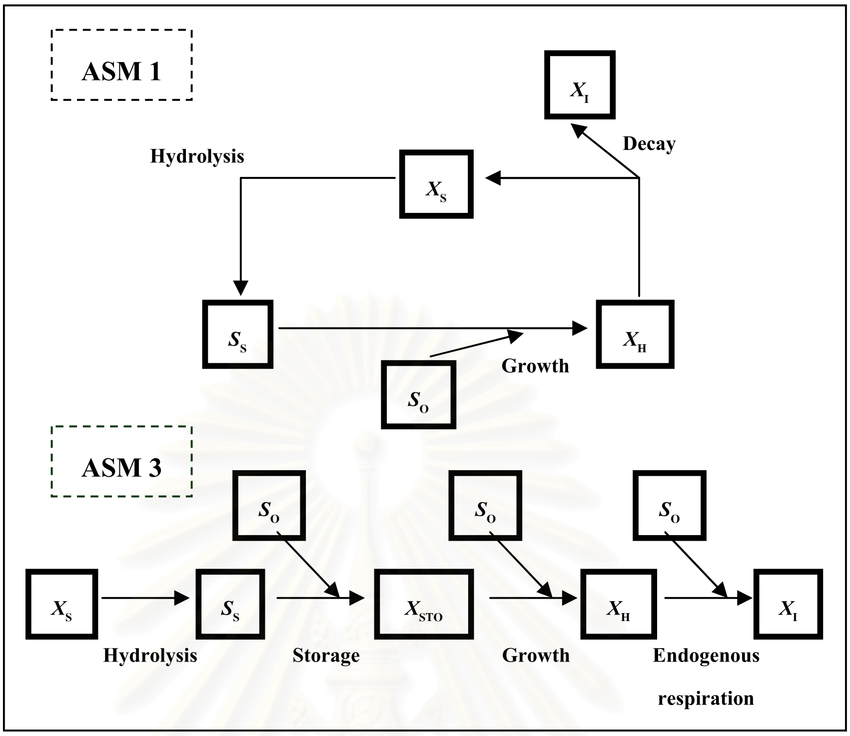
- ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ดูเหมือนว่ากระบวนการไฮโดรไลซิสจะมีผลกระทบที่โดดเด่นกว่าการคาดคะเนปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption) และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นโดยจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป แต่ในความเป็นจริงกระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นตัวแทนของกระบวนการควบคู่ (Coupled processes) บางกระบวนการ เช่น ไฮโดรไลซิส, การแตกสลายของจุลชีพ (Lysis of organism) และการสะสมสารอาหาร (Storage of substrates) เพราะฉะนั้น การหาค่าจลนพลศาสตร์ของกระบวนย่อยๆ เหล่านี้จึงทำได้ยาก

- ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดตะกอนเร่ง เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ย่อยได้เร็ว (Readily biodegradable organic) เพิ่มขึ้น การสะสมสารโพลีไฮดรอกซีแอลคาโนเอท (poly-hydroxy-alkanoate) และการตรวจพบไขมันและไกลโคเจนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ไม่มีในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1

- ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ไม่สามารถคาดคะเนค่าความเข็มข้นของ MLSS ได้โดยตรง

- ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ไม่สามารถแบ่งแยกอัตราการย่อยสลายของไนตริไฟเออร์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ซึ่งจะให้ก่อเกิดปัญหาในการคาดคะเนค่าของอัตราไนตริฟิเคชั่นสูงสุด (Maximum nitrification rate)

แม้ว่าแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 3 จะแก้ไขข้อจำกัดหลายๆ ด้านของแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 แต่ก็เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนและต้องใช้ตัวแปรหลายค่าในการหาค่าจลนพลศาสตร์ สังเกตได้จากแผนผังจำลองวัฏจักรการใช้ซีโอดี (The flow of COD) ของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรปในแบบจำลองเอเอสเอ็ม 1 และเอเอสเอ็ม 3 ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนผังจำลองวัฏจักรการใช้ซีโอดีของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (IWA task group, 2000)

ในแบบจำลองเอเอสเอ็ม 1 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อสารอาหาร (S_S) เข้าสู่เซลล์จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ใหม่ (X_H) ทันทีโดยมีออกซิเจน (S_O) เข้ามาเกี่ยวข้อง จากนั้นจะเกิดการตายของเซลล์แยกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ละลาย (X_S) และส่วนที่ไม่ละลาย (X_I) ซึ่งส่วนที่ละลายสามารถเกิดไฮโดรไลซิสกลายเป็นสารอาหารได้ ในขณะที่แบบจำลองเอเอสเอ็ม 3 เริ่มจากส่วนที่ละลายได้ของเซลล์เกิดไฮโดรไลซิสกลายเป็นสารอาหาร เมื่อเข้าสู่เซลล์จะมีการเก็บสะสมสารอาหารไว้ก่อน (X_{STO}) จากนั้นจึงกลายเป็นเซลล์ใหม่และตายลงในที่สุด โดยมีออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการถึง 3 ขั้นตอน จึงทำให้สมการการหาค่าจลนพลศาสตร์ของแบบจำลองทั้งสองยากง่ายต่างกัน ตัวอย่างเช่น สมการการหาอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (r_{GX}) ของแบบจำลองทั้งสองตามลำดับ ดังนี้

$$r_{GX} = u_{mH}\left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O}\right)X_{B,H}$$

$$r_{GX} = u_H\left(\frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}}\right)\left(\frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}}\right)\left(\frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}\right)\left(\frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H}\right)X_H$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการข้างต้นทั้งสองจะเห็นว่า สมการของแบบจำลองเอเอสเอ็ม 1 ใช้ตัวแปรค่า K เพียงสองค่าเท่านั้น ได้แก่ K_S และ K_O ขณะที่สมการของแบบจำลองเอเอสเอ็ม 3 ใช้ตัวแปรค่า K สี่ค่า ได้แก่ K_{O2}, K_{NH4}, K_{ALK} และ K_{STO} ซึ่งในส่วนการทดลองของงานวิจัยนี้จะสมมติให้ในระบบมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าค่า K_O มากๆ ทำให้สมการการหาอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรปของแบบจำลองเอเอสเอ็ม 1 เหลือตัวแปรค่า K เพียงหนึ่งค่าเท่านั้น ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงนำสมการจากเอเอสเอ็ม 1 (แสดงในตารางที่ 9) มาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนครเพื่อวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์และทำการศึกษาเฉพาะตัวแปรของจุลชีพในกลุ่มเฮเทอโรโทรปเท่านั้น ซึ่งแบบจำลองของระบบเอเอสเอ็ม 1 สามารถใช้อธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งยังเป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนไม่มากและสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย นอกจากนี้ยังเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้แบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้

2.3.1 การหาค่าจลนพลศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม AQUASIM นั้น ข้อมูลที่สำคัญในการสร้างแบบจำลอง คือ สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกนำมาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดทางชีวภาพที่สนใจ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะอ้างอิงสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรปจากแบบจำลองระบบเอเอสเอ็มมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบ โดยสมการหลักๆ ที่สนใจ ได้แก่ สมการอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (r_{GX}), สมการอัตราการสลายตัวของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (r_{DX}) และสมการอัตราการกำจัดสารอาหาร (r_S) สมการทางจลนพลศาสตร์ทั้งหมดของแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 แสดงดังตารางที่ 2.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 สมการทางจลนพลศาสตร์และปริมาณสารสัมพันธ์ในแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 (IWA task group, 2000)

Component → i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Process Rate, ρ_j $[ML^{-3}T^{-1}]$
j	Process ↓	S_I	S_S	X_I	X_S	$X_{B,H}$	$X_{B,A}$	X_P	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}	
1	Aerobic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{i_{XB}}{14}$	$\hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right) X_{B,H}$
2	Anoxic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1-Y_H}{2.86\,Y_H}$	$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86\,Y_H} - \frac{i_{XB}}{14}$	$\hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)\eta_g X_{B,H}$
3	Aerobic growth of autotrophs						1		$-\frac{4.57}{Y_A}+1$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB}-\frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7Y_A}$	$\hat{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,A}+S_O}\right) X_{B,A}$
4	'Decay' of heterotrophs				$1-f_P$	−1		f_P					$i_{XB}-f_P i_{XP}$		$b_H X_{B,H}$
5	'Decay' of autotrophs				$1-f_P$		−1	f_P					$i_{XB}-f_P i_{XP}$		$b_A X_{B,A}$
6	Ammonification of soluble organic nitrogen										1	−1		$\frac{1}{14}$	$k_a S_{ND} X_{B,H}$
7	'Hydrolysis' of entrapped organics		1		−1										$k_h \frac{X_S/X_{B,H}}{K_X+(X_S/X_{B,H})}\left[\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right) + \eta_h \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)\right] X_{B,H}$
8	'Hydrolysis' of entrapped organics nitrogen											1	−1		$\rho_7 (X_{ND}/X_S)$
Observed Conversion Rates $[ML^{-3}T^{-1}]$		$r_i = \sum_j v_{ij}\rho_j$									$r_i = \sum_j v_{ij}\rho_j$				
Stoichiometric Parameters: Heterotrophic yield: Y_H; Autotrophic yield: Y_A; Fraction of biomass yielding particulate products: f_P; Mass N/Mass COD in biomass: i_{XB}; Mass N/Mass COD in products from biomass: i_{XP}		Soluble inert organic matter $[M(COD)L^{-3}]$	Readily biodegradable substrate $[M(COD)L^{-3}]$	Particulate inert organic matter $[M(COD)L^{-3}]$	Slowly biodegradable substrate $[M(COD)L^{-3}]$	Active heterotrophic biomass $[M(COD)L^{-3}]$	Active autotrophic biomass $[M(COD)L^{-3}]$	Particulate products arising from biomass decay $[M(COD)L^{-3}]$	Oxygen (negative COD) $[M(COD)L^{-3}]$	Nitrate and nitrite nitrogen $[M(N)L^{-3}]$	$NH_4^+ + NH_3$ nitrogen $[M(N)L^{-3}]$	Soluble biodegradable organic nitrogen $[M(N)L^{-3}]$	Particulate biodegradable organic nitrogen $[M(N)L^{-3}]$	Alkalinity – Molar units	Kinetic Parameters: Heterotrophic growth and decay: $\hat{\mu}_H$, K_S, K_{OH}, K_{NO}, b_H; Autotrophic growth and decay: $\hat{\mu}_A$, K_{NH}, $K_{O,A}$, b_A; Correction factor for anoxic growth of heterotrophs: η_g; Ammonification: k_a; Hydrolysis: k_h, K_X; Correction factor for anoxic hydrolysis: η_h

สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 สมการ แสดงดังนี้

1. สมการอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (r_{GX}) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งใช้จุลชีพแบบเฮเทอโรโทรปและใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron accepter) ดังนั้น สมการอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพจึงได้มาจากสมการ Process Rate ในแถวที่ 1 Aerobic growth of heterotrophs คูณกับตัวคูณ (1) จากคอลัมน์ที่ 5 Active heterotrophic biomass ($X_{B,H}$) ในตารางที่ 2.9 ได้สมการดังนี้

$$r_{GX} = u_{mH}\left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O}\right)x_{B,H} \qquad (2.1)$$

โดยที่ μ_{mH} = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพ (ชม.$^{-1}$)

K_S = สัมประสิทธิ์การอิ่มตัวครึ่งหนึ่งของสารอาหาร (มก./ล.)

$K_{O,H}$ = สัมประสิทธิ์การอิ่มตัวครึ่งหนึ่งของออกซิเจน (มก./ล.)

S_S = ความเข้มข้นของสารอาหารละลายน้ำ (มก./ล.)

S_O = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)

$X_{B,H}$ = ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพเฮเทอโรโทรป (มก./ล.)

การนำสมการดังกล่าวไปใช้งานนั้น ตัวแปรที่จะใช้จากการทดลองนั้นมีถึง 3 ค่า ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอาหารละลายน้ำ (S_S) ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (S_O) และความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพเฮเทอโรโทรป ($X_{B,H}$) ทำให้การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์มีความยากลำบาก ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์มีความสะดวกจึงสมมติให้ในระบบมีปริมาณการเติมอากาศที่สูงมากกว่าค่า $K_{O,H}$ มากๆ ซึ่งค่า $K_{O,H}$ ที่ 20 $^{\circ}$C จะเท่ากับ 0.1 มก.-ออกซิเจน/ล. (Grady, Daigger และ Lim, 1999) ดังนั้น จะทำให้พจน์ $K_{O,H}+S_O$ เท่ากับ S_O และสามารถลดรูปสมการที่ 2.1 ได้ เป็นดังนี้

$$r_{GX} = u_{mH}\left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right)x_{B,H} \qquad (2.2)$$

สมการที่ได้นี้จะนำไปใช้แทนสมการที่ 2.1 ซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากตัวแปรที่จะใช้จากการทดลองนั้นเหลือเพียง 2 ค่า คือ ความเข้มข้นของสารอาหารละลายน้ำ (S_S) และความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพเฮเทอโรโทรป ($X_{B,H}$)

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. สมการอัตราการสลายตัวของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (r_{DX}) จากตารางที่ 2.9 สมการนี้ได้มาจากสมการ Process Rate ในแถวที่ 4 Decay of heterotrophs คูณกับตัวคูณ (-1) จากคอลัมน์ที่ 5 Active heterotrophic biomass ($X_{B,H}$) ได้สมการดังนี้

$$r_{DX} = -b_H X_{B,H} \qquad (2.3)$$

โดยที่ b_H = อัตราการสลายตัวจำเพาะของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (ชม.$^{-1}$)

3. สมการอัตราการกำจัดสารอาหาร (r_S) จากตารางที่ 2.9 สมการนี้ได้มาจากสมการ Process Rate ในแถวที่ 1 Aerobic growth of heterotrophs คูณกับตัวคูณ (-1/Y_H) จากคอลัมน์ที่ 2 Readily biodegradable substrate (S_S) ได้สมการดังนี้

$$r_s = -\frac{u_{mH}}{Y_H}\left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O}\right)X_{B,H} \qquad (2.4)$$

และในทำนองเดียวกันกับสมการที่ 1 สามารถลดรูปสมการที่ 4 ได้ เป็นดังนี้

$$r_s = -\frac{u_{mH}}{Y_H}\left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right)X_{B,H} \qquad (2.5)$$

โดยที่ Y_H = ยิลด์ของเฮเทอโรโทรป (มก.-วีเอสเอส/มก.-ซีโอดี)

สมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.5 เป็นสมการที่จะนำไปใช้ในโปรแกรม AQUASIM เพื่อการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองต่อไป

2.3.2 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

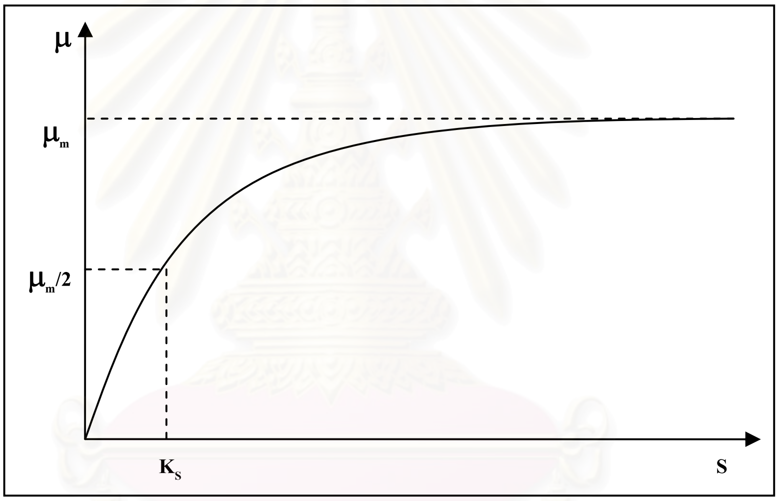
สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์โดยใช้กราฟข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์นั้น มี 4 สมการ ได้แก่ สมการของ Monod, Lineweaver-Burk, Hanes และ Hofstee มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.2.1 สมการของ Monod (Grady, Daigger และ Lim, 1999) เป็นสมการที่ได้จากการทดลอง ได้รับการยอมรับและเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ มีสมการดังนี้

$$u = \frac{1}{x} r_{GX} = \frac{u_m \cdot S}{K_S + S} \tag{2.6}$$

กราฟที่ได้จากสมการที่ 2.6 จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.9 เมื่อหาค่าของ μ_m ในกราฟได้ จะสามารถประมาณค่า K_S ได้โดย K_S เท่ากับค่าความเข้มข้น (S) ที่ทำให้ได้ค่า $\mu = \mu_m/2$

การหาค่า μ_m และ K_S ในรูปแบบนี้ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear relationship)



รูปที่ 2.9 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Monod (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

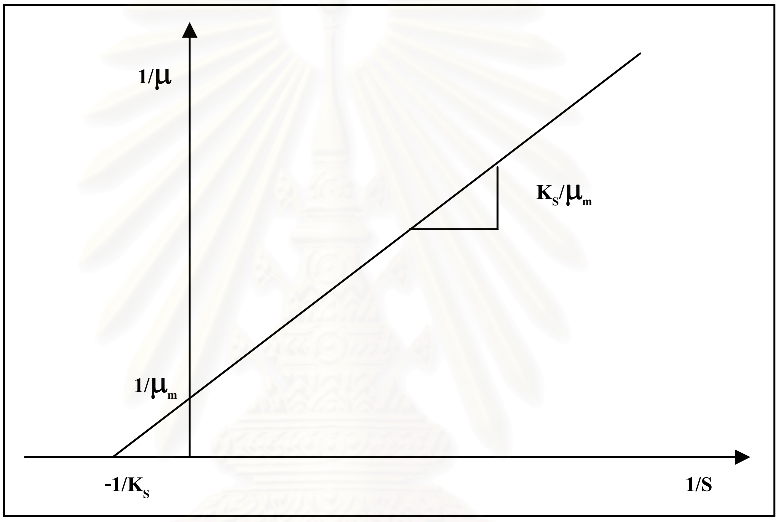
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2.2 สมการของ Lineweaver-Burk (Grady, Daigger และ Lim, 1999) มาจากการนำสมการของ Monod มาหาส่วนกลับ ได้สมการดังนี้ (รูปที่ 2.10)

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{u_m} + \frac{K_S}{u_m} \cdot \left(\frac{1}{S}\right) \tag{2.7}$$

ข้อดี คือ สามารถหาค่าจลนพลศาสตร์ (K_S) ได้จากจุดตัดบนแกน X และค่าความชันของกราฟ

ข้อเสีย คือ ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวที่ไม่ดี โดยไปรวมกลุ่มอยู่แค่สองตำแหน่ง กล่าวคือ ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำจะรวมตัวอยู่ใกล้กับตำแหน่งจุดตัดแกน Y เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูงทำให้การทดลองวิเคราะห์ค่าในบริเวณนี้สามารถหาได้ง่ายและมีความถูกต้องสูง ส่วนข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนสูงจะอยู่ไกลออกไปที่ปลายเส้นกราฟ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ



รูปที่ 2.10 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Lineweaver-Burk (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

2.3.2.3 สมการของ Hanes (Grady, Daigger และ Lim, 1999) สมการนี้มาจากการนำสมการของ Lineweaver-Burk มาปรับแก้ลดความคลาดเคลื่อนของสมการ โดยคูณด้วยค่า S ซึ่งจะได้สมการที่ 2.8 ออกมา

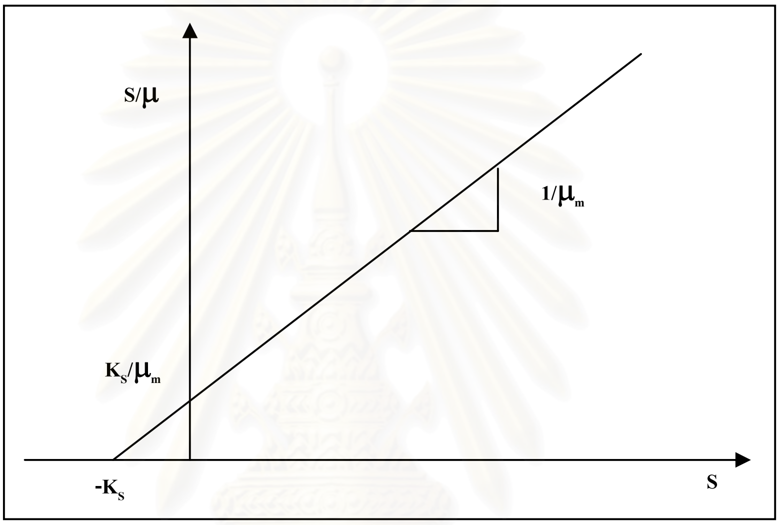
$$\frac{S}{u} = \frac{1}{u_m} \cdot S + \frac{K_s}{u_m} \tag{2.8}$$

สมการนี้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงและให้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น อันเนื่องมาจากการกระจายตัวที่ดีของข้อมูลตลอดเส้นกราฟ โดยไม่ไปรวมตัวตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง กราฟจากสมการนี้

มาจากอัตราส่วนของความเข้มข้นสารอาหารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (S/μ) กับความเข้มข้นสารอาหาร (S) ดังรูปที่ 2.11 การหาค่าจลนพลศาสตร์จากสมการนี้ หาได้จากจุดตัดแกน Y และค่าความชัน

ข้อดี คือ ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี มีความแม่นยำกว่ากราฟของ Lineweaver-Burk และได้ค่าความชันที่ถูกต้องกว่า เมื่อใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างกราฟจะให้ข้อมูลที่ดีขึ้น

ข้อเสีย คือ ค่าที่ได้จากจุดตัดแกน Y อยู่ใกล้จุด (0,0) มากทำให้อ่านค่าจากกราฟได้ยาก แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์สร้างกราฟและทำการถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 2.11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hanes (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

2.3.2.4 สมการของ Hofstee (Grady, Daigger และ Lim, 1999) มาจากการนำสมการของ Monod มาคูณกับพจน์ $(K_S + S)/S$ ได้สมการดังนี้ (รูปที่ 2.12)

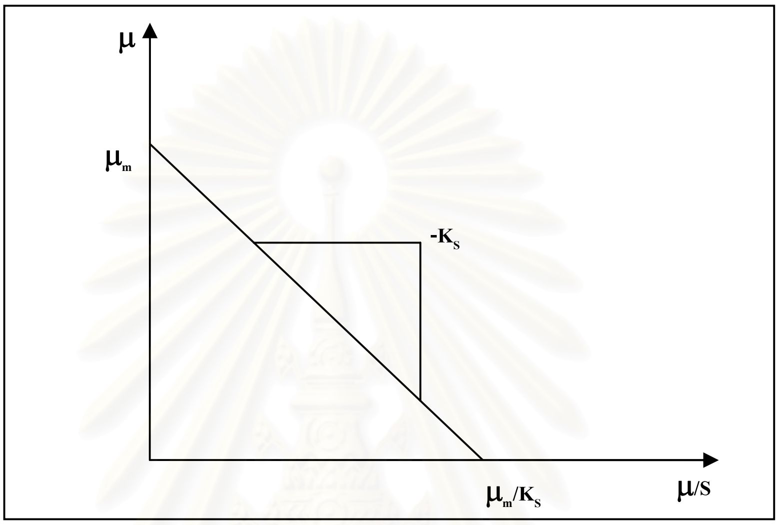
$$u \cdot \left(\frac{K_s + S}{S} \right) = u_m \tag{2.9}$$

จะได้

$$u = u_m - K_s \cdot \left(\frac{u}{S} \right) \tag{2.10}$$

ข้อดีของสมการนี้ คือ ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวดีและสามารถร้างเส้นกราฟได้เอง โดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วย

ข้อเสีย คือ เส้นกราฟที่ได้จะให้ค่าของ μ_m อยู่บนจุดตัดแกน X และ Y ทำให้ใช้คอมพิวเตอร์สร้างการถดถอยเชิงเส้นไม่ได้



รูปที่ 2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hofstee (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

สมการในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ทั้ง 4 สมการนี้ ต่างก็มีข้อดี - เสียแตกต่างกันไป โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกสมการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ สมการของ Monod ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในงานวิจัยอื่นๆ มากมาย อีกทั้งยังเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาสมการอื่นๆ และสมการของ Hanes ซึ่งเป็นสมการที่ผ่านการปรับแก้แล้ว สามารถใช้คอมพิวเตอร์สร้างกราฟและทำการถดถอยเชิงเส้นได้ เมื่อใช้คอมพิวเตอร์สร้างกราฟจะได้กราฟข้อมูลที่ดีและสามารถวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ได้ง่าย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค่าจลนพลศาสตร์ μ_{max} และ K_S มีความหลากหลายมากโดยขึ้นกับชนิดของจุลชีพและสารอาหาร ถ้าเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดเดียวกันในอาหารหลายๆ ชนิดภายใต้สภาวะที่กำหนด พบว่าค่า μ_{max} และ K_S เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารอาหาร ในขณะเดียวกันถ้าเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดต่างๆ

ในอาหารชนิดเดียวกัน ก็จะพบว่าค่า μ_{max} และ K_S เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแบคทีเรีย เรื่องนี้ทำให้การสรุปค่าพารามิเตอร์เป็นไปได้ยากมากและควรระมัดระวังในการใช้ค่าตัวอย่าง (typical) แต่โดยทั่วไปแล้ว สารอาหารที่ย่อยสลายได้เร็ว (readily biodegradable substrate) มีค่า μ_{max} สูงและค่า K_S ต่ำ ขณะที่สารอาหารที่ย่อยสลายได้ช้า (slowly biodegradable substrate) จะมีค่า μ_{max} ต่ำและค่า K_S สูง ยกตัวอย่าง เช่น กรดเบนโซอิกมีค่า μ_{max} ในช่วง 0.61-0.64 hr^{-1} และค่า K_S ในช่วง 4.2-5.8 mg-COD/L ในขณะที่ 2-คลอโรฟีนอลมีค่า μ_{max} ในช่วง 0.020-0.025 hr^{-1} และค่า K_S ในช่วง 16-17 mg-COD/L (Dang J. S. et al, 1989) มีรายงานว่าพบค่า K_S ต่ำๆ ในจำพวกสารอาหารที่ย่อยสลายได้เร็ว เช่น กาแลคโตสมีค่า K_S 0.2 mg-COD/L และกรดกลูตามิคมีค่า K_S 0.5 mg-COD/L เป็นต้น (Chudoba J. et al, 1985)

น้ำเสียโดยปกติจะประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายๆ ชนิด โดยอาศัยหน่วยความเข้มข้นซีโอดีแทนความเข้มข้นโดยรวม ยกตัวอย่างเช่น น้ำเสียจากฟาร์มสัตว์ปีกและฟาร์มถั่วเหลืองรวมกันมีค่า K_S 500 mg-COD/L (Jordon W. L. et al, 1971) น้ำเสียชุมชนเป็นตัวอย่างที่ดีของสารที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายๆ ชนิดและสามารถพบเห็นได้ทั่วไป มีรายงานว่าค่า μ_{max} ของน้ำเสียชุมชนอยู่ในช่วง 0.12-0.55 hr^{-1} และค่า K_S ในช่วง 10-180 mg-COD/L (Henze M. et al, 1987)

Pala A. และ Tokat E. (2002) ทำการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์และหาตัวดูดซับที่ช่วยในการบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผ้าฝ้าย โดยตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ specific organic flocculant (Marwichem DEC), powdered activated carbon (PAC), bentonite, activated clay และ commercial synthetic inorganic clay (Macrosorb) ซึ่งนำไปใช้ในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ศึกษาหาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งจากตัวดูดซับและสีสังเคราะห์ และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบและค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียอุตสาหกรรมผ้าฝ้าย

ในส่วนของการทดลองจะทำการวิเคราะห์ต่างๆ ดังนี้ ซีโอดีและสีของน้ำเสียขาเข้า-ออก, MLSS, TSS, pH, DO และอุณหภูมิ ส่วนการทดสอบตัวดูดซับพบว่า DEC และ PAC มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดสี และการหาค่าจลนพลศาสตร์อาศัยโปรแกรม SPSS 6.0 โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_C$ กับ q เพื่อหาค่า Y และ k_d และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ $1/q$ เพื่อหาค่า K_S และ k ส่วนค่า μ_{max} ได้จาก $\mu_{max} = kY$ ซึ่งจะได้ค่าจลนพลศาสตร์ ดังนี้

Y	= 0.76 mg MLSS/mg COD	k_d	= 0.026 d^{-1}
K_S	= 113.3 g COD/m^3	μ_{max}	= 0.32 d^{-1}

จากการทดลองทั้งหมด พบว่า DEC และ PAC มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดสี โดย DEC 120 mg/l สามารถบำบัดสีได้ 78% ส่วน PAC 200 mg/l สามารถบำบัดสีได้ 77% แต่จะมีปัญหาทำให้ TSS เพิ่มขึ้นในระบบบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ DEC ไม่เกิดปัญหาดังกล่าวซึ่งเป็นข้อดีที่สำคัญมาก

Nuhoglu A., Keskinlerb B. และ Yildiz E. (2005) ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงบำบัดน้ำเสียเมือง Erzincan ซึ่งตั้งอยู่ทางตะวันออกของประเทศตุรกี โดยใช้แบบจำลองระบบเอเอส 1 ร่วมกับโปรแกรม GPS-X

จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ศึกษาสมบัติของน้ำเสียที่เข้าบำบัดในโรงบำบัดน้ำเสียเมือง Erzincan
2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงบำบัดโดยใช้โปรแกรม GPS-X และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จริง

ในงานวิจัยส่วนที่หนึ่ง ทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้ ซีโอดีทั้งหมด (TCOD), ซีโอดีละลายน้ำ (sCOD), ไนเตรท (NO_3-N), แอมโมเนีย (NH_3-N), สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-N), ไนโตรเจนทั้งหมด (TN), ของแข็งแขวนลอย (MLSS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (MLVSS), ปริมาณสารอาหารย่อยสลายง่าย (S_S), ปริมาณสารอาหารย่อยสลายยาก (X_S) และปริมาณสารอาหารละลายน้ำได้ยาก (S_I)

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในส่วนที่หนึ่งและข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบตะกอนเร่งจะถูกป้อนเข้าโปรแกรม GPS-X เพื่อสร้างแบบจำลองระบบตะกอนเร่ง นอกจากนี้ ยังทำการปรับแก้แบบจำลองให้มีความแม่นยำมากขึ้นโดยปรับแก้ที่ค่าจลนพลศาสตร์จากแบบจำลองเอเอสเอ็ม 1 ได้ดังนี้

ค่าจลนพลศาสตร์ที่ผ่านการปรับแก้แล้ว

$\mu_{max,h}$ = 5.5 d^{-1} $\quad$ $\mu_{max,a}$ = 0.19 d^{-1}

K_S = 35 g COD/m^3 $\quad$ K_{NH} = 2.5 g N/m^3

จากการทดสอบแบบจำลองที่ผ่านการปรับค่าแล้ว โดยนำค่าที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่าพารามิเตอร์ที่ได้ผลที่ดี ได้แก่ ซีโอดีทั้งหมด, ของแข็งแขวนลอยที่เวียนกลับเข้าระบบ, ไนโตรเจนทั้งหมด และสารอินทรีย์ไนโตรเจน ส่วนพารามิเตอร์ที่ได้ผลที่ไม่ดี ได้แก่ ซีโอดีละลายน้ำและของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ

แบบจำลองของโรงบำบัดน้ำเสียเมือง Erzincan จากโปรแกรม GPS-X ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยทำการปรับค่าจลนพลศาสตร์เพียง 4 ค่า และหวังว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในอนาคตต่อไป

Pala A. และ Bölükbas Ö. (2005) ทำการศึกษาการกำจัดบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบแบตช์และหาค่าจลนพลศาสตร์ จุดประสงค์หลักของงานวิจัย ได้แก่ การหาค่าจลนพลศาสตร์ (Y, k_d, μ_{max} และ K_S) และอัตราของปฏิกิริยา Nitrification และ Denitrification โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบตช์ในการออกแบบระบบ NDBPR (nitrification–denitrification–biological phosphorus removal)

ในงานวิจัยได้ทำการทดลองหาสมบัติของสลัดจ์ (Sludge characterization tests) ได้แก่ การทดสอบการปล่อยฟอสฟอรัสในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic P release test), การทดสอบการรับฟอสฟอรัส (Aerobic P uptake test), การทดสอบการรับฟอสฟอรัสในสภาวะแอน็อกซิก (Anoxic P uptake test), การทดสอบหาปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น (Nitrification and denitrification tests) สำหรับการหาค่าจลนพลศาสตร์ (ค่า Y และ k_d) จะสร้างระบบจำลองโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบตช์และใช้สภาวะการเดินระบบแบบเดียวกันกับโรงบำบัดน้ำเสีย Izmir วัดค่าซีโอดีและเอ็มแอลวีเอสเอสที่เวลา 0 – 24 ชม. และสร้างกราฟหาค่าความชัน (Y และ k_d) ส่วนพารามิเตอร์ที่เหลือ (ค่า μ_{max} และ K_S) หาได้จากสมการ Monod ซึ่งมีค่าดังนี้

Y	= 0.7 mg-VSS/mg-COD	k_d = 0.0022 h^{-1}
μ_{max}	= 0.047 h^{-1}	K_S = 343 mg-COD/L
q_N	= 6.87 x 10^{-4} mg-N/mg-VSS/h	q_D = 3.36 x 10^{-4} mg-N/mg-VSS/h

ซึ่งค่าจลนพลศาสตร์จากการทดลองเหมาะสำหรับการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนเท่านั้น แต่ไม่เหมาะสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัสเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นจะยับยั้งการรับฟอสฟอรัส (P uptake) ของแบคทีเรีย อย่างไรก็ตาม การหาค่าจลนพลศาสตร์และการทดสอบสมบัติของสลัดจ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผน, ออกแบบ และจำลองระบบของโรงบำบัดน้ำเสียต่อไปในอนาคต

ชลธิพร สุทธิธรรม (2007) ทำการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียดินแดงโดยใช้โปรแกรม AQUASIM ร่วมกับแบบจำลองระบบเอเอส 1 ในการสร้างแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียดินแดงและวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

ในงานวิจัยทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ น้ำเสียในการทดลองนำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงและบ่อเกรอะของอาคาร 22 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำ

การทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียตั้งแต่ 60 ถึง 200 mg-COD/L และความเข้มข้นจุลชีพเริ่มต้นที่ 100 และ 710 mg-VSS/L ผลการทดลองได้ค่าจลนพลศาสตร์ ดังนี้

Y = 0.43 mg-VSS/mg-COD K_S = 41.34 mg-COD/L

μ_{max} = 3.96 d^{-1}

ผลการทดลองที่ได้มีความผิดพลาดมาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 10 ของความเข้มข้นเริ่มต้น การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบบำบัดน้ำเสียดินแดงโดยใช้ค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้ พบว่าค่าซีโอดีที่จำลองได้มีค่าต่ำกว่าที่วัดได้จริงจากโรงบำบัด ซึ่งคาดว่าสาเหตุอาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้าหลุดออกจากระบบไปกับน้ำทิ้ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้โปรแกรม AQUASIM ร่วมกับแบบจำลองระบบเอเอสเอ็ม 1 ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ให้ผลเป็นที่น่าพอใจและใช้งานได้เป็นอย่างดี

ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าค่า μ_{max} อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.32-15.36 d^{-1} และค่า K_S อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.2-500 mg/L จะนำมาเปรียบเทียบผลกับค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแตกต่างที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าจลนพลศาสตร์ที่ใช้เปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 2.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 ค่าจลนพลศาสตร์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจ้าของงานวิจัย	สมบัติของน้ำเสีย	ค่าจลนพลศาสตร์
Henze M. et al (1987)	น้ำเสียชุมชน	μ_{max} = 2.88-13.2 d^{-1} K_S = 10-180 mg/l
Dang J. S. et al (1989)	กรดเบนโซอิก 2-คลอโรฟีนอล	μ_{max} = 14.64-15.36 d^{-1} K_S = 4.2-5.8 mg/l μ_{max} = 0.48-0.6 d^{-1} K_S = 16-17 mg/l
Grady Jr. C. P. L. et al (1999)	น้ำเสียชุมชน 20 °C	μ_{max} = 6 d^{-1} K_S = 20 mg/l Y = 0.6 mg-VSS/mg-COD k_d = 0.40 d^{-1}
Pala A. และ Tokat E. (2002)	น้ำเสียอุตสาหกรรมผ้าฝ้าย COD = 400-600 mg/l 20-25 °C	μ_{max} = 0.32 d^{-1} K_S = 113.3 mg/l Y = 0.76 mg-VSS/mg-COD k_d = 0.026 d^{-1}
Metcalf L. และ Eddy H. P. (2004)	น้ำเสียชุมชน COD = 430 mg/l 20 °C	μ_{max} = 2 d^{-1} K_S = 40 mg/l Y = 0.4 mg-VSS/mg-COD k_d = 0.10 d^{-1}
Nuhoglu A., Keskinlerb B. และ Yildiz E. (2005)	น้ำเสียชุมชน COD = 335-664 mg/l 20 °C	$\mu_{max,h}$ = 5.5 d^{-1} K_S = 35 g COD/m^3
Pala A. และ Bölükbas Ö. (2005)	น้ำเสียชุมชน COD = 266-800 mg/l 20 °C	μ_{max} = 1.128 d^{-1} K_S = 343 mg/l Y = 0.7 mg-VSS/mg-COD k_d = 0.053 d^{-1}
ชลธิพร สุทธิธรรม (2007)	น้ำเสียชุมชน COD = 60-200 mg/l 30 °C	μ_{max} = 3.96 d^{-1} K_S = 41.34 mg/l Y = 0.43 mg-VSS/mg-COD

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

เนื่องจากน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนครมีของแข็งแขวนลอยสูงและไม่มีบ่อตกตะกอนขั้นที่หนึ่ง ทำให้วิเคราะห์แยกปริมาณจุลชีพออกจากตะกอนในถังเติมอากาศไม่ได้ การแก้ปัญหาจึงทำโดยวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยแยกออกจากของแข็งละลายน้ำ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ การกำหนดขอบเขตการทดลอง ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AQUASIM จำลองการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอาหารเทียบกับเวลา โดยใช้ค่าจลนพลศาสตร์ทั่วไป (Grady, 1999) เพื่อหาระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 คือ การทดลองและวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ ใช้น้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมนวนครและน้ำเสียที่ผ่านการต้มเพื่อให้ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยแยกของแข็งละลายน้ำกับของแข็งแขวนลอย เพื่อวิเคราะห์หาค่า Y_H, μ_m, K_S, b_H และ k_d รวมทั้งหาค่า nbCOD ของน้ำเสีย ตะกอนจุลชีพ และตะกอนของแข็ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟสมการของ Monod เปรียบเทียบกับสมการของ Hanes

ขั้นตอนที่ 3 คือ การสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียและเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้ ใช้โปรแกรม AQUASIM สร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนคร โดยกำหนดตัวแปรของปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัด และนำค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้รวมทั้งตัวแปรต่างๆ ป้อนลงในแบบจำลอง เพื่อจำลองกราฟค่าซีโอดีที่เข้าและออกจากระบบบำบัด จากนั้น นำข้อมูลค่าซีโอดีของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ออกจากโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนคร ที่ได้จากการเก็บน้ำตัวอย่างที่ออกจากระบบและผลตรวจวัดในรอบ 1 ปี นำมาเปรียบเทียบกับกราฟที่จำลองได้

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
2. พีเอชมิเตอร์ (pH meter)
3. ขวดน้ำพลาสติกปริมาตร 2 ลิตร
4. เครื่องเติมอากาศพร้อมสายยางและหัวจ่ายอากาศ
5. ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Drying Oven)
6. กระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.
7. ขวดกรอง (Membrane Filter Funnel)
8. หลอดทดลอง
9. ปั้มสุญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดสุญญากาศขนาด 1,000 มล.
10. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
11. เตาไฟฟ้า
12. ขาตั้งใส่หลอดแก้ว
13. บิวเรต
14. ปิเปต
15. เครื่องคอมพิวเตอร์
16. โปรแกรม AQUASIM v. 2.1b
17. โปรแกรม Microsoft Excel 2007
18. โปรแกรม SPSS v. 11.5

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เข้มข้น 0.1 N
2. สารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)
3. สารละลายมาตรฐานเฟรัสแอมโมเนียซัลเฟต (FAS) 0.10 N
4. สารละลายเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ (Ferroin Indicator)
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
6. กรดซัลฟุริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

วิธีการวิเคราะห์หรืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์หรืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์/อุปกรณ์ในการวิเคราะห์
1. อุณหภูมิ (Temp)	เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
2. พีเอช (pH)	พีเอชมิเตอร์ (pH meter)
3. ของแข็งแขวนลอย (MLSS)	Standard Method 2540 D
5. ซีโอดี (COD)	Closed reflux method (Standard Method 5220 C)

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การทดลองขั้นที่ 1 การกำหนดขอบเขตการทดลอง

1. กำหนดค่าซีโอดีเริ่มต้นในการทดลอง 6 ค่า โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์สมบัติน้ำเสียในตารางที่ 2.5, 2.6 และ 2.7

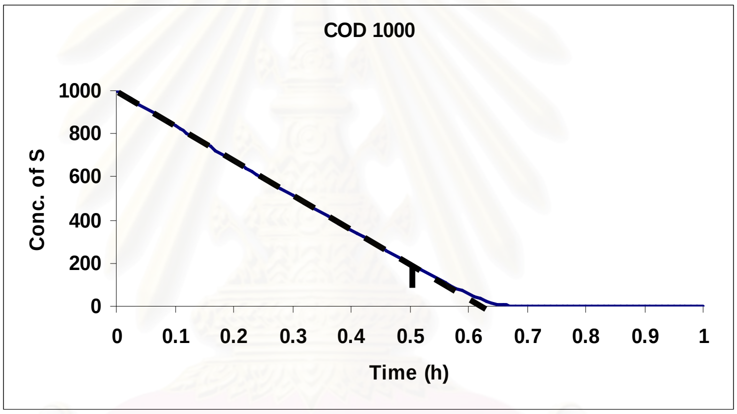
2. แบ่งการทดลอง 6 ชุด โดยใช้ค่าซีโอดีเริ่มต้น ได้แก่ 1000, 500, 250, 100, 50 และ 25 มก./ล.

3. หาระยะเวลา (t) ที่เหมาะสมที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในการทดลองแต่ละชุด โดยใช้โปรแกรม AQUASIM จำลองการย่อยสลายของค่าซีโอดีดังสมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.5 โดยใช้ค่าจลนพลศาสตร์จาก Grady ในตารางที่ 2.10 ได้แก่ K_S เท่ากับ 20 มก./ล., Y_H เท่ากับ 0.6, μ_{mH} เท่ากับ 0.25 ชม.$^{-1}$ และ k_d เท่ากับ 0.0167 ชม.$^{-1}$ โดยค่าซีโอดีที่กำหนดจากข้อ 2 นั้นนำมาใส่เป็นค่า S_S เริ่มต้นลงในโปรแกรมเพื่อจำลองกราฟของการทดลองแต่ละชุด จากนั้น หาค่าความเข้มข้นของจุลชีพเริ่มต้นที่เหมาะสมกับช่วงเวลาของการทดลองและทำให้ความเข้มข้นจุลชีพเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นค่อนข้างคงที่

4. แบ่งช่วงเวลาที่ได้จากกราฟซึ่งจำลองโดยโปรแกรม AQUASIM ออกเป็น 5 ช่วง เพื่อใช้วิเคราะห์ค่าซีโอดีที่เวลานั้นๆ ทั้งหมด 6 ค่าในหนึ่งชุดการทดลอง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระยะที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุดจากโปรแกรม AQUSIM

ชุดการทดลอง	ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	X เริ่มต้น (มก./ล.)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	1000	2000	30
2	500	1100	30
3	250	530	36
4	100	220	29
5	50	90	30
6	25	45	36



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างรูปที่ได้จากโปรแกรม AQUSIM เพื่อใช้หาเวลาที่เหมาะสมในการทดลอง

3.4.2 การทดลองขั้นที่ 2 การทดลองและวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

3.4.2.1 การหาค่า μ_m และ K_S มีขั้นตอนดังนี้

1. แยกน้ำเสียดิบออกจากตะกอนโดยใช้กระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำน้ำเสียส่วนหนึ่งไปต้มจนได้ค่าซีโอดีประมาณ 1000 มก./ล.

2. แบ่งน้ำเสียจริงและต้มอย่างละ 6 ชุดการทดลอง

3. ปรับค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ซีโอดีทั้ง 6 ชุด ให้เท่ากับค่าซีโอดีเริ่มต้นตามที่กำหนดไว้ โดยเจือจางด้วยน้ำดื่ม

4. ใช้ขวดน้ำพลาสติกใสปริมาตร 2 ลิตร เป็นถังปฏิกิริยาแบบแบตซ์ โดยตัดก้นขวดออกแล้วคว่ำลงและเติมอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศที่ต่อกับเครื่องเติมอากาศ

5. นำน้ำเสียที่ปรับค่าซีโอดีแล้วประมาณ 1 ลิตร เทลงในถังปฏิกิริยาพร้อมกับเชื้อจุลชีพที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการและเปิดเครื่องเติมอากาศ

6. เก็บน้ำเสียเทียบกับเวลาที่ความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 25, 50, 100, 200, 500 และ 1000 มก./ล. จนได้ค่าซีโอดีคงที่ (ประมาณ 0.5 ถึง 1 ชั่วโมง)

7. ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียตัวอย่างให้มีค่าไม่เกิน 2 ทันทีที่เก็บมาจากถังปฏิกิริยาด้วยกรดซัลฟุริก เพื่อหยุดปฏิกิริยาทางชีวภาพในน้ำเสีย

8. วิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยวิธี Closed reflux ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

9. สร้างกราฟเส้นของค่าซีโอดีเทียบกับเวลา โดยกราฟมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 จากนั้น หาความชันของกราฟในการทดลองแต่ละชุด ค่าความชันที่ได้ คือ ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา (r_S)

10. นำไปคูณกับค่า Y_H แล้วหารด้วยค่า X ของการทดลองในแต่ละชุดจะได้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแต่ละชุดการทดลอง

11. นำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและค่าซีโอดีเริ่มต้นของแต่ละการทดลองไปวิเคราะห์ค่า μ_m และ K_S โดยใช้สมการของ Monod ดังรูปที่ 2.9 และสมการของ Hane ดังรูปที่ 2.11

3.4.2.2 การหาค่ายิลด์ของเฮเทอโรโทรป (Y_H) มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียจริงที่มีค่าซีโอดีตามค่าที่เลือกไว้ในข้อ 4.4.1

2. เทน้ำเสียตัวอย่างลงในถังปฏิกิริยาพร้อมกับเชื้อจุลชีพประมาณ 1 มล.

3. เก็บน้ำก่อนเติมอากาศ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (TCOD) ส่วนที่สองกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C นำน้ำใสไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี (sCOD)

4. เติมอากาศอย่างน้อย 3 วัน เพื่อให้ค่าซีโอดีถูกย่อยสลายจนเกือบหมด

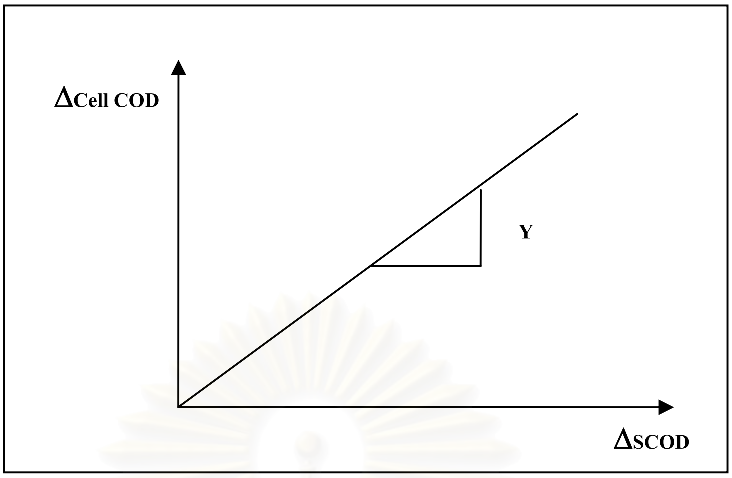
5. เก็บน้ำตัวอย่างของทุกชุดการทดลองมาวิเคราะห์เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3

6. หาค่าเซลล์ซีโอดีของน้ำเสียในข้อ 3 และข้อ 6 จากสมการที่ 3.1

$$\text{CellCOD} = \text{TCOD} - \text{sCOD} \tag{3.1}$$

โดยที่ TCOD = ปริมาณซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสีย (มก./ล.)
sCOD = ปริมาณซีโอดีละลายน้ำในน้ำเสีย (มก./ล.)

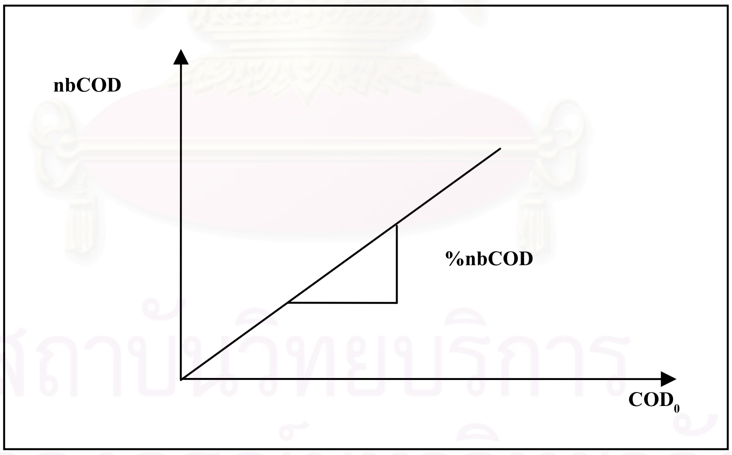
7. สร้างกราฟระหว่างผลต่างของเซลล์ซีโอดี (ΔCellCOD) กับผลต่างของซีโอดีละลาย (ΔsCOD) ซึ่งจะได้กราฟดังรูปที่ 3.2 ค่าความชันที่ได้จากกราฟ คือ ค่ายิลด์ของจุลชีพ



รูปที่ 3.2 การประมาณค่ายิลด์ของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป

3.4.2.3 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (nbCOD) มีขั้นตอนดังนี้

นำข้อมูลค่าซีโอดีคงเหลือของการทดลอง 3.4.2.1 สร้างกราฟระหว่างค่าซีโอดีเริ่มต้นกับค่าซีโอดีคงเหลือของแต่ละชุดการทดลอง ได้กราฟดังรูปที่ 3.3 ค่าความชันจากกราฟ คือ สัดส่วน nbCOD/ TCOD



รูปที่ 3.3 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ

3.4.2.4 การหาสัดส่วน CellCOD/MLSS และ nsCOD/MLSS มีขั้นตอนดังนี้

1. นำจุลชีพจากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการมาเจือจางความเข้มข้นเป็น 125, 250, 500, 1,000 และ 2,000 มก.-เอ็มแอลเอสเอส/ล. และนำตะกอนจากการตกตะกอนน้ำเสียจริงมา

เจือจางความเข้มข้นเป็น 625, 1250, 2500, 5,000 และ 10,000 มก.-เอ็มแอลเอสเอส/ล.

2. นำจุลชีพและตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปหาค่าซีโอดี

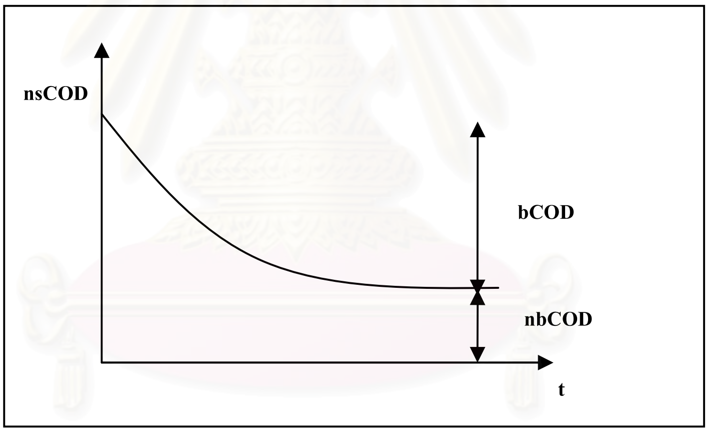
3. สร้างกราฟหาค่าความชัน ระหว่างค่าซีโอดีกับความความเข้มข้นของตะกอนแต่ละชนิด

3.4.2.5 การหาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในถังเติมอากาศ (b_H) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตะกอนจากถังเติมอากาศมาปรับความเข้มข้นเป็น 5,000 มก.-เอ็มแอลเอสเอส/ล. แล้วเติมอากาศในถังปฏิกิริยาแบบแบตซ์

2. เก็บน้ำเสียตัวอย่างเทียบกับเวลา แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีจนได้ค่าคงที่

3. นำข้อมูลมาสร้างกราฟระหว่าง nsCOD ของตะกอนในถังเติมอากาศกับเวลา ดังรูปที่ 3.4 แล้วใช้โปรแกรม SPSS หาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



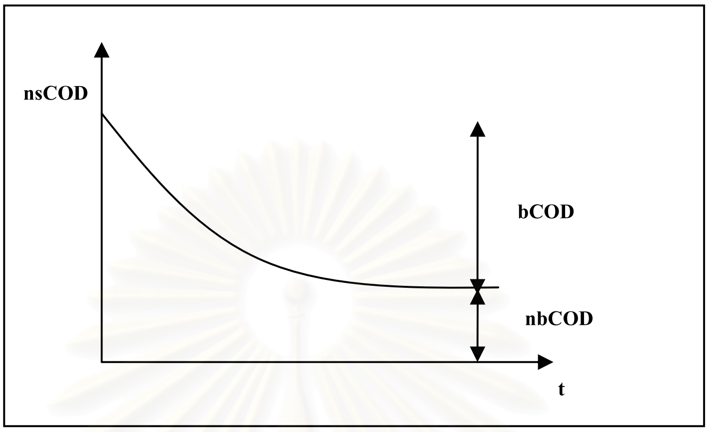
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง nsCOD ของตะกอนในถังเติมอากาศกับเวลา

3.4.2.6 การหาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า (k_d) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตะกอนในน้ำเสียขาเข้ามาปรับความเข้มข้นเป็น 5,000 และ 10,000 มก.-เอ็มแอลเอสเอส/ล. แล้วเติมอากาศในถังปฏิกิริยาแบบแบตซ์

2. เก็บน้ำเสียตัวอย่างเทียบกับเวลา แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีจนได้ค่าคงที่

3. นำข้อมูลมาสร้างกราฟระหว่าง nsCOD ของตะกอนในน้ำเสียขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 3.5 แล้วใช้โปรแกรม SPSS หาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง nsCOD ของตะกอนในน้ำเสียขาเข้ากับเวลา

3.4.3 การทดลองขั้นที่ 3 การสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียและเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้ มีดังนี้

3.4.3.1 การสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมนวนครโดยโปรแกรม AQUASIM มีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลการเดินระบบบำบัดและสมบัติน้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมนิคมอุตสาหกรรมนวนครรวมทั้งค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ μ_m, K_S, Y_H, b_H และ k_d มาใช้เป็นตัวแปรต่างๆ ในโปรแกรมเพื่อจำลองระบบบำบัดของนิคมอุตสาหกรรมนวนคร

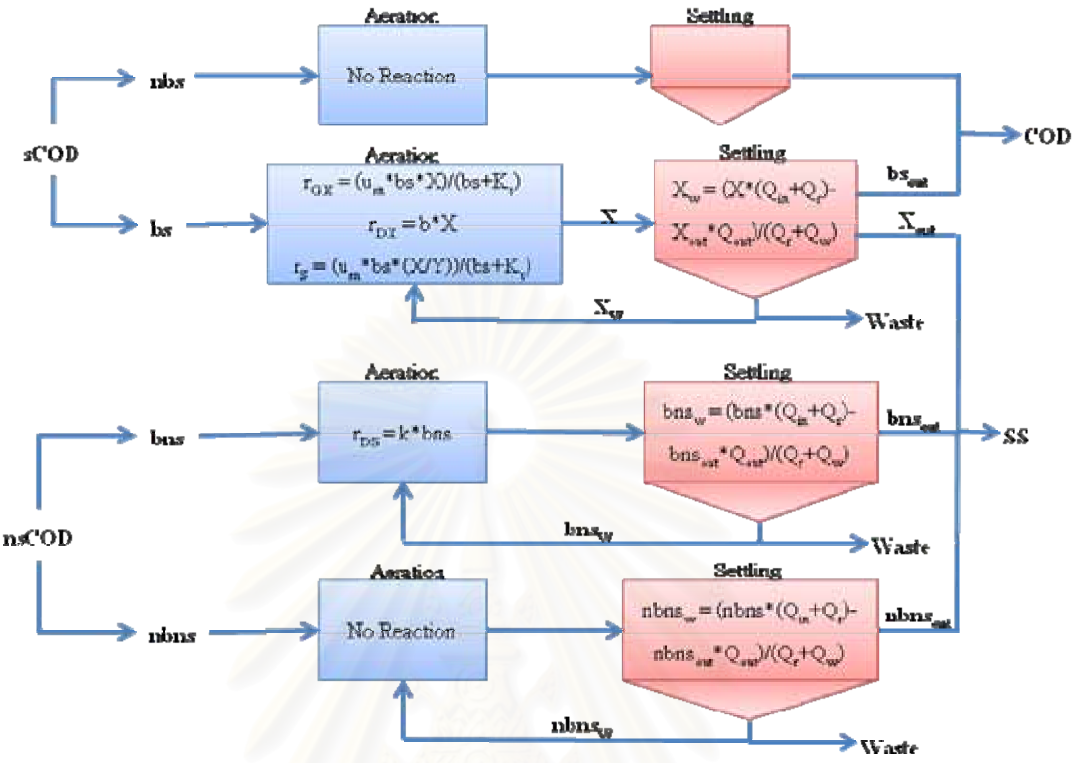
2. เลือกหน่วยบำบัด 1 ชุด ที่ประกอบด้วยถังเติมอากาศ 1 ถัง และถังตกตะกอน 2 ถัง ในการสร้างแบบจำลอง โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วน ดังแผนผังของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแบบจำลองในรูปที่ 3.6

3. ให้โปรแกรมจำลองกราฟค่าซีโอดีขาเข้าและขาออก ดังรูปที่ 3.7

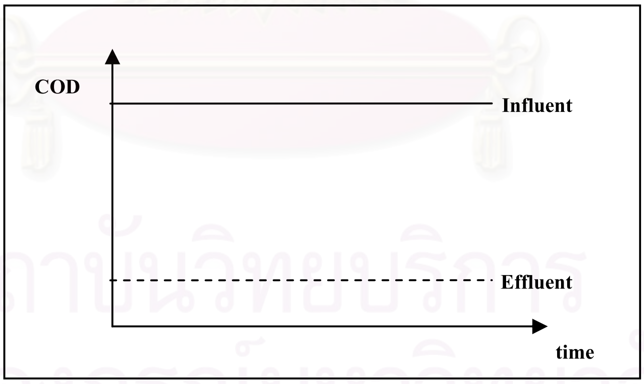
4. นำข้อมูลค่าซีโอดีของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมนวนครที่เข้า - ออกจากผลการตรวจวัดในรอบ 1 ปี เปรียบเทียบกับกราฟค่าซีโอดีที่จำลองมาจากโปรแกรม

3.4.3.2 การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

นำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับค่าจลนพลศาสตร์ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามตารางที่ 2.10



รูปที่ 3.6 แผนผังปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง



รูปที่ 3.7 กราฟจำลองปริมาณซีโอดีขาเข้าและขาออกจากโปรแกรม AQUASIM

บทที่ 4

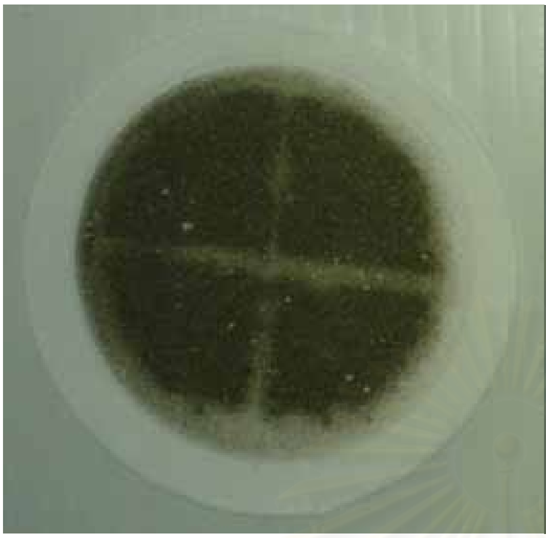
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่เก็บมาจากรางวัดอัตราการไหล พบว่ามีลักษณะใสไม่มีสี ขุ่น และมีตะกอนสีดำขนาดต่างๆ ทั้งแขวนลอยและตกตะกอนอยู่ในน้ำเสีย เมื่อนำน้ำเฉพาะส่วนใสไปกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร พบว่าน้ำเสียมีความขุ่นลดลงแสดงว่าความขุ่นที่เห็นเกิดจากอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก และเมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการกรองไปต้มเพื่อเพิ่มความเข้มข้นค่าซีโอดีให้ได้ประมาณ 1,000 มก./ล. โดยน้ำเสียต้ม 1 ลิตร ต้องใช้น้ำเสียจริง 4-6 ลิตร พบว่าน้ำเสียเปลี่ยนสีไปเป็นสีเขียวใสและพบตะกอนสีเขียวทั้งที่ก่อนต้มไม่มีตะกอน ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของน้ำเสียจริงและต้มจากโรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนครดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าพีเอชเมื่อผ่านการต้มเพิ่มขึ้นจาก 6.80 เป็น 9.49 อาจเป็นเพราะความร้อนทำให้อินทรีย์ไนโตรเจน ที่อยู่ในน้ำเสียเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ค่าซีโอดีของน้ำเสียต้มเมื่อผ่านการกรองอยู่ที่ 957.00 - 991.80 มก./ล. เพิ่มขึ้นจากน้ำเสียจริงหลังกรองซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้น 281.60 - 299.20 มก./ล. ประมาณ 3.25 เท่า และจากข้อมูลสมบัติน้ำเสียในตารางที่ 2.5 พบว่า BOD_5 : N : P มากกว่า 100: 5 : 1 ดังนั้น การทดลองในขั้นต่อๆ ไปจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหาร ส่วนน้ำเสียต้มมีค่าทีเคเอ็นประมาณ 86.56 มก.-ไนโตรเจน/ล. และฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 14.14 มก.-ฟอสฟอรัส/ล.

ก. ข. ค.

รูปที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียดิบ (ก.) น้ำเสียที่ผ่านการกรอง (ข.) และน้ำเสียต้มที่ผ่านการกรอง (ค.)



ก. ข.

รูปที่ 4.2 ตะกอนในน้ำเสียจริง (ก.) และน้ำเสียต้ม (ข.)

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของน้ำเสียจริงและน้ำเสียต้ม

พารามิเตอร์	น้ำเสียจริงหลังกรอง	น้ำเสียต้มหลังกรอง
พีเอช	6.80	9.49
อุณหภูมิ (° ซ) ขณะทำการทดลอง	29.00	29.00
ค่าซีโอดีละลายน้ำ (มก./ล.)	281.60 - 299.20	957.00 - 991.80

หมายเหตุ: อุณหภูมิที่ใช้ต้มน้ำเสียประมาณ 75-90 ° ซ

4.2 การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ของตัวอย่างน้ำเสียจริงจากกราฟข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ซีโอดีเทียบกับเวลาแสดงดังรูปที่ 4.3 ค่าซีโอดีของทุกชุดการทดลองลดลงและเริ่มคงที่เมื่อการทดลองผ่านไป 180-300 นาที ซึ่งกราฟส่วนใหญ่มีอัตราการย่อยสลายเป็นเส้นตรงในช่วง 30 นาทีแรก ซึ่งนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่า μ_m และ K_S โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 โดยค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะหาจากค่าอัตราการย่อยสลายคูณกับค่ายิลด์แล้วหารด้วยค่าความเข้มข้นของจุลชีพ ($\mu = r_S Y/X$) หลังจากนั้น สร้างกราฟตามสมการของ Monod จากค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะและค่าซีโอดีที่ย่อยสลายเริ่มต้น ดังรูปที่ 4.4 แล้วใช้โปรแกรม SPSS หาค่า μ_m และ K_S ได้เท่ากับ 9.92 ± 1.91 มก.-ซีโอดี/มก.-เอ็มแอลเอสเอส·วัน และ 88.9 ± 38.5 มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ และ

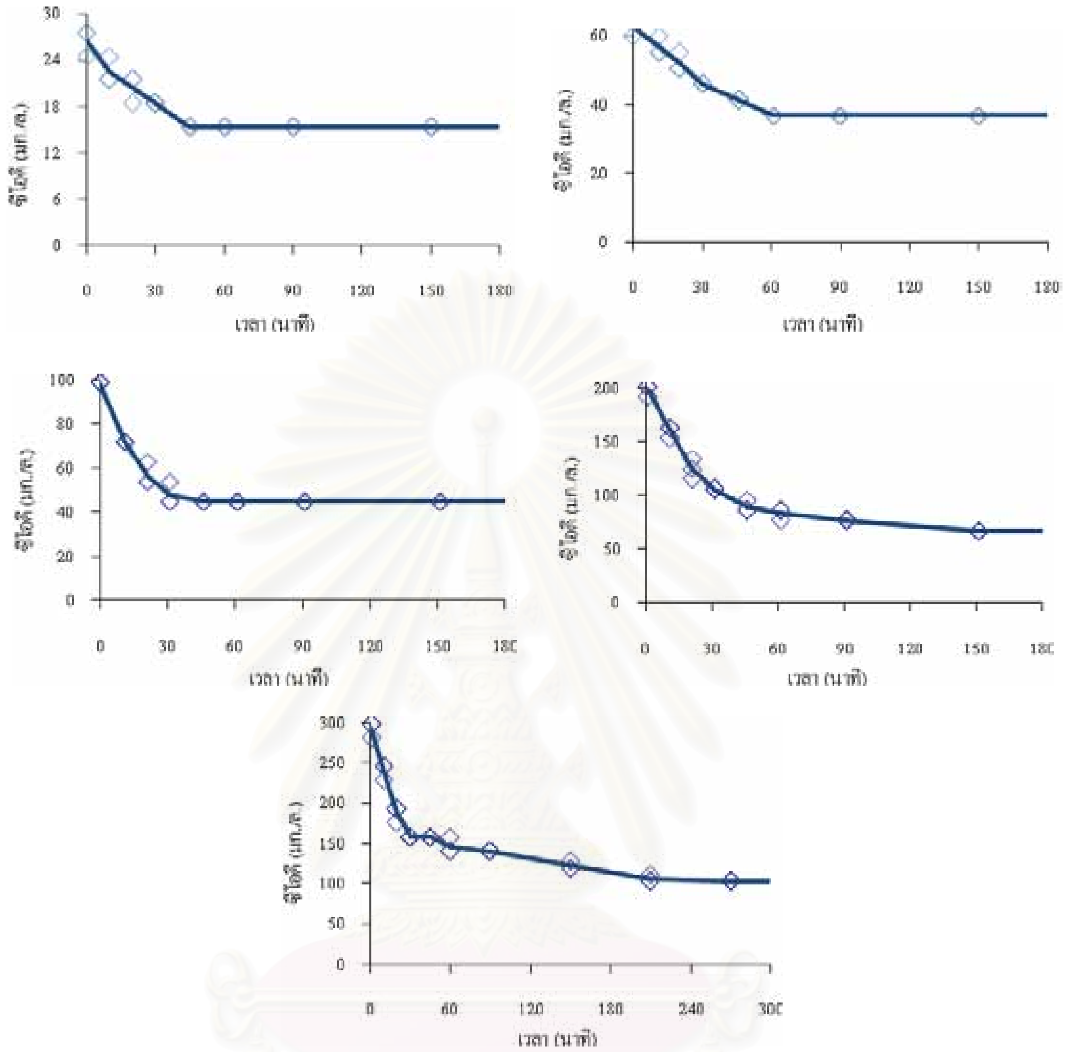
เมื่อนำข้อมูลชุดเดียวกับที่สร้างกราฟจากสมการของ Monod ไปหาค่าจลนพลศาสตร์จากสมการของ Hanes ดังรูปที่ 4.4 ได้ค่า μ_m และ K_S เท่ากับ 11.0 มก.-ซีโอดี/มก.-เอ็มแอลเอสเอส·วัน และ 118 มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจากการวิเคราะห์กราฟซีโอดีเทียบกับเวลาของน้ำเสียจริง

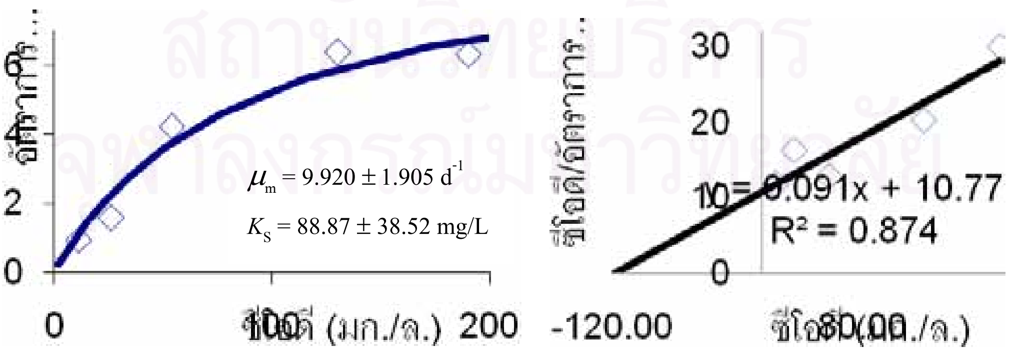
ตัวแปร	**ชุดการทดลอง**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
พีเอช	7.75	7.40	7.20	6.90	6.80
ค่าซีโอดีเริ่มต้น (มก.-ซีโอดี/ล.)	26.6	62.9	99.0	197	293
ค่าซีโอดีที่ย่อยสลาย (มก.-ซีโอดี/ล.)	11.3	26.1	54.0	129.8	190
ค่าซีโอดีคงเหลือ (มก.-ซีโอดี/ล.)	15.3	36.8	45.0	67.2	103
จุลชีพที่ใช้ (มก.-เอ็มแอลเอสเอส/ล.)	247	308	356	438	646
อัตราการย่อยสลาย (มก.-ซีโอดี/วัน)	-382	-802	-2362	-4522	-6768
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (มก.-ซีโอดี/มก.-เอ็มแอลเอสเอส·วัน)	0.95	1.59	4.21	6.38	6.32
ค่ายิลด์ของจุลชีพ (มก.-เซลล์ซีโอดี/มก.-ซีโอดี)	0.62				

หมายเหตุ: ใช้จุลชีพที่ได้จากการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ปฏิกิริยาทางชีวภาพของน้ำเสียจริง (◊, ค่าวิเคราะห์; –, ค่าเฉลี่ย)



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์น้ำเสียจริงจากสมการ Monod และ Hanes

(◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ของตัวอย่างน้ำเสียต้มจากกราฟข้อมูล

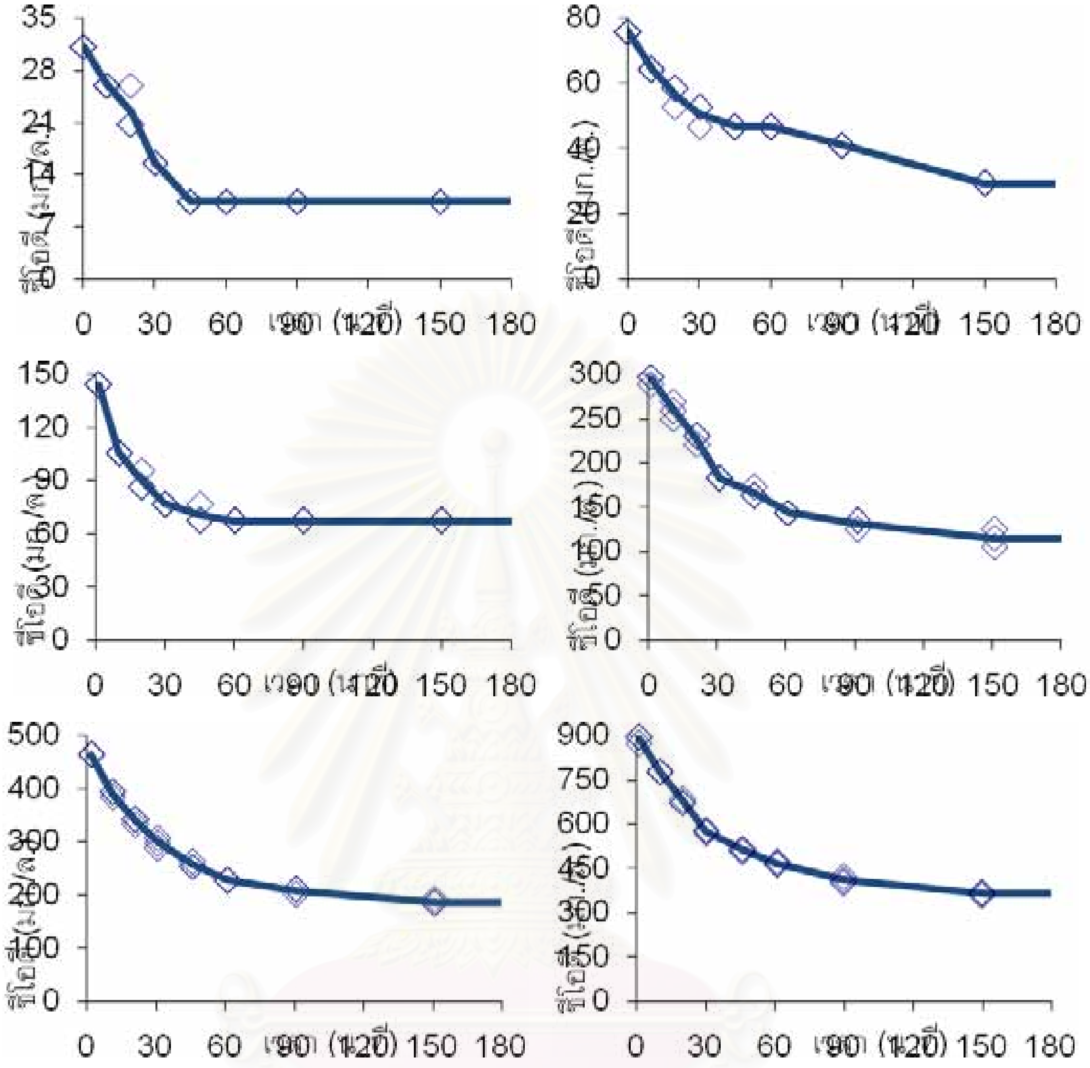
ผลการวิเคราะห์ซีโอดีเทียบกับเวลาแสดงดังรูปที่ 4.5 ค่าซีโอดีของทุกชุดการทดลองลดลงและเริ่มคงที่เมื่อการทดลองผ่านไปประมาณ 180 นาที ซึ่งกราฟส่วนใหญ่มีอัตราการย่อยสลายเป็นเส้นตรงในช่วง 30 นาทีแรก ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ค่า μ_m และ K_S โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะหาจากค่าอัตราการย่อยสลายคูณกับค่ายิลด์แล้วหารด้วยค่าความเข้มข้นของจุลชีพ ($\mu = r_S Y/X$) หลังจากนั้น สร้างกราฟตามสมการของ Monod จากค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะและค่าซีโอดีที่ย่อยสลาย ดังรูปที่ 4.4 แล้วใช้โปรแกรม SPSS หาค่า μ_m และ K_S ได้เท่ากับ 4.43 ± 0.325 มก.-ซีโอดี/มก.-เอ็มแอลเอสเอส·วัน และ 47.5 ± 13.1 มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลชุดเดียวกับที่สร้างกราฟจากสมการของ Monod ไปหาค่าจลนพลศาสตร์จากสมการของ Hanes ดังรูปที่ 4.6 ได้ค่า μ_m และ K_S เท่ากับ 4.83 มก.-ซีโอดี/มก.-เอ็มแอลเอสเอส·วัน และ 65.5 มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจากการวิเคราะห์กราฟซีโอดีเทียบกับเวลาของน้ำเสียต้ม

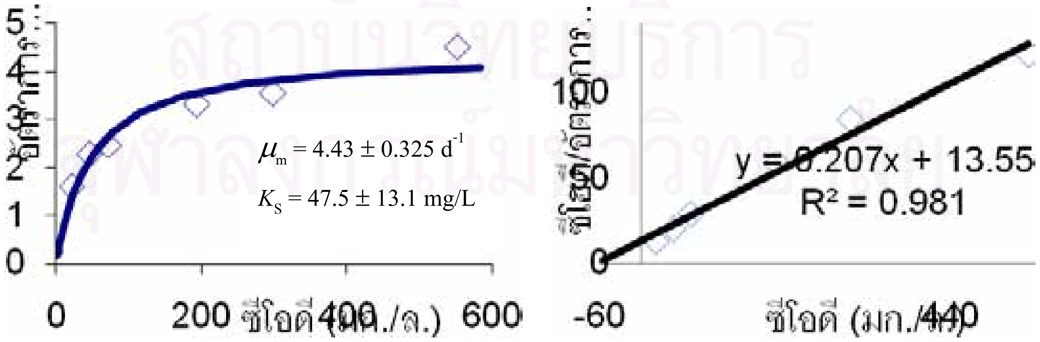
ตัวแปร	**ชุดการทดลอง**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
พีเอช	8.11	8.71	9.08	9.36	9.40	9.49
ค่าซีโอดีเริ่มต้น (มก.-ซีโอดี/ล.)	31.4	74.4	138	299	465	889
ค่าซีโอดีที่ย่อยสลาย (มก.-ซีโอดี/ล.)	20.0	45.2	70.8	193	299	552
ค่าซีโอดีคงเหลือ (มก.-ซีโอดี/ล.)	10.4	29.2	67.2	106	166	337
จุลชีพที่ใช้ (มก.-เอ็มแอลเอสเอส/ล.)	278	327	803	988	1324	2110
อัตราการย่อยสลาย (มก.-ซีโอดี/วัน)	-720	-1210	-3211	-5299	-8165	-15379
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ(มก.-ซีโอดี/มก.-เอ็มแอลเอสเอส·วัน)	1.61	2.28	2.47	3.32	3.54	4.52
ค่ายิลด์ของจุลชีพ (มก.-เซลล์ซีโอดี/มก.-ซีโอดี)	0.62					

หมายเหตุ: ใช้จุลชีพที่ได้จากการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ปฏิกิริยาทางชีวภาพของน้ำเสียต้ม (◊, ค่าวิเคราะห์; –, ค่าเฉลี่ย)



รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์น้ำเสียต้มจากสมการ Monod และ Hanes

(◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียจริงและต้ม

จากการพิจารณาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียทั้งสองชนิด ในตารางที่ 4.4 พบว่าน้ำเสียเมื่อผ่านการต้มจะทำให้ค่า μ_m และ K_S ลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง แสดงว่าการต้มที่อุณหภูมิ 75-90 º ซ มีผลต่อสารประกอบในน้ำเสีย ซึ่งสารประกอบอาจเกิดการสลายตัว/ระเหย เปลี่ยนรูป หรือรวมตัวกัน โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสีย เมื่อค่า μ_m ลดลง แสดงว่าอัตราการย่อยสลายช้าลง อาจเป็นเพราะสมบัติของน้ำเสียมีการเปลี่ยนจึงทำให้จุลชีพไม่คุ้นเคยกับน้ำเสียอัตราการย่อยสลายจึงลดลง ส่วนค่า K_S ลดลง แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากความร้อนทำให้สารประกอบบางชนิดในน้ำเสียแตกตัวกลายเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น ดังนั้น การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-90 º ซ เพื่อช่วยเพิ่มค่าซีโอดีของน้ำเสียไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียจริงกับน้ำเสียต้มในงานวิจัยนี้กลายเป็นน้ำเสียคนละชนิดกัน

การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์โดยสมการ Monod และ Hanes พบว่าได้จลนพลศาสตร์ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่าจลนพลศาสตร์จากสมการ Monod เนื่องจาก เป็นสมการหลักที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ทั่วไป แม้ว่าจะมีข้อเสียตรงที่กราฟจากสมการมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น (Non-linear relationship) แต่ในปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรม SPSS แก้ปัญหาดังกล่าวได้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์จากสมการ Monod และ Hanes ของน้ำเสียทั้งสองชนิด

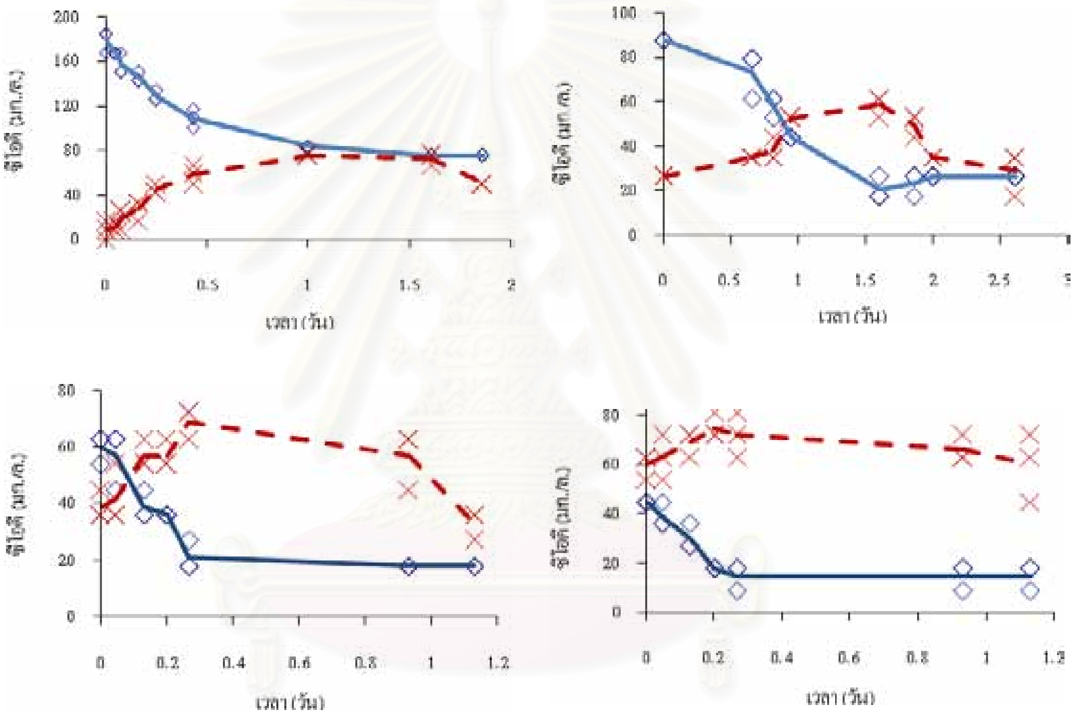
ประเภทน้ำเสีย	μ_m		K_S	
	Monod	**Hanes**	**Monod**	**Hanes**
น้ำเสียจริง	9.92 ± 1.91	11.0	88.9 ± 38.5	118
น้ำเสียต้ม	4.43 ± 0.325	4.83	47.5 ± 13.1	65.5

4.3 การศึกษาค่ายิลด์ของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป

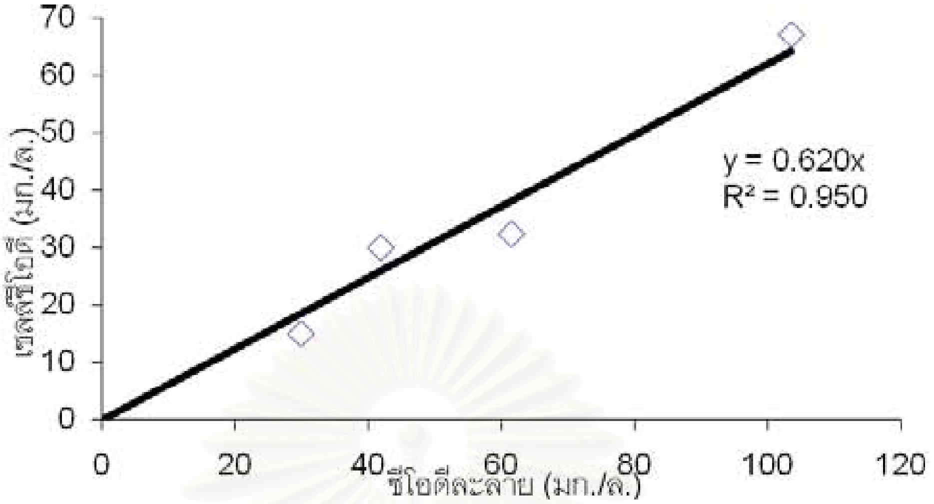
ใช้น้ำเสียจริง 4 ชุด มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 180, 88, 60 และ 45 มก./ล. ใส่เชื้อจุลชีพ 1 มล. ทุกชุดการทดลอง วัดค่าเซลล์ซีโอดีเริ่มต้นได้ 8.4, 26, 39 และ 60 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของ CellCOD และ sCOD แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งใช้เวลาในการติดตาม 1-3 วัน แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔCellCOD กับ ΔsCOD ดังรูปที่ 4.8 ได้ค่ายิลด์เท่ากับ 0.620 ± 0.038

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่ายิลด์ของจุลชีพ (หน่วย : มก./ล.)

การทดลอง	sCOD เริ่มต้น	sCOD สุดท้าย	ΔsCOD	CellCOD เริ่มต้น	CellCOD สูงสุด	ΔCellCOD
1	180	75.6	103.6	8.4	75.6	67.2
2	88	26.4	61.6	26.4	58.67	32.27
3	60	18	42	39	69	30
4	45	15	30	60	75	15



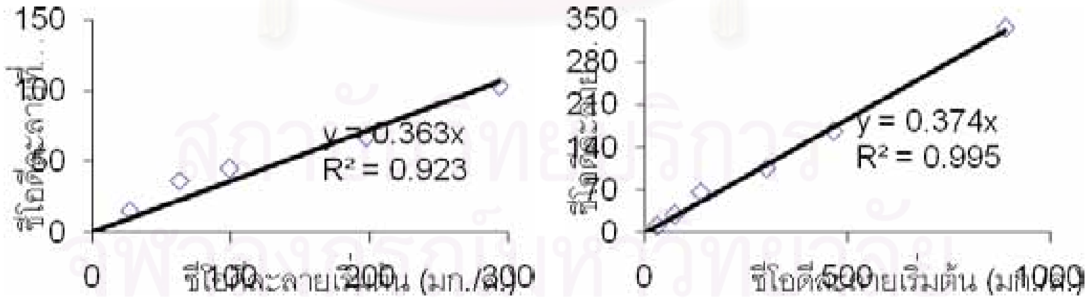
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ของซีโอดีที่ลดลงและเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับเวลา
(◊, ซีโอดีละลายค่าจริง; –, ค่าเฉลี่ย; ×, เซลล์ซีโอดีค่าจริง; – –, ค่าเฉลี่ย)



รูปที่ 4.8 ค่ายิลด์ของน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมนวนคร (◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

4.4 การศึกษาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสีย

นำค่าซีโอดีคงเหลือและค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ของตัวอย่างน้ำเสียจริงและต้มจากกราฟข้อมูลในตารางที่ 4.2 และ 4.3 มาสร้างกราฟ ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งจะได้ได้สัดส่วนของค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพต่อซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียจริงและน้ำเสียต้มเท่ากับ 0.363 ± 0.025 และ 0.374 ± 0.008 ตามลำดับ แสดงว่าการให้ความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 75-90 °ซ ไม่สามารถทำให้ค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพเปลี่ยนแปลง

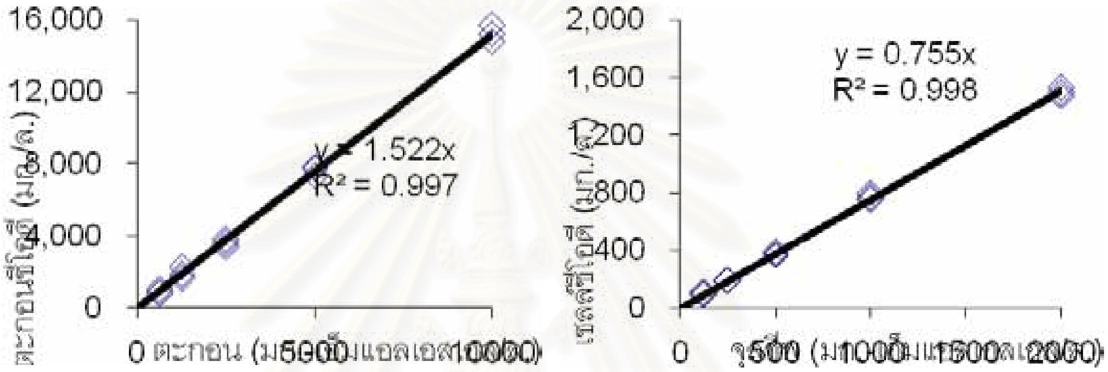


ก. น้ำเสียจริง ข .น้ำเสียต้ม

รูปที่ 4.9 สัดส่วนของซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

4.5 การศึกษาสัดส่วนของซีโอดีต่อความเข้มข้น

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนและจุลชีพแสดงดังรูปที่ 4.10 ได้ค่า nsCOD/MLSS เท่ากับ 1.52 ± 0.013 และ CellCOD/MLSS เท่ากับ 0.756 ± 0.005 ตามลำดับ ซึ่งการทดลองนี้สามารถจำแนกชนิดของตะกอนได้โดยการหาค่าซีโอดี เนื่องจากตะกอนทั้งสองชนิดมีสัดส่วนค่าซีโอดีต่อความเข้มข้นต่างกัน โดยตะกอนมี COD/MLSS > 1 ส่วนจุลชีพมี COD/MLSS < 1



ก. ตะกอน ข. จุลชีพ

รูปที่ 4.10 สัดส่วนของซีโอดีต่อความเข้มข้น (◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

4.6 การศึกษาอัตราการสลายตัว

4.6.1 อัตราการสลายตัวจำเพาะของตะกอนในถังเติมอากาศ

ข้อมูลการหาอัตราการย่อยสลายตะกอนในถังเติมอากาศและในน้ำเสียขาเข้าแสดงดังตารางที่ 4.6

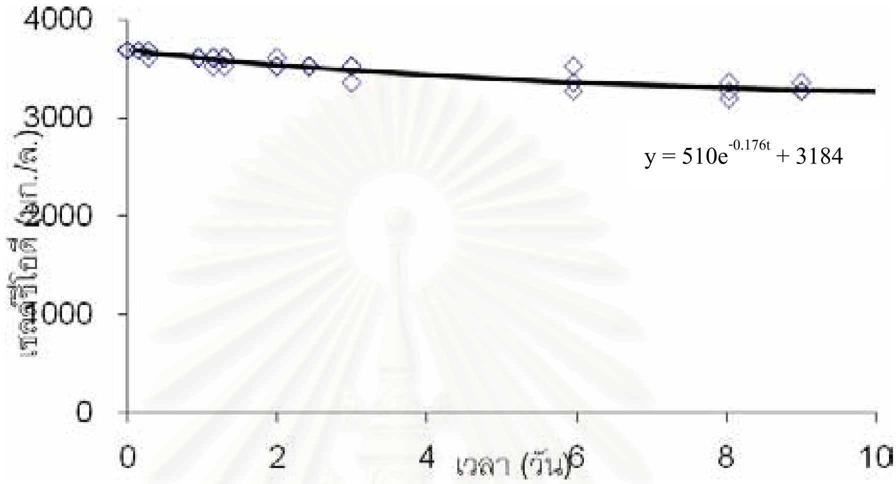
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจากการทดลองการย่อยสลายตะกอนในถังเติมอากาศและในน้ำเสียขาเข้า

หน่วย): มก(.ล/.

แหล่งของตะกอน	เอ็มแอลเอสเอสเริ่มต้น	ซีโอดีเริ่มต้น	ซีโอดีสุดท้าย	ซีโอดีที่ย่อยสลาย
ในถังเติมอากาศ	~5,000	3696	3184	512
ในน้ำเสียขาเข้า	~5,000	7860	5262	2598
ในน้ำเสียขาเข้า	~10,000	11460	9440	2020

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

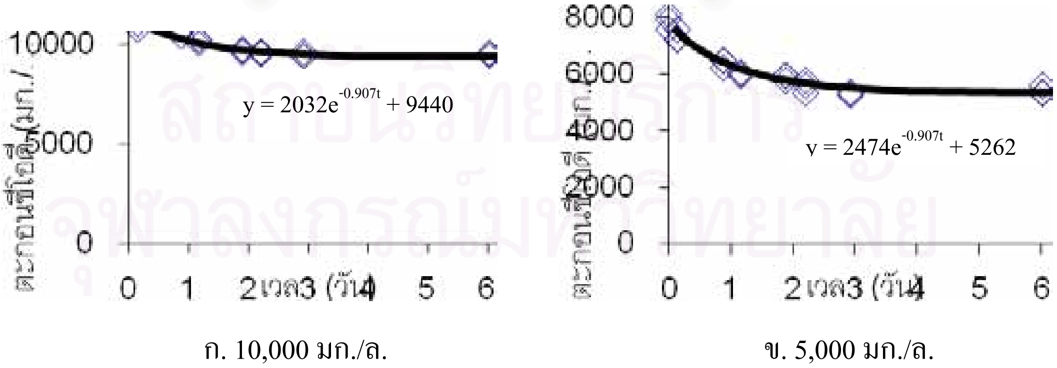
ผลการทดลองการย่อยสลายตะกอนในถังเติมอากาศเทียบกับเวลา ใช้เวลาในการติดตาม 9 วัน ซึ่งค่าซีโอดีเริ่มคงที่เมื่อผ่านไป 6 วัน ดังกราฟในรูปที่ 4.11 ใช้โปรแกรม AQUASIM หาค่า b_H ได้ 0.176 ± 0.061 d^{-1} และค่า nbCOD/TCOD เท่ากับ 0.862 ± 0.025



รูปที่ 4.11 อัตราการสลายตัวจำเพาะของตะกอนในถังเติมอากาศ (◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

4.6.2 อัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า

ผลการทดลองการย่อยสลายตะกอนในน้ำเสียขาเข้าเทียบกับเวลา ใช้เวลาในการติดตาม 6 วัน ค่าซีโอดีเริ่มคงที่เมื่อผ่านไป 3 วัน ดังกราฟในรูปที่ 4.12 ใช้โปรแกรม AQUASIM หาค่า k_d ร่วมของทั้งสองกราฟได้ 0.907 ± 0.090 d^{-1} และค่า nbCOD/TCOD เท่ากับ 0.752 ± 0.009



ก. 10,000 มก./ล. ข. 5,000 มก./ล.

รูปที่ 4.12 อัตราการย่อยสลายจำเพาะของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า (◊, ค่าวิเคราะห์; –, โมเดล)

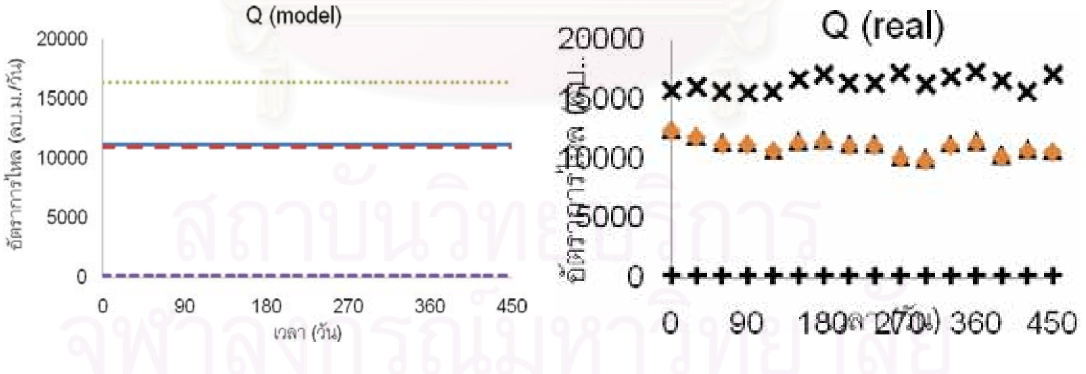
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงสมบัติที่ต่างกันของตะกอนทั้งสองชนิด โดยที่อัตราการย่อยสลายจำเพาะมีค่าต่างกันประมาณ 5 เท่า ซึ่งตะกอนในถังเติมอากาศย่อยสลายได้ช้ากว่า และเมื่อพิจารณาที่ค่า nbCOD/TCOD พบว่ามีสัดส่วนที่สูงด้วยกันทั้งคู่ โดยที่ตะกอนในถังเติมอากาศมีสัดส่วนดังกล่าวสูงมากกว่าสัดส่วนของตะกอนในน้ำเสียขาเข้า ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้ เนื่องจากองค์ประกอบของตะกอนในถังเติมอากาศเป็นสิ่งที่มีชีวิตน่าจะมีส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนในน้ำเสียขาเข้า อาจเป็นไปได้ว่าตะกอนในถังเติมอากาศที่นำมาทดลองมีตะกอนอื่นๆ เจือปนอยู่ ซึ่งข้อสงสัยดังกล่าวสามารถหาคำตอบได้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปในเรื่องของแบบจำลอง

4.7 การสร้างแบบจำลองและการเปรียบเทียบ

4.7.1 การสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบผลโดยโปรแกรม AQUASIM

อัตราการไหลในแบบจำลองทั้งหมดเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริง แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.13 โดยอัตราการไหลในแบบจำลองจะใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลจริง จากรูปจะเห็นว่าอัตราการไหลขาเข้ากับขาออกใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากมีอัตราการทิ้งตะกอนน้อย ส่วนอัตราการเวียนตะกอนของระบบมีค่าสูงมาก มากกว่าอัตราการไหลของน้ำเสียขาเข้า ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในระบบมีตะกอนของแข็งอยู่มาก จึงต้องอาศัยอัตราการเวียนตะกอนสูงๆ เพื่อป้องกันปัญหาการจมตัวของตะกอนของแข็งในถังเติมอากาศ



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำเสียระหว่างกราฟจากแบบจำลองกับกราฟจากโรงบำบัด

(― , เข้า (โมเดล);– –, ออก (โมเดล); ········, เวียน (โมเดล); ▪▪▪▪, ทิ้งตะกอน (โมเดล))

(▲ , เข้า; ♦ , ออก; x , เวียน; + , ทิ้งตะกอน)

ส่วนตัวแปรที่กำหนดขึ้นในแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4.7 ในการสร้างแบบจำลองจะแบ่ง COD และ SS เป็น bs (biodegradable soluble) กับ nbs (non-biodegradable soluble) และ bns (biodegradable non-soluble) กับ nbns (non-biodegradable non-soluble) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ตัวแปรใช้ในโปรแกรม AQUASIM

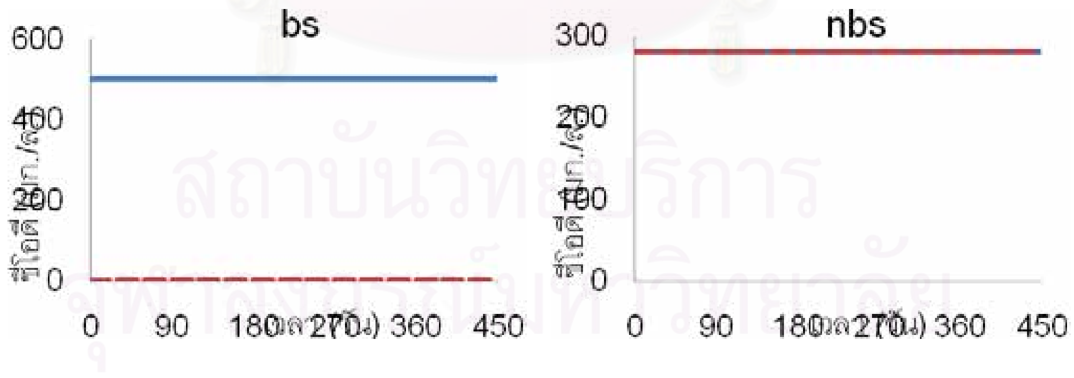
ตัวแปร	ความหมาย	สมการ/ค่า
Q	อัตราการไหลของน้ำเสีย (m^3/d)	-
Q_{in}	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังเติมอากาศ	11141.8
Q_{out}	อัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากถังตกตะกอน	Q_{in}-Q_w
Q_{rec}	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เวียนจากถังตกตะกอนสู่ถังเติมอากาศ	16385.1
Q_w	อัตราการไหลของน้ำเสียที่ทิ้งตะกอน	185
bs	ซีโอดีละลายที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (g-COD/m^3)	-
bs_{ini}	ค่าซีโอดีละลายที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพในถังเติมอากาศ	COD*0.64
nbs	ซีโอดีละลายที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (g-COD/m^3)	COD*0.36
bns	ของแข็งที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (g-COD/m^3)	-
bns_{in}	ของแข็งที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่เข้าสู่ถังเติมอากาศ	SS*0.248
bns_{out}	ของแข็งที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่ออกจากถังตกตะกอน	0.19488
bns_w	ของแข็งที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่ทิ้งจากระบบ	$(bns*(Q_{in}+Q_{rec}) - bns_{out}*Q_{out})$ $/(Q_{rec}+Q_w)$
nbns	ของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (g-COD/m^3)	-
$nbns_{in}$	ของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่เข้าสู่ถังเติมอากาศ	SS*0.752
$nbns_{out}$	ของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่ออกจากถังตกตะกอน	15.21
$nbns_w$	ของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่ทิ้งจากระบบ	$(nbns*(Q_{in}+Q_{rec}) - nbns_{out}*Q_{out})$ $/(Q_{rec}+Q_w)$
X	จุลชีพ (g/m^3)	-
X_{ini}	จุลชีพเริ่มต้นในถังเติมอากาศ	2000
X_{out}	จุลชีพที่ออกจากถังตกตะกอน	6.99
X_w	จุลชีพที่ทิ้งจากระบบ	$(X*(Q_{in}+Q_{rec}) - X_{out}*Q_{out})$ $/(Q_{rec}+Q_w)$
COD	ซีโอดีของน้ำเสีย (g-COD/m^3)	bs + nbs
SS	ของแข็งในน้ำเสีย (g/m^3)	bns + nbns
SS_{out}	ของแข็งที่ออกจากถังตกตะกอน	$bns_{out}+ nbns_{out}+ X_{out}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ตัวแปรใช้ในโปรแกรม AQUASIM (ต่อ)

ตัวแปร	ความหมาย	สมการ/ค่า
Age	อายุจุลชีพ (d)	$(V*X)/(Q_{out}* X_{out}+ Q_w* X_w)$
V	ปริมาตรของถังเติมอากาศ (m^3)	8,000
b	อัตราการย่อยสลายจำเพาะของจุลชีพ (1/d)	0.172
k	อัตราการย่อยสลายจำเพาะของของแข็ง (1/d)	0.932
K_S	สัมประสิทธิ์การอิ่มตัวครึ่งหนึ่งของจุลชีพ (g/m^3)	88.85
u_m	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพ (1/d)	9.919
Y	ยิลด์ของเฮเทอโรโทรป	0.62
DecayCell	สมการการสลายตัวของจุลชีพ	-b*X
DecaySS	สมการการสลายตัวของของแข็ง	-k*bns
Degradation	สมการการย่อยสลายน้ำเสีย	$-(u_m/Y)*(bs/(bs+K_s))*X$
GrowthCell	สมการการเติบโตของจุลชีพ	$u_m*(bs/(bs+Ks))*X$

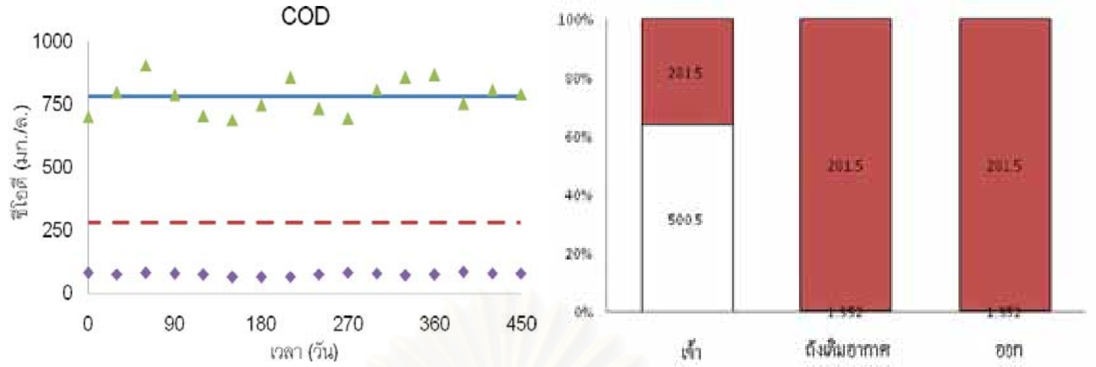
เนื่องจากทั้ง COD และ SS มีส่วนที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้และไม่ได้ โดย bs จะเกิดปฏิกิริยา r_{GX}, r_{DX} และ r_S ในถังเติมอากาศและมีเซลล์ (X) เกิดขึ้นแล้วไปสู่ถังตกตะกอนโดยไม่มีปฏิกิริยาใดๆ เกิดขึ้น ส่วน nbs ไม่เกิดปฏิกิริยาทั้งถังเติมอากาศและถังตกตะกอนทำให้ nbs ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เมื่อรวมค่า bs กับ nbs จะได้ค่าซีโอดีในแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.14 กราฟตัวแปร bs และ nbs ที่ได้จากโปรแกรม AQUASIM

(—, เข้า (โมเดล);– –, ออก (โมเดล))

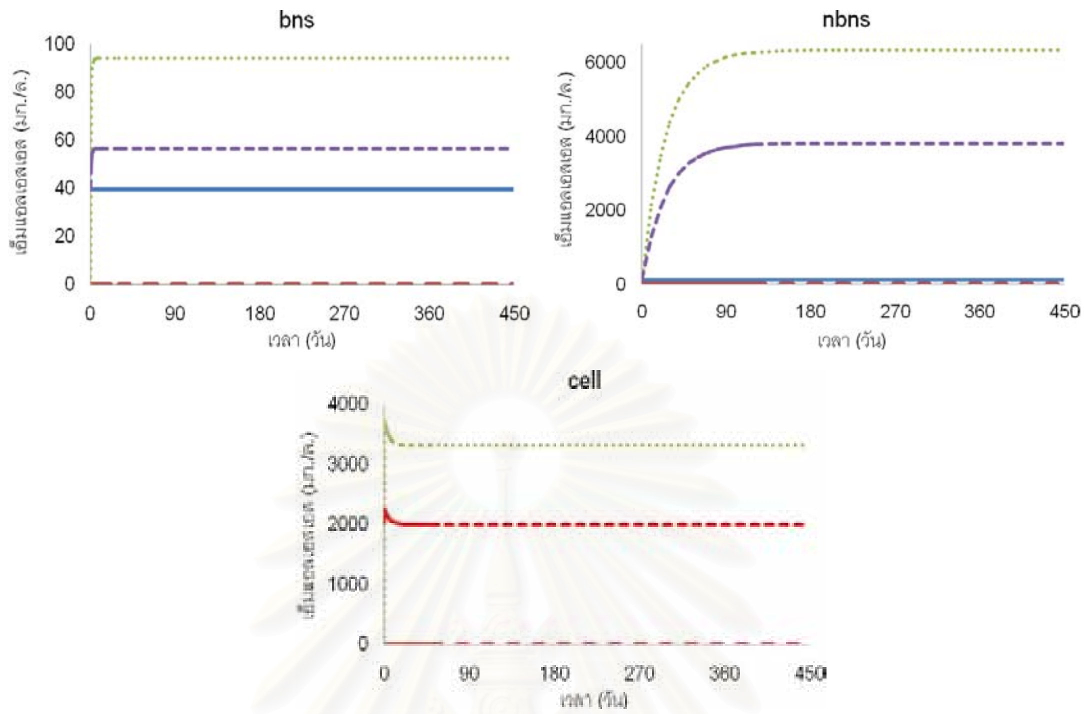


รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่าซีโอดีจากโปรแกรม AQUASIM

(—, เข้า (โมเดล); – –, ออก (โมเดล); ▲, เข้า; ♦, ออก; □ , bs; ■ , nbs)

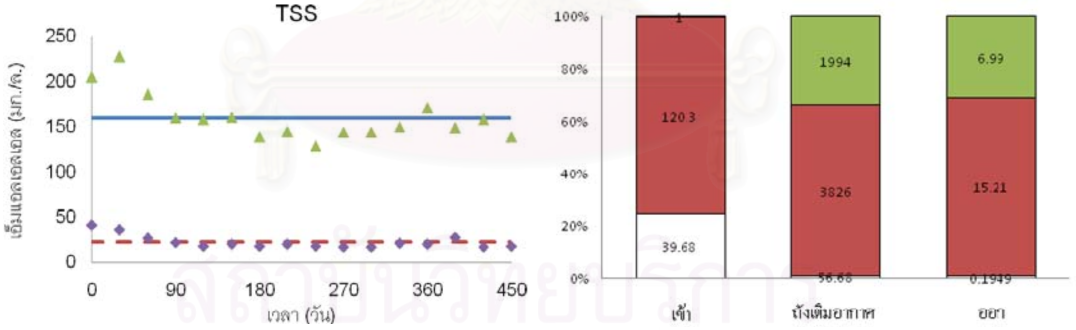
จากการเปรียบเทียบค่าซีโอดีขาออกระหว่างผลการบำบัดจริงกับผลจากแบบจำลอง พบว่าแตกต่างกัน โดยผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าผลจากการบำบัดจริง ซึ่งตัวแปรที่ทำให้ผลจากแบบจำลองต่างไปจากผลจากการบำบัดจริง ได้แก่ nbs เนื่องจากน้ำทิ้งจากแบบจำลองมีค่า nbs มากถึง 99.5% ซึ่งคือค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียมีสัดส่วนของค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้สูง จึงทำให้การทดลองได้ค่าดังกล่าวสูงตามไปด้วย

ของแข็งในแบบจำลองประกอบด้วย bns, nbns และ X โดยที่ bns เกิดปฏิกิริยา r_{DS} ในถังเติมอากาศแล้วไหลไปสู่ถังตกตะกอน เกิดการตกตะกอนและเวียนตะกอน โดยมีสมการค่า bns_w เข้ามาเกี่ยวข้องตามรูปที่ 3.6 ส่วน nbns ในถังเติมอากาศไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆ เมื่อไหลไปสู่ถังตกตะกอนเกิดการเวียนตะกอน โดยมีสมการค่า $nbns_w$ เข้ามาเกี่ยวข้อง สุดท้ายตัวแปร X นั้นเกิดจากปฏิกิริยาของ bs ในถังเติมอากาศ หลังจากเข้าสู่ถังตกตะกอนเกิดการเวียนโดยมีสมการค่า X_w เข้ามาเกี่ยวข้อง และเมื่อรวมค่า bns, nbns และ X จะได้ค่าของแข็งทั้งหมดในแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 จากการเปรียบเทียบสัดส่วนของ bns, nbns และ X พบว่าตะกอนในระบบส่วนใหญ่ ได้แก่ nbns โดยเฉพาะในถังเติมอากาศจะเห็นว่ามีจุลชีพจริงๆ อยู่เพียง 34% เท่านั้น ทำให้การเดินระบบต้องรักษาความเข้มข้นของตะกอนสูงๆ เพื่อให้ได้ปริมาณจุลชีพในถังเติมอากาศตามที่ออกแบบไว้ ทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด คือ สร้างถังตกตะกอนขั้นที่หนึ่งเพื่อแยกตะกอนของแข็งที่มาพร้อมกับน้ำเสียออกก่อนเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพ



รูปที่ 4.16 กราฟตัวแปร bns nbns และ X ที่ได้จากโปรแกรม AQUASIM

(— , เข้า (โมเดล); - - , ออก (โมเดล); .... , ทิ้งตะกอน (โมเดล); ····, ในถังเติมอากาศ (โมเดล))



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบค่าเอ็มแอลเอสเอสจากโปรแกรม AQUASIM

(— , เข้า (โมเดล); - - , ออก (โมเดล); ▲ , เข้า; ♦ , ออก)

(; □ , bns; ■ , nbns; ■ , X)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7.2 การเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้

นำตัวแปรจากการวิเคราะห์ ได้แก่ μ_m, K_S, Y_H และ b_H ของน้ำเสียจริงเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงจากงานวิจัยอื่นๆ จากตารางที่ 2.10 ในบทที่ 2 ที่ผ่านการปรับแก้อุณหภูมิแล้ว ดังในตารางที่ 4.8 พบว่า ค่า μ_m ที่ได้จากงานวิจัยนี้สูงกว่าค่าจากงานวิจัยอื่นๆ แสดงว่าน้ำเสียย่อยสลายได้เร็ว อาจเป็นเพราะน้ำเสียมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ส่วน K_S มีค่ากลางๆ เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ แสดงว่าน้ำเสียย่อยสลายได้ไม่ยากนัก เมื่อพิจารณาค่า Y_H และ b_H เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าใกล้เคียงกับงานวิจัยหลายๆ ชิ้น แสดงว่าจุลชีพในน้ำเสียใกล้เคียงกับจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรปทั่วไป

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบตัวแปรจากการวิเคราะห์กับงานที่เกี่ยวข้อง

ที่มา	**ค่าพารามิเตอร์ที่ 29°C**				**ประเภทน้ำเสีย**
	μ_m	K_S	Y_H	b_H	
งานวิจัยนี้	13.1	88.9	0.657	0.176	น้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม
Grady Jr. C. P. L. et al	11.0	20.0	0.60	0.569	น้ำเสียชุมชน
Pala A. และ Tokat E.	0.588	113.3	0.76	0.037	น้ำเสียอุตสาหกรรมผ้าฝ้าย
Metcalf L. และ Eddy H. P.	5.52-24.3	5.0-40.0	0.30-0.50	0.085-0.285	น้ำเสียชุมชน
Nuhoglu A. et al	10.1	35	-	-	น้ำเสียชุมชน
Pala A. และ Bölükbas Ö.	2.07	343	0.7	0.075	น้ำเสียชุมชน
ชลธิพร สุทธิธรรม	3.96	41.34	0.43	-	น้ำเสียชุมชน

หมายเหตุ: μ_m, mg-VSS/mg-VSS·d; K_S, mg-COD/L; Y_H, mg-VSS/mg-COD; b_H, 1/d

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองและวิเคราะห์ในบทที่ 4 สามารถสรุปงานวิจัย ได้ดังนี้

1. การต้มน้ำเสียเพื่อเพิ่มค่าซีโอดีที่อุณหภูมิ 75-90 ° ซ ไม่สามารถกระทำได้ เพราะทำให้สมบัติของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง

2. ค่าจลนพลศาสตร์ของของแข็งละลายและของแข็งแขวนลอย มีดังนี้

μ_{m} เท่ากับ 9.92 ± 1.91 มกเอ็มแอลเอสเอส-.มก/ซีโอดี-.·วัน

K_{S} เท่ากับ 88.9 ± 38.5 มก.ล/ซีโอดี-.

Y_{H} เท่ากับ 0.620 ± 0.038 มก-.เซลล์ซีโอดี/มกซีโอดี-.

b_{H} เท่ากับ 0.176 ± 0.061 1/วัน

k_{d} เท่ากับ 0.907 ± 0.090 1/วัน

3. สัดส่วนค่าซีโอดีต่อความเข้มข้น มีดังนี้

nsCOD/MLSS ของตะกอนของแข็งเท่ากับ 1.52 ± 0.013

CellCOD/MLSS ของจุลชีพเท่ากับ 0.756 ± 0.005

4. สัดส่วนค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพต่อค่าซีโอดีทั้งหมด มีดังนี้

nbCOD/TCOD ของน้ำเสียเท่ากับ 0.363 ± 0.025

nbCOD/TCOD ของตะกอนในน้ำเสียขาเข้าเท่ากับ 0.752 ± 0.009

nbCOD/TCOD ของตะกอนในถังเติมอากาศเท่ากับ 0.862 ± 0.025

5. การเปรียบเทียบค่าซีโอดีของน้ำทิ้งระหว่างผลการบำบัดจริงกับผลจากแบบจำลอง มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากค่า nbCOD

6. ตะกอน 66% ที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นพวกตะกอนเฉื่อย (Inert)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ความสำคัญด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้งาน

ผลที่ได้จากการทำงานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ดังนี้

1. โปรแกรม AQUASIM สามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพได้

2. โปรแกรม AQUASIM สามารถนำไปใช้กับงานอื่นที่เกี่ยวข้องกับระบบน้ำได้ นอกเหนือจากระบบบำบัดน้ำเสีย

3. ค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพต่อไปในอนาคต

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยพบประเด็นที่น่าสนใจ และเหมาะแก่การนำมาเสนอแนะเป็นแนวทางในการต่อยอดงานวิจัยชิ้นนี้ต่อไปในอนาคต ดังนี้

1. การศึกษาหาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ

2. การเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียอุตสาหกรรมแต่ละประเภท

3. ศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ในสภาวะไร้อากาศของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป

4. การศึกษาหาค่าจลนพลศาสตร์โดยใช้สมการเอเอสเอ็มตัวอื่นๆ

5. การศึกษาหาค่าจลนพลศาสตร์โดยใช้แบบจำลองมากกว่าหนึ่งโปรแกรมเปรียบเทียบกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชลธิพร สุทธิธรรม. การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในกรุงเทพมหานครและการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ตั้มซีวิลดอทคอม. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์[Online]. แหล่งที่มา : http://www.tumcivil.com/tips/gen.php?id=90[2550, พฤศจิกายน 30]

บริษัท นวนคร จำกัด (มหาชน). รายชื่อโรงงานอุตสาหกรรม[Online]. แหล่งที่มา : http://www.navanakorn.com/ind_prodir_th.html[2550, พฤศจิกายน 30]

บริษัท เอ็กซ์เพิร์ท ซิสเทมส์ เอนจิเนียริง จำกัด. รายงานการศึกษาปริมาณน้ำเสียในปัจจุบัน. กรุงเทพมหานคร, 2550.(เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์)

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: จุดทอง, 2545.

ภาษาอังกฤษ

American Public Health Association, American Water Work Association, and Water Environment Federation. Standard method for the examination of water and wastewater. 20th ed. Baltimore: United Book Press, 1998.

Chudoba, J., Cech, J. S., Farkac, J., and Grau, P. Control of activated sludge filamentous bulking: experimental verification of a kinetic selection theory. Water Research 19 (1985): 191-196.

Dang, J. S., Harvey, D. M., Jobbagy, A., and Gragy Jr., C. P. L. Evaluation of biodegradation kinetic with respirometric data. Water Pollution Control Federation 61 (1989): 1711-1721.

Grady Jr., C. P. L., Daigger, G. T., and Lim, C. H. Biological wastewater treatment. 2nd ed. Revised and expanded. New York: Marcel Dekker, 1999.

Henze, M., Grady Jr., C. P. L., Gujer, W., Marais, G. v. R., and Matsuo, T. A general model for single-sludge wastewater treatment systems. Water Research 21 (1987): 505-515.

Holman, J. P. Experiment methods for engineers. 7th ed. Boston: McGraw-Hill, 2001.

IWA task group on mathematical modeling for design and operational of biological wastewater treatment. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. 1st ed. Scientific and technical report No 9. London: IWA publishing, 2000.

Jordan, W. L., Pohland, F. G., and Kornegay, B. H. Evaluating treatability of selected industrial waste. Proceedings of the 26th Industrial Waste Conference. Purdue University Engineering Extension Series No. 140 (1971): 514-529.

Mbewe A., Wentzel M. C. and Ekama G. A. Characterization of Municipal Wastewaters. UCT Report No. W 84. South Africa: University of Cape Town, 1995.

Metcalf, L., and Eddy, H. P. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill, 2004

Nuhoglu, A., Keskinler, B., and Yildiz, E. Mathematical modelling of the activated sludge process—the Erzincan case. Process Biochemistry 40 (2005): 2467-2473.

Pala, A., and Bolukbas, O. Evaluation of kinetic parameters for biological CNP removal from a municipal wastewater through batch tests. Process Biochemistry 40 (2005): 629-635.

Pala A. and Tokat E. Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives. Water Research 36 (2002): 2920–2925.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียรวมนิคมอุตสาหกรรมนวนคร โดยโปรแกรม AQUASIM

Variables

Age: Description: Age of cell

Type: Formula Variable

Unit: d

Expression: (8000*X)/(Qout*X_out+Qw*X_wr)

---

b: Description: Degradation rate constant for microorganism

Type: Formula Variable

Unit: 1/d

Expression: 0.172

---

bns: Description: Biodegradable non-soluble COD

Type: Dyn. Volume State Var.

Unit: g-COD/m3

Relative Accuracy: 1e-006

Absolute Accuracy: 1e-006

---

bns_in: Description: Initial conc. of biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: SS*0.248*1.52

---

bns_out: Description: Out conc. of biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 0.19488*1.52

bns_wr: Description: Waste conc. of biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: (bns*(Qin+Qrec)-bns_out*(Qin-Qw))/(Qrec+Qw)

---

bs: Description: Biodegradable soluble COD

Type: Dyn. Volume State Var.

Unit: g-COD/m3

Relative Accuracy: 1e-006

Absolute Accuracy: 1e-006

---

bs_ini: Description: Initial conc. of biodegradable soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: COD*0.64

COD: Description: Conc. of wastewater

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 782

CODout: Description: Conc. of wastewater

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: bs+nbs

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

k: Description: Degradation rate constant for SS

Type: Formula Variable

Unit: 1/d

Expression: 0.932

Ks: Description: Half saturation concentration for sCOD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 88.85

----

nbns: Description: Recirculate conc. of non-biodegradable non-soluble COD

Type: Dyn. Volume State Var.

Unit: g-COD/m3

Relative Accuracy: 1e-006

Absolute Accuracy: 1e-006

----

nbns_in: Description: Initial conc. of non-biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: SS*0.752*1.52

----

nbns_out: Description: Final conc. of non-biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 15.21*1.52

----

nbns_wr: Description: Waste conc. of non-biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: (nbns*(Qin+Qrec)-nbns_out*(Qin-Qw))/(Qrec+Qw)

---

nbs: Description: Conc. of non-biodegradable soluble COD

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: COD*0.36

Q: Description: Discharge

Type: Program Variable

Unit: m3/d

Reference to: Discharge

Qin: Description: Water inflow

Type: Formula Variable

Unit: m3/d

Expression: 11141.8

Qout: Description: Water outflow

Type: Formula Variable

Unit: m3/d

Expression: Qin-Qw

Qrec: Description: Water recirculation

Type: Formula Variable

Unit: m3/d

Expression: 16385.1

Qw: Description: Water wasteflow

Type: Formula Variable

Unit: m3/d

Expression: 185

SS: Description: Suspended solid

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 160*1.52

SSout: Description: Suspended solid

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: bns_out+nbns_out+X_out

----

t: Description: Time

Type: Program Variable

Unit: d

Reference to: Time

Um: Description: Maximum specific growth rate of microorganism

Type: Formula Variable

Unit: 1/d

Expression: 9.919/0.76

V: Description: Volume

Type: Program Variable

Unit: m3

Reference to: Reactor Volume

X: Description: Microorganism

Type: Dyn. Volume State Var.

Unit: g-COD/m3

Relative Accuracy: 1e-006

Absolute Accuracy: 1e-006

X_ini: Description: Initial conc. of microorganism

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 2000*0.76

X_out: Description: Out conc. of microorganism

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: 6.99*0.76

X_wr: Description: Waste conc. of microorganism

Type: Formula Variable

Unit: g-COD/m3

Expression: (X*(Qin+Qrec)-X_out*(Qin-Qw))/(Qrec+Qw)

Y: Description: Growth yield

Type: Formula Variable

Unit: g-CellCOD/g-sCOD

Expression: 0.62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Processes

DecayCell: Description: Decay rate of cell

Type: Dynamic Process

Rate: b*X

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

X : -1

DecaySS: Description: Decay rate of SS

Type: Dynamic Process

Rate: k*bns

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

bns : -1

Degradation: Description: Degradation rate of sCOD

Type: Dynamic Process

Rate: (Um/Y)*(bs/(bs+Ks))*X

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

bs : -1

GrowthCell: Description: Growth rate of microorganism

Type: Dynamic Process

Rate: Um*(bs/(bs+Ks))*X

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

X : 1

Compartments

ATank: Description: Aeration Tank

Type: Mixed Reactor Compartment

Compartment Index: 0

Active Variables: bns, bs, X, nbns

Active Processes: DecaySS, DecayCell, Degradation, GrowthCell

Initial Conditions:

Variable(Zone) : Initial Condition

X(Bulk Volume) : X_ini

bns(Bulk Volume) : bns_in

bs(Bulk Volume) : bs_ini

nbns(Bulk Volume) : nbns_in

Inflow: Qin

Loadings:

Variable : Loading

bns : Qin*bns_in

bs : Qin*bs_ini

nbns : nbns_in*Qin

Volume: 8000

Accuracies:

Rel. Acc. Q: 0.001

Abs. Acc. Q: 0.001

Rel. Acc. V: 0.001

Abs. Acc. V: 0.001

STank: Description: SettlingTank

Type: Mixed Reactor Compartment

Compartment Index: 0

Active Variables: bns, bs, X, nbns

Active Processes:

Initial Conditions:

Inflow: 0

Loadings:

Volume: 1300

Accuracies:

Rel. Acc. Q: 0.001

Abs. Acc. Q: 0.001

Rel. Acc. V: 0.001

Abs. Acc. V: 0.001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Links

Link_AS: Type: Advective Link

Link Index: 0

Compartment In: ATank

Connection In: Outflow

Compartment Out: STank

Connection Out: Inflow

Bifurcations:

Link_SA: Type: Advective Link

Link Index: 0

Compartment In: STank

Connection In: Outflow

Compartment Out:

Bifurcations:

Out:

Description:

Compartment Out:

Water Flow: Qout

Mass Loadings:

Variable : Loading

X : X_out*Qout

bns : bns_out*Qout

nbns : nbns_out*Qout

Rec:

Description:

Compartment Out: ATank

Connection Out: Inflow

Water Flow: Qrec

Mass Loadings:

Variable : Loading

X : X_wr*Qrec

bns : bns_wr*Qrec

nbns : nbns_wr*Qrec

waste:

Description:

Compartment Out:

Water Flow: Qw

Mass Loadings:

Variable : Loading

X : X_wr*Qw

bns : bns_wr*Qw

nbns : nbns_wr*Qw

Definitions of Calculations

Calculation: Description:

Calculation Number: 0

Initial Time: 0

Initial State: given, made consistent

Step Size: 0.2

Num. Steps: 2250

Status: active for simulation

inactive for sensitivity analysis

Plot Definitions

Age: Description: Age of cell

Abscissa: Time

Title: Age of cell

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: Age [d]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : Age [0,ATank,Bulk Volume,0]

---

bns: Description: Biodegradable non-soluble COD

Abscissa: Time

Title: Biodegradable non-soluble COD

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : bns [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : bns_in [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : bns_out [0,STank,Bulk Volume,0]

Value : bns_wr [0,STank,Bulk Volume,0]

---

bs: Description: Biodegradable soluble COD

Abscissa: Time

Title: Biodegradable soluble COD

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : bs [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : bs_ini [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : bs [0,STank,Bulk Volume,0]

COD: Description: COD

Abscissa: Time

Title: COD

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : COD [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : CODout [0,STank,Bulk Volume,0]

---

nbns: Description: Non-biodegradable non-soluble COD

Abscissa: Time

Title: Non-biodegradable non-soluble COD

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : nbns [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : nbns_in [0,STank,Bulk Volume,0]

Value : nbns_out [0,STank,Bulk Volume,0]

Value : nbns_wr [0,STank,Bulk Volume,0]

---

nbs: Description: Non-biodegradable soluble COD

Abscissa: Time

Title: Non-biodegradable soluble COD

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : nbs [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : nbs [0,STank,Bulk Volume,0]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Q: Description: Flow

Abscissa: Time

Title: Flow

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: Q [m3/d]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : Qin [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : Qout [0,STank,Bulk Volume,0]

Value : Qrec [0,STank,Bulk Volume,0]

Value : Qw [0,STank,Bulk Volume,0]

TSS: Description: TSS

Abscissa: Time

Title: Total SS

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : SS [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : SSout [0,STank,Bulk Volume,0]

X: Description: Microorganism

Abscissa: Time

Title: Cell

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [g/m3]

Curves: Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]

Value : X [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : X_ini [0,ATank,Bulk Volume,0]

Value : X_out [0,STank,Bulk Volume,0]

Value : X_wr [0,STank,Bulk Volume,0]

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจักรกฤษณ์ จตุรภัทรโภคิน นามสกุลเดิม รติพรเลิศ เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2527 เป็นบุตรชายคนที่หนึ่งจากพี่น้องสองคนของนายณัฏฐวัต จตุรภัทรโภคินและนางเอื้อม สุวรรณ จตุรภัทรโภคิน เข้าศึกษาระดับประถมศึกษา ณ โรงเรียนอนุบาลปราจีนบุรีและสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2539 เข้าศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษา ณ โรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุงซึ่งสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2545 จากนั้น ศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549 หลังจากนั้น ในปีเดียวกันศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย