

การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการเอเอสแบบกวนสมบูรณ์



นางสาวกัญญลักษณ์ จันทรัมย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

HARDBOARD MILL SECOND STAGE WASTEWATER TREATMENT BY COMPLETELY
MIXED ACTIVATED SLUDGE PROCESS

Miss Kanyaluck Chantayma



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

กัญญลักษณ์ จันเทร์มะ : การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการเอเอสแบบกวนสมบูรณ์. (HARDBOARD MILL SECOND STAGE WASTEWATER TREATMENT BY COMPLETELY MIXED ACTIVATED SLUDGE PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ศรัณย์ เตชะเสน, 126 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพ อัตราการบำบัดและค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ มาบำบัดต่อด้วยกระบวนการแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ ทำการทดลองโดยใช้อัตราการไหลคงที่ 8 ลิตรต่อวัน ใช้ถังเดิมอากาศขนาด 5 ลิตรในการแปรค่าอายุสลัดจ์ 0.4 0.7 1.03 และ 1.62 วัน และใช้ถังขนาด 10 ลิตรสำหรับค่าอายุสลัดจ์ 6.1 10.4 10.6 และ 15.5 วัน โดยวิเคราะห์ ค่าพีเอช ออกซิเจนละลาย ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลาย ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ ของแข็งทั้งหมด และ ส่องกล้องจุลทรรศน์ ผลการทดลองพบว่า ถึงตกตะกอนมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอทำให้ตะกอนหลุดออกจากระบบปริมาณมาก ส่งผลให้อายุสลัดจ์จริงมีค่า 0.4 0.7 1.03 1.62 6.1 10.4 10.6 และ 15.5 วัน หรือคิดเป็น 54.6% ของค่าที่กำหนด (0.5 12 5 10 15 20 และ 30 วัน) โดยในช่วงแรกน้ำเสียเข้าระบบมีซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ย $7,040 \pm 6.80$ มก./ล. ซีโอดีละลายเฉลี่ย $6,240 \pm 70$ มก./ล. อัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.21 ± 0.10 และ 4.85 ± 0.41 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน มีค่าสูงสุด 48% และที่อายุสลัดจ์ 0.4 0.7 และ 1.03 วัน มีค่า เท่ากับ 24% 26% และ 43% ตามลำดับ และค่า SVI อยู่ในช่วง 25-92 มล./ก. ซึ่งบอถึงการตกตะกอนที่ดี แต่เนื่องจากการทิ้งสลัดจ์มากเกินไป ทำให้ระบบมีจุลินทรีย์ไม่เพียงพอต่อการบำบัดน้ำเสีย จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ในช่วงที่ 2 พบว่าน้ำเสียเข้าระบบมีซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ย $4,324 \pm 34$ ซีโอดีละลายเฉลี่ย $4,237 \pm 4$ มก./ล. อัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.45 ± 0.06 และ 2.01 ± 0.09 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในส่วน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน มีค่าสูงสุด 59% และที่อายุสลัดจ์ 10.4 10.6 และ 15.5 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 51% 48% และ 48% ตามลำดับ ในช่วงนี้ค่า SVI มีค่าอยู่ในช่วง 125-190 มล./ก. ซึ่งบอถึงการตกตะกอนที่ตีฟอย เนื่องจากเกิดปัญหาต่างๆ เช่น Sludge Bulking ส่งผลให้มีสลัดจ์หลุดออกมากกับน้ำทิ้ง น้ำที่ผ่านการบำบัดยังมีค่าซีโอดีสูงและมี สีดำ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จึงควรนำไปใช้ใหม่ เช่น นำไปรดน้ำ หรือหาทางบำบัดด้วยวิธีอื่นต่อไป การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีค่า 0.15 มก.เซลล์ซีโอดี/มก.ซีโอดี น้ำเสียมีค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอยู่ที่ประมาณ 22% และพบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ตามความเข้มข้นของซีโอดีออกที่ย่อยสลายได้ โดยมีค่าคงที่ (k1) ของปฏิกิริยาเท่ากับ 0.0012 ล.ต่อมก.ของแข็งแขวนลอยต่อวัน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5470116421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: HARDBOARD MILL / ACTIVATED SLUDGE / PULP MILL / SLUDGE AGES

KANYALUCK CHANTAYMA: HARDBOARD MILL SECOND STAGE WASTEWATER TREATMENT BY COMPLETELY MIXED ACTIVATED SLUDGE PROCESS. ADVISOR: ASST. PROF. SARUN TEJASEN, PH.D., 126 pp.

This research studied the efficiencies, COD removal rates, and kinetic parameters of a completely mix activated sludge process treating real wastewater from hardboard mill after pretreatment of anaerobic process. Flow rate was controlled at 8 L/d , 5 liters reactor was used for studied sludge ages of 0.4, 0.7, 1.03, and 1.62 day, and 10 liters reactor was used for studied sludge ages of 6.1, 10.4, 10.6, and 15.5 day. Analytical parameters were pH, DO, TCOD, sCOD, MLSS, MLVSS, TS, and microscopic examination. Results showed that low efficiencies clarifier disposed a lot of sludge with effluents resulting in the reduction of sludge age by 54.6% to 0.4, 0.7, 1.03, 1.62, 6.1, 10.4, 10.6, and 15.5 days instead of 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20 and 30 days, respectively. During first period, average TCOD and sCOD inputs were $7,040 \pm 6.80$ mg/L and $6,240 \pm 70$ mg/L, respectively. Results showed that TCOD and sCOD removal rates at sludge age of 1.62 days were the highest at 4.21 ± 0.10 and 4.85 ± 0.41 kg.COD/ m^3 -d. The best efficiency of sCOD removal was at 48% at sludge age of 1.62 days, and 24, 26, and 43% at sludge age of 0.4, 0.7, and 1.03 days, respectively. SVI were 25-92 ml/g indicated the proper sedimentation but because of wasting too much sludge, the system couldn't maintain good treatment efficiencies. During 2nd period, average TCOD and sCOD inputs were $4,324 \pm 34$ mg/L and $4,237 \pm 4$ mg/L, respectively. TCOD and sCOD removal rates at sludge age of 6.1 days were the highest at 1.45 ± 0.06 and 2.01 ± 0.09 kg.COD/ m^3 -d. The best efficiency of sCOD removal was at 59% at sludge age of 6.1 days, and 51, 48, and 48% at sludge age of 10.4, 10.6, and 15.5 days, respectively. SVI were 125-190 ml/g indicated the fair sedimentation, due to various problems such as sludge bulking. The treated water still had high COD and was in dark color, which was not acceptable by standards of disposal water. Therefore, recycle method such as irrigation or other treatment methods were needed. Low growth yield of 0.15 mg-cellsCOD/mg-COD was observed. Non-biodegradable COD was about 22%. COD removal rates were found to be a 1st-order kinetic reaction with effluent biodegradable COD with k_1 of 0.012 L/mgs/d.

Department: Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study: Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอ กราบขอบพระคุณต่อผู้ที่มีส่วนร่วมและให้ความช่วยเหลือ ให้ความอนุเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และ ให้ความช่วยเหลือ ในทุกๆด้าน ตั้งแต่เริ่มทำงานวิจัยตลอดจนงานวิจัยสำเร็จและสมบูรณ์ ซึ่งท่านอาจารย์เป็นบุคคลที่มีส่วนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติคุณ ตรุยานนท์ กรรมการภายนอกจากมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นผู้คอยแนะนำและให้ความช่วยเหลือ ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ (กรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชมรัฐ โอสถาพันธ์ (กรรมการ) และ ดร.กิตติคุณ ตรุยานนท์ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ให้การชี้แนะที่เป็นประโยชน์ และ แก้ไขจุดบกพร่อง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดประสบการณ์และความรู้ต่างๆ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจาก บริษัท โปรเกรสเทคโนโลยี คอนซัลแต้นส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ (ฮาร์ดบอร์ด) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้การช่วยเหลือตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว สำหรับการสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยเป็นที่ปรึกษา ให้กำลังใจ ช่วยเหลือ จงงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด).....	3
2.1.1 ข้อมูลทั่วไป.....	3
2.1.2 กระบวนการผลิตและน้ำเสียจากกระบวนการผลิต.....	4
2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ.....	6
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ.....	6
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส (Activated Sludge).....	8
2.3.1 การเกิดสลัดจ์ (Activated Sludge).....	9
2.3.2 การเจริญเติบโตของจุลชีพ.....	10
2.3.3 จุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสีย.....	11
2.3.4 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ.....	12
2.3.5 ประเภทของกระบวนการเอเอส.....	13
2.3.6 ตัวแปรสำหรับการควบคุมระบบเอเอส.....	18
2.3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอเอส.....	19
2.3.8 ปัญหาสำคัญในการเดินระบบเอเอส.....	21
2.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	23

2.4.1 การหาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield).....	23
2.4.2 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (nbCOD).....	24
2.4.3 การหาค่า.....	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย	31
3.1 แผนการทดลอง	31
3.2 อุปกรณ์และสารเคมี	31
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้	31
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	34
3.2.3 สารเคมี.....	34
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	35
3.3.1 การเตรียมน้ำเสียสำหรับการทดลอง	35
3.3.2 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	36
3.3.3 การเริ่มต้นระบบ (Start up).....	38
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	48
4.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	48
4.2 การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียแอสแบบแบทช์ (Batch)	50
4.3 การเดินระบบทั้งหมด	51
4.3.1 ซีโอดีละลาย	51
4.3.2 ของแข็งแขวนลอยในระบบ.....	54
4.4 อายุสลัดจ์.....	57
4.5 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญต่อการเดินระบบ	58
4.5.1 ซีโอดี (COD).....	58
4.5.2 อัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำ.....	62
4.5.3 ประสิทธิภาพการบำบัด	64
4.5.4 ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย	65
4.5.5 ของแข็งทั้งหมด (Total Solid).....	67

4.6 การตกตะกอน	69
4.7 ส่องกล้องจุลทรรศน์.....	71
4.8 สภาวะการทำงานของระบบเอเอส.....	73
4.8.1 พีเอช	73
4.8.2 ออกซิเจนละลายน้ำ.....	73
4.9 การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์.....	74
4.9.1 การศึกษาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield).....	74
4.9.2 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	76
4.9.3 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	80
5.1 ผลของการศึกษาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อายุสัปดาห์ต่างๆ	80
5.2 ผลของการตกตะกอนที่อายุสัปดาห์ต่างๆ	80
5.3 ผลของการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์.....	81
5.4 ความสำคัญด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้งาน.....	81
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	81
รายการอ้างอิง	82
ภาคผนวก.....	85
ภาคผนวก ก.....	86
ภาคผนวก ข.....	108
ภาคผนวก ค.....	122
การคำนวณค่าจลนพลศาสตร์ของงานวิจัยนี้.....	122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	126

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย WHITE WATER	6
ตารางที่ 2-2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย BLACK WATER.....	6
ตารางที่ 2-3 สรุปข้อดี-ข้อเสียระบบบำบัดแบบใช้อากาศ	7
ตารางที่ 2-4 สรุปข้อดี-ข้อเสียระบบบำบัดแบบจุลินทรีย์แขวนลอยกับจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง ...	8
ตารางที่ 2-5 ข้อแตกต่างระหว่างระบบเอเอสแบบธรรมดา กับแบบยืดเวลา.....	15
ตารางที่ 3-1 ค่าพารามิเตอร์น้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์น้ำเสียโรงงานก่อนบำบัดจำนวน 7 ครั้ง	35
ตารางที่ 3-2 การแปรค่าอายุตะกอนและอัตราการทิ้งตะกอนที่อัตราการบำบัดสูง	39
ตารางที่ 3-3 การแปรค่าอายุตะกอนและอัตราการทิ้งตะกอนที่อัตราการบำบัดต่ำ.....	42
ตารางที่ 3-4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	44
ตารางที่ 4-1 การเก็บน้ำเสียจากโรงงานไม่อัดแผ่นเรียบ จำนวน 7 ครั้ง	48
ตารางที่ 4-2 ลักษณะของน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์	50
ตารางที่ 4-3 ค่าอายุสลัดจ์ที่กำหนดและอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบ	57
ตารางที่ 4-4 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญที่เข้าระบบ	68
ตารางที่ 4-5 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญในถังเติมอากาศ	68
ตารางที่ 4-6 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญที่ออกจากระบบ	68
ตารางที่ 4-7 สภาวะการทำงานของระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์	73
ตารางที่ 4-8 รายละเอียดการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	75
ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์กับงานวิจัยอื่นๆ.....	79

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 โรงงานอะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด).....	3
ภาพที่ 2-2 กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ	5
ภาพที่ 2-3 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา.....	10
ภาพที่ 2-4 จุลินทรีย์ที่พบต่ออายุสลัดจ์และปริมาณอาหาร	11
ภาพที่ 2-5 ส่วนประกอบระบบบำบัดน้ำเสียแอกติเวทเต็ดสลัดจ์.....	12
ภาพที่ 2-6 กระบวนการเอเอสแบบธรรมดา.....	14
ภาพที่ 2-7 กระบวนการเอเอสแบบยี่เวลา	15
ภาพที่ 2-8 กระบวนการเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส.....	16
ภาพที่ 2-9 บ่อหรือสระเติมอากาศ.....	16
ภาพที่ 2-10 กระบวนการแอกติเวทเต็ดสลัดจ์แบบคววนเวียน	17
ภาพที่ 2-11 ระบบเอสปีอาร์.....	18
ภาพที่ 2-12 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	23
ภาพที่ 2-13 กราฟแสดงค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	24
ภาพที่ 2-14 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ MONOD.....	25
ภาพที่ 3-1 ถังพักน้ำเสีย.....	31
ภาพที่ 3-2 เครื่องสูบน้ำ และ สูบตะกอนส่วนเกิน	32
ภาพที่ 3-3 แผนภาพแสดงระบบบำบัดน้ำเสีย	33
ภาพที่ 3-4 ภาพระบบบำบัดน้ำเสียจริงในการทดลอง	33
ภาพที่ 3-5 เครื่องเติมอากาศ + หัวเติมอากาศ	34
ภาพที่ 3-6 การเตรียมน้ำเสียสำหรับการทดลอง	35
ภาพที่ 3-7 แพลนด้านบนของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส	36
ภาพที่ 3-8 แพลนข้างของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส	37
ภาพที่ 3-9 แผนผังการทดลองที่ 1	40
ภาพที่ 3-10 แผนผังการทดลองที่ 2.....	43
ภาพที่ 3-11 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	45
ภาพที่ 3-12 กราฟแสดงค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	46
ภาพที่ 3-13 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ MONOD.....	47
ภาพที่ 4-1 น้ำเสียจากกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ	49
ภาพที่ 4-2 น้ำเสียจากกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง	50

ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงซีโอติละลายเข้าและออกที่อายุสลัดจ์ต่างๆต่อวัน	52
ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงซีโอติละลายเข้าและออกที่อายุสลัดจ์ต่างๆต่อวัน	53
ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยเข้า เติมอากาศ ออกที่อายุสลัดจ์ต่างๆต่อวัน	55
ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยเข้า เติมอากาศ ออกที่อายุสลัดจ์ต่างๆต่อวัน	56
ภาพที่ 4-7 อายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบต่ออายุสลัดจ์ที่กำหนด	58
ภาพที่ 4-8 ความเข้มข้นซีโอติทั้งหมดและซีโอติละลายเฉลี่ยที่เข้าและออกจากระบบ	59
ภาพที่ 4-9 ความเข้มข้นซีโอติทั้งหมดและซีโอติละลายเฉลี่ยที่เข้าและออกจากระบบ	60
ภาพที่ 4-10 ความเข้มข้นของซีโอติที่เปลี่ยนแปลงไปที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน เมื่อเติมอากาศต่อเนื่อง..	61
ภาพที่ 4-11 ความเข้มข้นของซีโอติที่เปลี่ยนแปลงไปที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน เมื่อเติมอากาศต่อเนื่อง..	61
ภาพที่ 4-12 อัตราการบำบัดซีโอติทั้งหมดและซีโอติละลายน้ำต่ออายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน	63
ภาพที่ 4-13 อัตราการบำบัดซีโอติทั้งหมดและซีโอติละลายน้ำต่ออายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน	63
ภาพที่ 4-14 ประสิทธิภาพการบำบัดต่ออายุสลัดจ์ต่างๆ	64
ภาพที่ 4-15 ค่าของแข็งแขวนลอยต่ออายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน.....	65
ภาพที่ 4-16 ค่าของแข็งแขวนลอยต่ออายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6, 15.5 วัน	66
ภาพที่ 4-17 ค่า SV_{30} ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน.....	70
ภาพที่ 4-18 ค่า SV_{30} ที่อายุสลัดจ์ 15.5 วัน.....	71
ภาพที่ 4-19 FREE SWIMMING CILIATES	72
ภาพที่ 4-20 CRAWLING CILIATES.....	72
ภาพที่ 4-21 FILAMENTOUS BACTERIA.....	72
ภาพที่ 4-22 ความเข้มข้นซีโอติที่เปลี่ยนแปลงไปต่อวัน	74
ภาพที่ 4-23 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	75
ภาพที่ 4-24 ซีโอติที่เหลือต่อซีโอติเริ่มต้น.....	76
ภาพที่ 4-25 อัตราการบำบัดจำเพาะต่อซีโอติออกจากระบบ	77
ภาพที่ 4-26 อัตราการบำบัดจำเพาะต่อซีโอติออกจากระบบ	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการไม้เพื่อใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกๆปี ทำให้เกิดปัญหาการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า ส่งผลทำให้ปริมาณป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่แล้วมักนำไม้ไปใช้ในแง่ของการสร้างที่อยู่อาศัย การทำเฟอร์นิเจอร์ กระจาดาช เป็นต้น อุตสาหกรรมไม้อัดแผ่นเรียบ (Hardboard) เป็นอุตสาหกรรมการผลิตไม้อัดที่สามารถตอบสนองความต้องการการใช้ไม้ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งข้อดีของไม้อัดคือ มีน้ำหนักเบา แข็งแรง โดยอุตสาหกรรมไม้อัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน (กรมป่าไม้, 2553) ในปัจจุบันมีผู้ผลิตรายใหญ่รวม 5 ราย มีกำลังการผลิตรวมกันประมาณปีละ 1.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (โครงการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนภายใต้กฎเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมโลก, 2013) กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบจะใช้กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) ซึ่งมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน น้ำเสียที่ออกจากโรงงานจึงมีปริมาณสูง อีกทั้งยังมีค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอยสูง และมีพีเอชต่ำ ดังนั้นในการปล่อยน้ำเสียออกจากโรงงานหรือนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ต้องนำน้ำเสียมารผ่านการบำบัดให้ได้มาตรฐานเสียก่อน การบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือนำกลับมาใช้ใหม่ มีด้วยกันหลากหลายวิธีทั้งทางเคมี ทางชีวภาพ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ได้แก่ ระบบเอเอส (Activated Sludge) เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ซึ่งเป็นระบบที่อาศัยการทำงานของสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของมลสารในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกลดลงและยังเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง สามารถรับภาระบรรทุสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบเอเอสมีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบ เช่น แบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge) แบบยืดเวลา (Extended Aeration Activated Sludge) กระบวนการคูวนเวียน (Oxidation Ditch Process) แบบปรับเสถียรสัสมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge) เป็นต้น แต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ในการออกแบบระบบเอเอสนั้น มักนำค่าจลนพลศาสตร์มาใช้ในการออกแบบ เนื่องจากค่าจลนพลศาสตร์เป็นตัวแปรในการควบคุมการทำงานของระบบให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของน้ำเสียแต่ละประเภทได้ อีกทั้งยังสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

งานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมไม้อัดแผ่นเรียบที่ผ่านการบำบัดระบบไร้อากาศมาแล้ว มาทำการศึกษาการบำบัดด้วยระบบเอเอส โดยเปลี่ยนค่าอายุตะกอน และศึกษาผลที่ได้ เช่น ค่าซีโอดีที่ย่อยสลายยาก ประสิทธิภาพและอัตราการบำบัด และค่าจลนพลศาสตร์ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบจริงต่อไปและยังพบว่าในปัจจุบันข้อมูลการออกแบบและจำนวนผู้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมไม้อัดแผ่นเรียบยังมีไม่มากนัก จึงเป็นแรงจูงใจในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและการตกตะกอน โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอสที่ค่าอายุสลัดจ์ต่างๆ

1.2.2 ศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอสเพื่อใช้ในการออกแบบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการด้วยระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส เตินระบบ ที่อุณหภูมิตั้งที่ ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมี การกำหนดขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบซึ่งผ่านระบบบำบัด ไร้อากาศมาแล้ว

1.3.2 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ทำงานมีขนาด (Effective Volume) 5 และ 10 ลิตร

1.3.3 อัตราการบำบัดสูง (High rate) ถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร แปรค่าอายุสลัดจ์ (Sludge age) ซึ่งควบคุมโดยอัตราการทิ้งสลัดจ์

1.3.4 อัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) ถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร แปรค่าอายุสลัดจ์ (Sludge age) ซึ่งควบคุมโดยอัตราการทิ้งสลัดจ์

1.3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ C_i , Y , k_m , K_s

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบเอเอสแบบ กวนสมบูรณ์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด)

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป (บริษัท อะโกรไฟเบอร์ จำกัด, 2013)

บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด) ก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ.2547 ด้วยทุนจดทะเบียน 400 ล้านบาท มีจุดมุ่งหมายในการผลิต แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard หรือ MDF) , แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นสูง (Hardboard หรือ HB) และพาเลทไม้ ลังไม้ (Wooden Pallet & Case) ซึ่งเป็นวัสดุสำคัญในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ โดยผลิตจาก ไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์จากบริษัทในเครือ Double A Alliance เพื่อให้มีคุณภาพ โดยไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้เป็นวัตถุดิบจากป่าปลูก แทนการใช้ไม้จากป่าธรรมชาติ กรรมวิธีการผลิตจะผ่านการอัดแน่นด้วยความร้อนและกาวด้วยกรรมวิธีแบบเปียก เพื่อให้ได้แผ่นใยไม้ อัดที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูง แข็งแรง เหมาะกับการนำไปใช้งานที่หลากหลาย โดยกำลังการผลิตแผ่นใยไม้ อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) กว่า 100,000 ลบ.ม./ปี แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นสูง (Hard Board) กว่า 5,400,000 แผ่น/ปี พาเลทไม้และบรรจุภัณฑ์จากไม้ (Wooden Pallet) กว่า 600,000 ลบ.ฟ./ปี

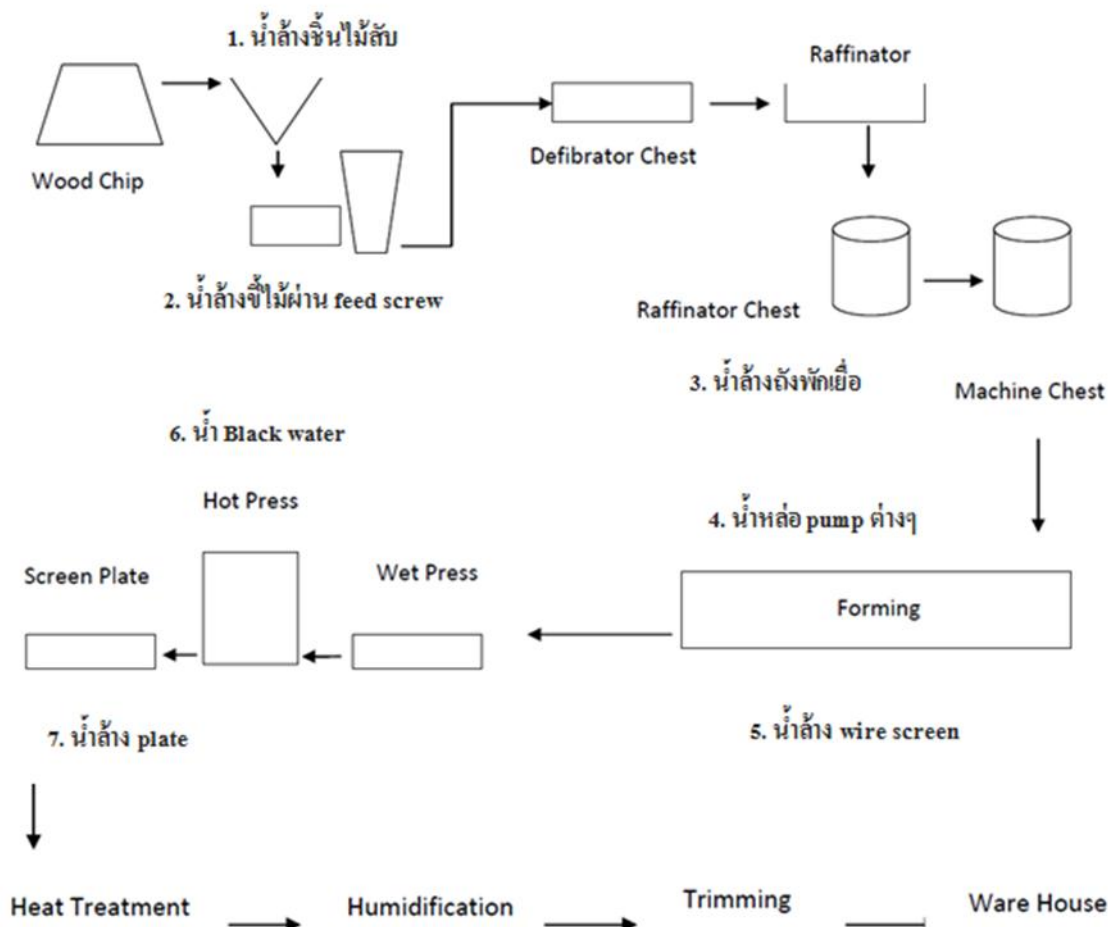


ภาพที่ 2-1 โรงงานอะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด)

2.1.2 กระบวนการผลิตและน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบเป็นการผลิตแบบเปียก (Wet Process) ทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต รายละเอียดของกระบวนการผลิต และน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต มีดังนี้ (บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536)

1. เตรียมชิ้นไม้สับ - นำเศษไม้ที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปไม้ เข้าสู่เครื่องสับ ซึ่งเศษไม้เหล่านี้จะถูกสับ จากนั้นชิ้นไม้สับจะถูกลำเลียงเข้าสู่ตะแกรงคัดขนาดเพื่อคัดแยกกรวด หิน ดิน ททราย ออก
2. เตรียมเส้นใย - ชิ้นไม้สับจะผ่านเข้าเครื่อง screw feeder เพื่อลำเลียงเข้าสู่ถังนี้้ง (preheater) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในขั้นนี้จะทำให้ลิกนินอ่อนตัวและบดได้ง่ายขึ้น จากนั้นจะนำเข้าสู่เครื่องบดหยาบ (defibrator) และเครื่องบดละเอียด (raffinator)
3. ทำแผ่นเยื่อเปียก - เมื่อบดเยื่อแล้ว ทำการปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมแล้วส่งไปยังเครื่องทำแผ่นเยื่อเปียก (wet forming machine) แผ่นเยื่อเปียก (wet lap) จะเคลื่อนไปตามสายพาน มีการตัดขอบด้วยน้ำผ่านหัวฉีด (water jet) จากนั้นแผ่นเยื่อเปียกจะเข้าสู่แผ่นเหล็กลำเลียง (transport plate) เตรียมเข้ากระบวนการอัดร้อน
4. อัดร้อน - แผ่นเยื่อเปียกเข้าสู่เครื่องอัดร้อน ด้านบนของเครื่องอัดร้อนจะมีแผ่นเหล็กสำหรับขัดมัน (polished plate) เพื่อขัดผิวหน้าไม้อัดแผ่นเรียบให้เป็นมัน ด้านล่างจะมีแผ่นเหล็กกรองอัด (wear plate) เครื่องอัดร้อนทำงาน 3 ช่วง ช่วงแรก ป้อนน้ำออกโดยใช้แรงอัดสูง 50 กก./ซม² และอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ใช้เวลาค่อนข้างสั้น ช่วงที่สองจะลดแรงดันลงเหลือประมาณ 20 กก./ซม² เพื่อระบายไอน้ำออกและช่วงสุดท้ายจะเพิ่มแรงดันให้สูงเกือบเท่าช่วงแรก เพื่อให้ได้เส้นใยที่แข็งแรง
5. อบร้อน - ขั้นตอนนี้จะทำให้แผ่นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ ซึ่งปกติแล้วจะอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ซึ่งไม่มีการเติมกาหรือสารใดๆลงไป
6. เพิ่มความชื้น - ไม้อัดแผ่นเรียบที่ออกจากการอบร้อนจะมีความชื้นที่ต่ำมาก จำเป็นต้องเพิ่มความชื้นให้กับไม้ ให้ใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โดยนำแผ่นไม้เข้าสู่ห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง เป็นเวลาหลายชั่วโมง
7. ตัดขอบ - แผ่นไม้จะถูกส่งไปตัดขอบและแบ่งตามขนาดที่ต้องการ เศษที่เหลือจากการตัดขอบจะนำไปใช้ทำเชื้อเพลิงมากกว่านำกลับไปทำเยื่อใหม่



ภาพที่ 2-2 กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ
(บริษัท อะโกรไฟเบอร์ จำกัด, 2013)

ภาพที่ 2-2 เป็นกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทุกขั้นตอนการผลิตมีน้ำเสียเกิดขึ้น ทำให้ในการผลิตแต่ละครั้งมีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณมาก โดยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำเสีย White water เป็นน้ำเสียที่มาจากน้ำล้างชิ้นไม้สับ น้ำล้างซี่ไม้ผ่าน screw น้ำล้างถังพักเยื่อ น้ำหล่อเย็นเครื่องมือต่างๆ น้ำล้าง Wire Screen น้ำล้าง Plate น้ำล้างพื้น ฯลฯ น้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีของแข็งแขวนลอยสูง ควรมีเครื่องสลัดเยื่อ (Centrifuge) เพื่อลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสีย White water ที่วัดได้จากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย White Water

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้
พีเอช	3.5±0.11
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	9,332±1492
ซีโอดีละลาย (มก./ล.)	7,209±127
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)	338±12

2. น้ำเสีย Black Water เป็นน้ำเสียที่ออกจากขั้นตอนการอัดร้อนเพียงขั้นตอนเดียว น้ำเสียนี้จะมีลักษณะเป็นสีดำ มีค่าซีโอดีที่สูง โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสีย Black water ที่วัดได้จากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย Black Water

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้
พีเอช	3.8±0.14
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	15,600±1886
ซีโอดีละลาย (มก./ล.)	11,764±115
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)	638±4

2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

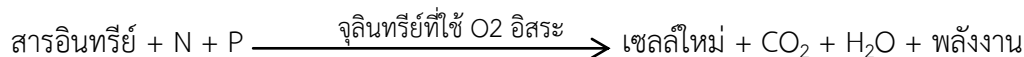
เนื่องจากโรงงานตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมนิคม 304 จังหวัดปราจีนบุรี ระบบบำบัดน้ำเสียจึงเป็นระบบรวมส่วนกลางของนิคม ซึ่งสามารถรองรับและบำบัดน้ำเสียจากโรงงานต่างๆ ในเขตอุตสาหกรรมได้ถึง 46,000 ลบ.ม./วัน ด้วยระบบบำบัดที่ได้มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด และมีการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นทางโรงงานจึงมีเพียงบ่อรวบรวมน้ำเสียแล้วถูกส่งไปยังระบบบำบัดส่วนกลางเท่านั้น

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอิสระหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศเป็นระบบที่อาศัยกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีพ (Aerobic microorganism) โดยส่วนมากจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเป็นแบคทีเรียกลุ่ม Aerobic heterotrophic bacteria (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) จะทำการย่อยสลาย กำจัด และบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เซลล์ใหม่ และ พลังงาน ซึ่งขั้นตอนการย่อยสลายจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ (สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ & ปราโมช เขียวชาญ, 2548)

ขั้นตอนที่ 1 จุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์ (enzyme) ออกมาย่อยสารอินทรีย์ที่เกาะอยู่บริเวณผนังเซลล์ แล้วเปลี่ยนจากสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของโมเลกุลขนาดเล็กลงพอที่จะเข้าสู่เซลล์ได้

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนนี้จะเกิดกระบวนการชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อได้พลังงานออกมาใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆและมีเซลล์ใหม่เกิดขึ้น สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้



สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของเซลล์ใหม่ เซลล์ที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่เรียกว่า ฟล็อก (floc) เมื่อฟล็อกเหล่านี้รวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น จะสามารถแยกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการตกตะกอน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนมีทั้งข้อดีและข้อเสีย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สรุปข้อดี-ข้อเสียระบบบำบัดแบบใช้อากาศ

ประเด็น	ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ	
	ข้อดี	ข้อเสีย
อัตราการระบรทุก	ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำน้อย ถึงปฏิกิริยาจึงมีขนาดเล็ก ประหยัดพื้นที่มากกว่าแบบไม่ใช้อากาศ	รองรับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้ต่ำกว่าแบบไม่ใช้อากาศ
สารอาหารเสริม	บางระบบสามารถกำจัดสารอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสได้	ต้องการอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน(N) และ ฟอสฟอรัส (P) เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์ใหม่
การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	จุลินทรีย์เจริญเติบโตเร็ว และใช้เวลาในการเริ่มเดินระบบ (Start up) เร็วกว่าแบบไม่ใช้อากาศ	จุลินทรีย์ไม่ทนต่อสภาวะขาดอากาศ อาจตายได้ง่ายเมื่อขาดอากาศ
การผลิตพลังงาน	-	ไม่ได้พลังงานในรูปของก๊าซมีเทนกลับมาใช้งาน
ความต้องการพลังงาน	-	ต้องการพลังงานในการเติมอากาศจำนวนมาก
คุณภาพน้ำทิ้ง	ประสิทธิภาพการบำบัดสูง น้ำทิ้งผ่านมาตรฐาน	-
สลัดจ์ส่วนเกิน	-	มีปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินในรูปของเซลล์จุลินทรีย์จำนวนมาก
ปัญหากลิ่นรบกวน	ไม่มีกลิ่น หรือ มีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นน้อย และมีความเสถียรมากกว่าแบบไม่ใช้อากาศ	-

ที่มา: (สิริรัตน์ สุวนิชย์เจริญ & ปราโมช เชี่ยวชาญ, 2548)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. ระบบบำบัดแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะติดผิวตัวกลาง หรือ ระบบฟิล์มตรึง (fixed film system) เช่น ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) และ ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) เป็นต้น

2. ระบบบำบัดแบบจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ (suspended system) เช่น บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) ระบบเอเอส (Activated Sludge) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้เป็นระบบบำบัดที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบแบบเอเอสเนื่องจากเป็นระบบที่ดูแลง่าย เป็นที่นิยม มีประสิทธิภาพสูง ใช้พื้นที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบบ่อแอโรบิกและบ่อเติมอากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบจุลินทรีย์แขวนลอยกับจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลางมีข้อดีและข้อเสีย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 สรุปข้อดี-ข้อเสียระบบบำบัดแบบจุลินทรีย์แขวนลอยกับจุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง

ประเด็น	ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ	
	ข้อดี	ข้อเสีย
อัตราการระบรทุก	รองรับอัตราการระบรทุกสูง เนื่องจากมีการเติมอากาศ	รองรับอัตราการระบรทุกไม่สูง เนื่องจากมีออกซิเจนจำกัด
สารอาหารเสริม	ต้องการอาหารเสริมมากกว่า	ต้องการอาหารเสริมน้อยกว่า
การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงกว่า	การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์น้อยกว่า
ความต้องการพลังงาน	ต้องการพลังงานมากกว่า เพื่อใช้ในการเติมอากาศ	ต้องการพลังงานน้อยกว่า เนื่องจากใช้พลังงานสูบน้ำเท่านั้น
สลัดจ์ส่วนเกิน	มีตะกอนส่วนเกินมากกว่า	มีตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า
การบำรุงรักษา	แพงกว่า	ถูกกว่า
การปรับปรุง	มีลูกเล่นเพื่อปรับปรุงระบบมากกว่า	ไม่มีลูกเล่นในการปรับปรุงระบบ
ปัญหากลิ่นรบกวน	ไม่มีกลิ่น	มีกลิ่น หากภาวะสารอินทรีย์มาก

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส (Activated Sludge)

เป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากทั้งในประเทศไทย ประมาณ 80% หรือมากกว่า (ธีระ เกรอต, 2539) และต่างประเทศ โดยกระบวนการเอเอสเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศ โดยจะอาศัยการทำงานของสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของมลสารในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกตกลง ซึ่งในการควบคุมดูแลระบบนั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องมีความเข้าใจและมีการควบคุมสภาวะแวดล้อม ลักษณะทางกายภาพต่างๆให้เหมาะสมแก่การทำงานของจุลินทรีย์และการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้มี

ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538) ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสจะทำงานเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งมีจุลินทรีย์คอยกินมลสารในน้ำเสีย มลสารจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเซลล์ใหม่ เซลล์ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันเป็นฟล็อกจนมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากกว่าน้ำ และถูกแยกออกจากน้ำได้โดยง่ายด้วยวิธีการตกตะกอน ในส่วนของพลังงาน จะถูกนำไปใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลอยออกสู่อากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) ระบบเอเอสเป็นระบบที่สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียได้ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยระบบเอเอสมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ควบคุมดูแลง่าย มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีขนาดระบบเล็กกว่าเมื่อเทียบกับระบบบ่อแอโรบิกและบ่อเติมอากาศ อีกทั้งยังสามารถออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน ประเภทของน้ำเสีย ขนาดและพื้นที่ (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) แต่ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสส่วนใหญ่มักพบปัญหาในเรื่องของปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัวเนื่องมาจากแบคทีเรียชนิดเส้นใย (Filamentous Bacteria) ทำให้จุลินทรีย์ไม่จับตัวกันเป็นฟล็อก (Floc)

2.3.1 การเกิดสลัดจ์ (Activated Sludge) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545; สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552)

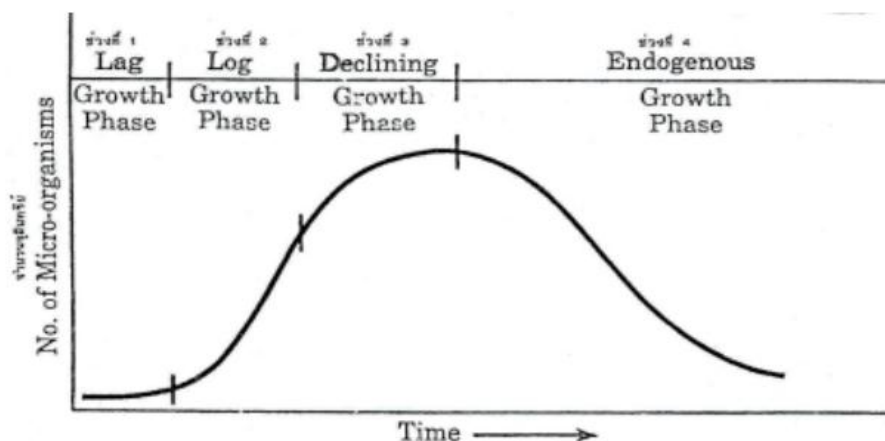
ขั้นตอนการเกิดสลัดจ์ (Activated Sludge) เกิดขึ้นต่อเนื่อง 3 ขั้นตอนในถังเติมอากาศ คือ ขั้นตอนส่งถ่าย จุลินทรีย์จะดูดติดสารอินทรีย์ในน้ำเสียมาไว้ที่ผนังเซลล์ แล้วทำการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น โดยมีการส่งเอนไซม์ (enzyme) ออกมา สารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของโมเลกุลขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่เซลล์ได้ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์จะต้องเป็นเอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสียต่างๆ และต้องใช้เวลาจุลินทรีย์ในการปรับตัว (Acclimatize) โดยเฉพาะในช่วงเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสีย (Start Up)

ขั้นเปลี่ยนรูป เมื่อสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของโมเลกุลขนาดเล็กด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Synthesis) จะมีเซลล์ใหม่เกิดขึ้น และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ซึ่งสองกระบวนการนี้รวมเป็นกระบวนการชีวเคมีที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ (Metabolic Process)

ขั้นรวมสลัดจ์ จุลินทรีย์จะถูกกวนผสมในถังเติมอากาศ จนมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) หรือ สลัดจ์ (Activated Sludge) เมื่อรวมตัวจนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่าน้ำ จะสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอน นอกจากนี้ สารแขวนลอย (Suspended material) หรือ คอลลอยด์ (Colloidal) จะกวนผสมกับน้ำเสีย จุลินทรีย์จะทำการย่อยมลสารเหล่านี้เป็นอาหารด้วย

2.3.2 การเจริญเติบโตของจุลชีพ

การเจริญเติบโต (Growth) ในทางจุลชีววิทยา หมายถึง การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ สามารถแบ่งการเจริญเติบโตได้เป็น 4 ระยะ (Phase) (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538; สันตัต ศิริอนันต์ไพบุลย์, 2552) แสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา
(คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538)

ช่วงที่ 1 อัตราการเพิ่มจำนวนตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ (Lag growth Phase) – จุลินทรีย์ต้องปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งเวลานี้จะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับ ชนิดของจุลินทรีย์ อาหาร และสภาพแวดล้อม

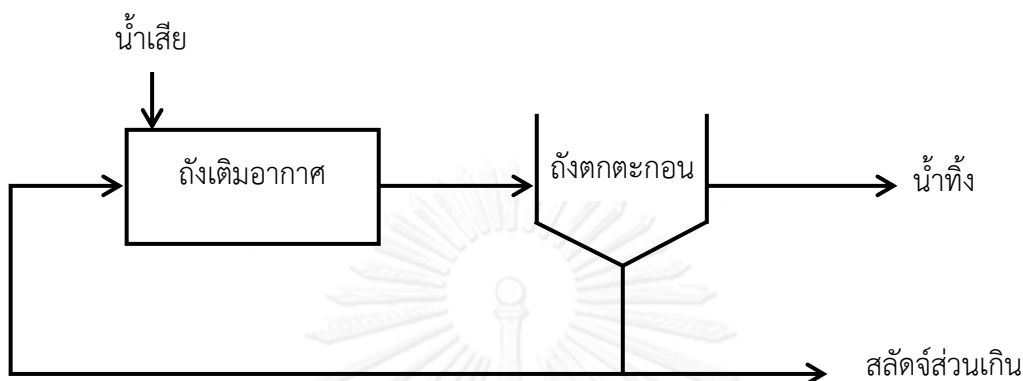
ช่วงที่ 2 จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Log growth phase) – จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสม่ำเสมอ เนื่องจากมีปริมาณอาหารเหลือจำนวนมาก จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะกระจายตัวไม่รวมตัวกันเป็นฟลอคที่ดี น้ำที่ออกจากระบบจึงขุ่น เนื่องจากมีสลัดจ์หลุดออกมากับน้ำทิ้ง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ยังคงมีค่าความสกปรกสูงอยู่

ช่วงที่ 3 การเจริญเติบโตของสลัดจ์จุลินทรีย์ลดลง (Stationary growth phase) – มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง เนื่องจากปริมาณสารอาหารมีอยู่อย่างจำกัด จุลินทรีย์สามารถรวมตัวเป็นฟลอคที่ดี ทำให้สามารถตกตะกอนและแยกออกจากน้ำได้ง่าย น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดี ใส ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของการควบคุมอัตราส่วนของอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ในระบบให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม

ช่วงที่ 4 สลัดจ์จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตาย (Endogenous growth phase) – ในระบบมีอาหารเหลืออยู่น้อยหรือไม่มีอาหารเลย จุลินทรีย์จะใช้อาหารที่เก็บสะสมอยู่ในตัวออกมาใช้จนหมดและตายลงและเซลล์แตก (Lysis) เมื่อเซลล์แตกจะปล่อยสารอินทรีย์ออกมาเพื่อเป็นอาหารให้จุลินทรีย์ตัวอื่น หากไม่มีอาหารในระบบจุลินทรีย์จะตายลงและลดจำนวนลง จุลินทรีย์ในช่วงนี้จะมีสารเฉื่อย (Inert Material) ผสมอยู่สูง มีความเข้มข้นสูง สามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว

2.3.4 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแอกติเวตเต็ดสลัดจ์มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 4 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน ส่วนหมุนเวียนสลัดจ์ และทิ้งสลัดจ์ แสดงดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ส่วนประกอบระบบบำบัดน้ำเสียแอกติเวตเต็ดสลัดจ์

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

1. ถังเติมอากาศ (Aeration Tank)

เป็นส่วนเติมอากาศให้กับระบบ จุลินทรีย์จะนำออกซิเจนมาใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ภายในถังเติมอากาศยังกวนผสมระหว่างน้ำเสียและจุลินทรีย์ให้สัมผัสกันอย่างทั่วถึงเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ค่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง และทำให้ฟลอคจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเพื่อง่ายต่อการตกตะกอน

2. ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)

เป็นการแยกของแข็งออกจากน้ำเสีย โดยการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ตะกอนจะถูกแยกออกจากน้ำ น้ำส่วนที่ใสสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ส่วนสลัดจ์จุลินทรีย์นั้นจะถูกนำไปกำจัดหรือนำกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศ

3. การหมุนเวียนสลัดจ์กลับ (Return Sludge)

เป็นการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ โดยจะเวียนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศให้มีความสมดุลกับสารอินทรีย์ของน้ำเสีย

4. การทิ้งสลัดจ์ (Removal Sludge)

การควบคุมอายุสลัดจ์ทำได้โดยการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบสามารถทำได้ 2 แบบ 1.ทิ้งจากถังเติมอากาศ 2.ทิ้งจากถังตกตะกอน ในการทิ้งสลัดจ์เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำ เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบให้มีค่าที่เหมาะสม

2.3.5 ประเภทของกระบวนการเอเอส

ระบบเอเอส สามารถแบ่งตามลักษณะใหญ่ๆได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการ (Process Organic Loading Range) (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538) สามารถแบ่งได้จาก อายุสลัดจ์ (Sludge age) หรือ อัตราส่วนอาหารต่อน้ำหนักจุลินทรีย์ (F/M Ratio) ในการแบ่งตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ 3 ช่วง ดังนี้

1. อัตราการบำบัดสูง (High Rate)

ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ในระบบมีค่าประมาณ 0.5-1.5 กก.บีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยระเหยได้-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1-3 ชั่วโมง ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ 4,000-5,000 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ค่าอายุสลัดจ์ต่ำกว่า 3 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ ร้อยละ 60-70 สลัดจ์ที่เกิดขึ้นจะจมตัวได้แต่แยกชั้นไม่ดี ในการควบคุมการทำงานช่วงนี้ค่อนข้างยาก น้ำที่ออกจากระบบมักมีคุณภาพไม่ดีนัก

2. อัตราการบำบัดธรรมดา (Conventional Rate)

ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ในระบบมีค่าประมาณ 0.2-0.5 กก.บีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยระเหยได้-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 4-8 ชั่วโมง ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ 1,500-3,000 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ค่าอายุสลัดจ์อยู่ในช่วง 5-15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ ร้อยละ 85-95

3. อัตราการบำบัดต่ำ (Low Rate or Extended Aeration Rate)

ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ในระบบมีค่าประมาณ 0.05-0.15 กก.บีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยระเหยได้-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำมากกว่า 24 ชั่วโมง ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ 3,500-6,000 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ค่าอายุสลัดจ์อยู่ในช่วง 20-40 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีได้ ร้อยละ 85-95 โดยมากมักใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก ซึ่งปัญหาที่พบ คือ มีสลัดจ์เม็ดเล็กหลุดออกมากับน้ำทิ้ง (Pin Floc) และอาจเกิดปัญหาสลัดจ์ลอยตัวเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

หมายเหตุ อัตราการบำบัดต่ำจะไม่มีถังตกตะกอนชั้นแรกเหมือน อัตราการบำบัดสูงและ อัตราการบำบัดธรรมดา เนื่องจาก เป็นการลดภาระการกำจัดสลัดจ์จากถังตกตะกอน ซึ่งเป็นสลัดจ์สดที่สามารถเน่าได้ง่าย

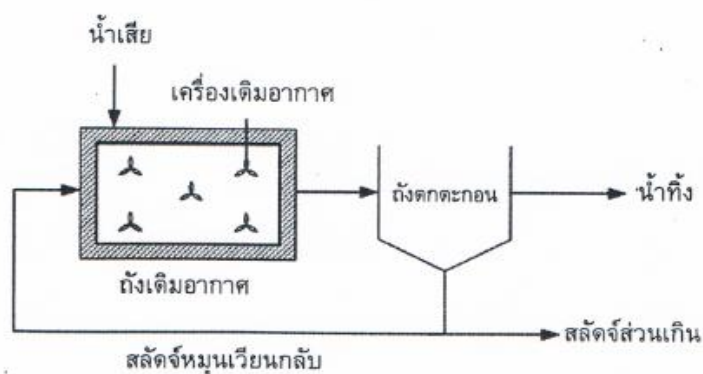
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งตามอัตราการบำบัดทั้ง 3 แบบ โดยกำหนดตามอายุสลัดจ์ที่อยู่ในถังเติมอากาศ ไม่ได้แบ่งตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ส่วนค่าความเหมาะสมในการเดินระบบเป็นตามดังทฤษฎี

2. แบ่งตามการจัดวางและรูปแบบถังเติมอากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

การแบ่งในลักษณะนี้จะคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน การควบคุมดูแลระบบ และที่สำคัญคำนึงถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายประเภท ดังนี้

1. กระบวนการเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge)

ระบบนี้ประกอบด้วย ส่วนเติมอากาศ และส่วนตกตะกอน แสดงดังภาพที่ 2-6 ภายในถังเติมอากาศจะเป็นการเติมอากาศแบบฟองหรือแบบไบพัตก็ได้ มีระยะเวลาที่ตกตะกอน (Sludge Retention Time, SRT) 5-10 วัน ข้อดีของการกวนแบบสมบูรณ์ คือ ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เส้นใย โดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างฟลอคจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์เส้นใย เนื่องจาก Concentration Gradient ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียอุตสาหกรรมซึ่งอาจมีสารพิษปนเปื้อนอยู่ด้วย ซึ่งการกวนสมบูรณ์จะเป็นการเจือจางสารพิษให้มีความเข้มข้นลดลง

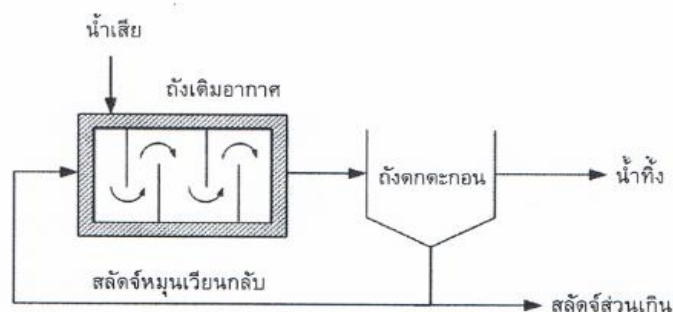


ภาพที่ 2-6 กระบวนการเอเอสแบบธรรมดา

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

2. กระบวนการเอเอสแบบยืดเวลา (Extended Aeration Activated Sludge)

ระบบนี้จะมีระยะเวลาเก็บกักน้ำนานกว่าระบบอื่น เพื่อต้องการให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียนานๆ เมื่ออาหารในระบบเริ่มน้อยลงจุลินทรีย์ได้รับอาหารน้อยลง จึงเกิดการย่อยสลายตัวเองทำให้ระบบนี้มีสลัดจ์ส่วนเกินเกิดขึ้นน้อย จึงไม่จำเป็นต้องมีถังหมัก แสดงดังภาพที่ 2-7 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอเอสแบบธรรมดา จะมีปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินเกิดขึ้นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีถังหมัก ซึ่งสลัดจ์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ต่างๆในระบบ และจะถูกย่อยให้อยู่ในรูปของสลัดจ์คงตัว ซึ่งสามารถนำไปทิ้งได้ ซึ่งความแตกต่างของ 2 ระบบนี้ สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2-5



ภาพที่ 2-7 กระบวนการเอเอสแบบยัดเวลา

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

ตารางที่ 2-5 ข้อแตกต่างระหว่างระบบเอเอสแบบธรรมดา กับแบบยัดเวลา

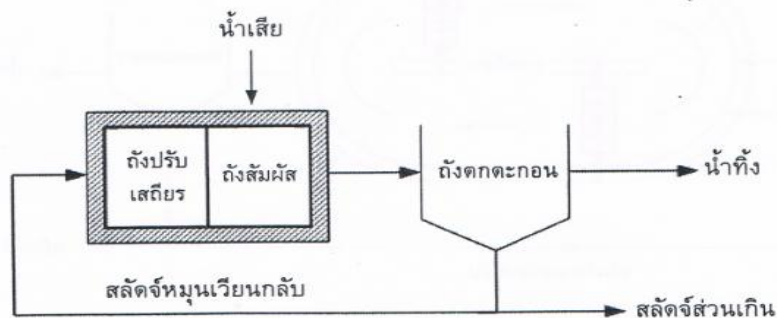
พารามิเตอร์	แบบธรรมดา	แบบยัดเวลา
SRT (วัน)	5-10	20 หรือมากกว่า
F/M (กก.BOD5/กก.VSS-วัน)	0.2-0.5	0.05-0.15
MLSS (มก./ล.)	น้อยกว่า 3,000	3,000-5,000
HRT (ชม.)	4-10	24 หรือมากกว่า

ที่มา: (มันสิน ตันฑูลเวศม์, 2542)

กระบวนการเอเอสแบบธรรมดา และ กระบวนการเอเอสแบบธรรมดา ไม่จำเป็นต้องมี ถังตกตะกอนชั้นแรก เนื่องจาก ค่า SRT ที่สูง สลัดจ์จะมีการย่อยสลายตัวเองไปพร้อมกับสารอินทรีย์ ในน้ำเสีย

3. กระบวนการเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge)

ระบบนี้จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถัง ได้แก่ ถังปรับเสถียร และ ถังสัมผัส ในขั้นแรกน้ำ จะเข้าสู่ถังปรับเสถียร โดยมีสลัดจ์ที่ถูกสูบกลับมาจากถังตกตะกอนชั้นที่ 2 เข้าสู่ถังปรับเสถียร ภายใน ถังนี้จะใช้เวลาประมาณ 4-8 ชั่วโมง เมื่อสลัดจ์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนหมด จะถูกส่งไปยัง ถังสัมผัส ซึ่งใช้เวลา 30-60 นาที เพื่อลดสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังนี้จะลดลง ตามปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ น้ำเสียและสลัดจ์ที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเข้าสู่ถังตกตะกอนชั้นที่ 2 น้ำส่วนบนสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ สลัดจ์จะถูกนำไปกำจัดและถูกสูบกลับเข้าสู่ถังเติม อากาศใหม่อีกครั้ง แสดงดังภาพที่ 2-8 ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถรองรับภาระสารอินทรีย์ได้ มากกว่าระบบอื่นเมื่อคิดเทียบตามปริมาณถังที่เท่ากัน สามารถรองรับสารพิษหรือภาระสารอินทรีย์ที่ เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว และ ตะกอนจุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้ดี

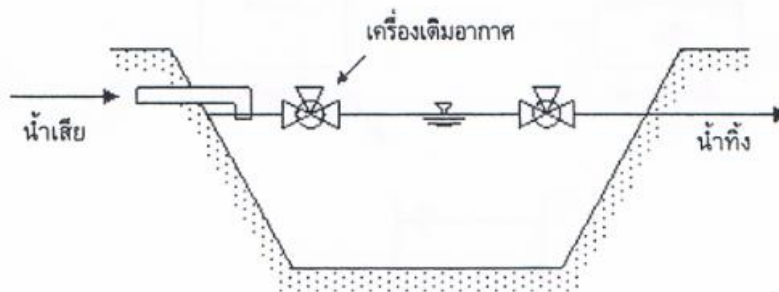


ภาพที่ 2-8 กระบวนการเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

4. บ่อหรือสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ส่วนใหญ่มักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ มีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศแบบลอยบริเวณผิวน้ำ ซึ่งมีระยะเวลาที่เก็บน้ำหลายวัน น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบเนื่องจาก ระบบนี้ไม่มีถังตกตะกอน ประสิทธิภาพของระบบจึงต่ำกว่าระบบอื่นๆ ค่าของแข็งแขวนลอยในระบบมีค่าต่ำกว่าระบบอื่นๆ (ต่ำกว่า 1,000 มก./ล.) เพราะไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์ แสดงดังภาพที่ 2-9

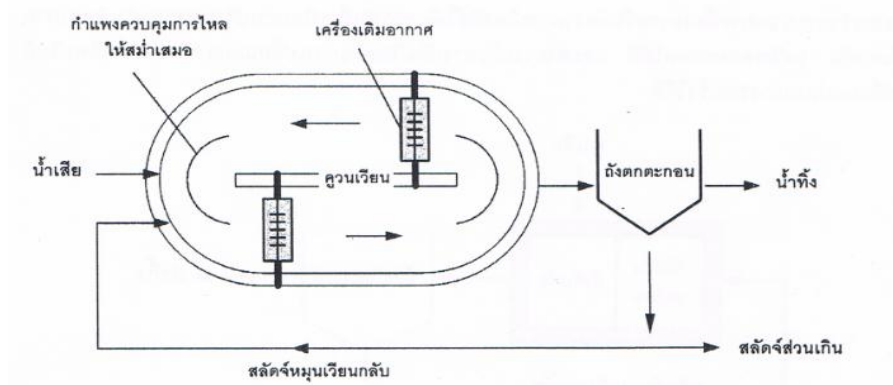


ภาพที่ 2-9 บ่อหรือสระเติมอากาศ

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

5. กระบวนการคูนวนเวียน (Oxidation Ditch Process)

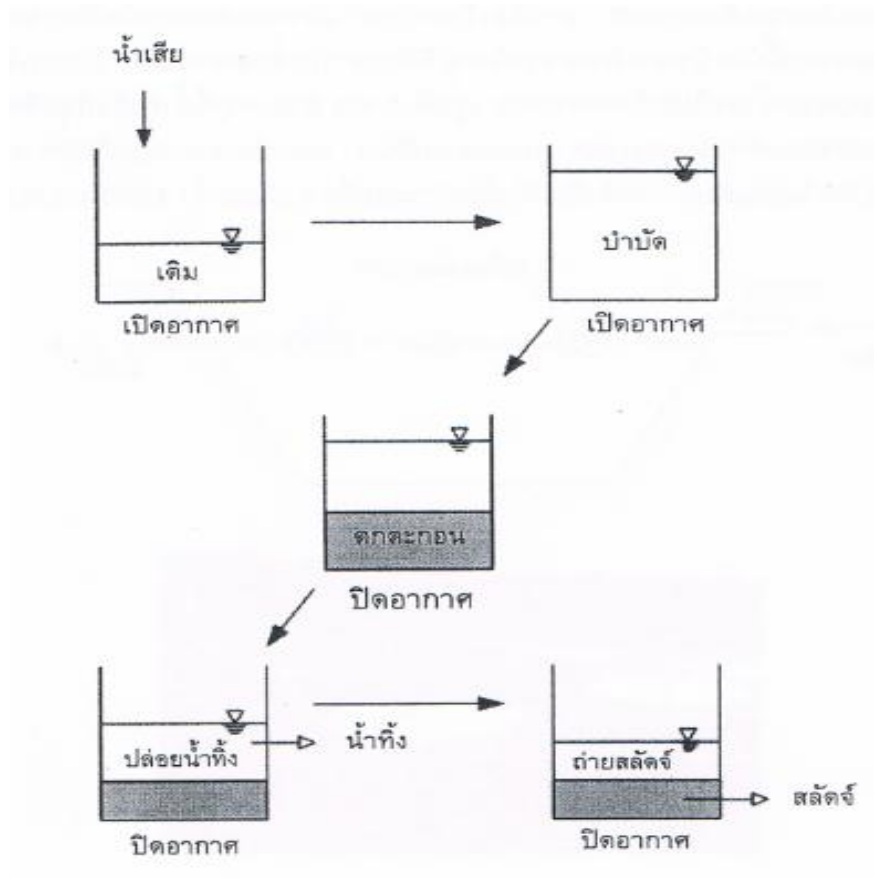
ใช้หลักการเดียวกับแบบยี่ดเวลา แตกต่างที่รูปแบบของถังคูนวนเวียนเป็นทรงรี น้ำในถังสามารถหมุนเวียนไปมาได้ แสดงดังภาพที่ 2-10 ระบบนี้เป็นระบบที่นิยมมากในประเทศไทย เนื่องจากเป็นระบบที่ดูแลไม่ยาก และมีประสิทธิภาพ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบผ่านมาตรฐานตามกฎหมาย



ภาพที่ 2-10 กระบวนการแอกติเวตเต็ดสลัดจ์แบบคูวนเวียน
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

6. ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR)

เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก โดยเหมาะกับโรงงานที่มีขนาดเล็ก มีปริมาณน้ำเสียไหล 4-8 ชั่วโมง/วัน หากใช้ระบบบำบัดแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Process) ต้องมีบ่อเก็บรวบรวมน้ำเสีย เพื่อให้มีน้ำเสียเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ระบบนี้เป็นระบบที่มีถังเติมอากาศและถังตกตะกอนอยู่ในถังเดียวกัน โดยน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศซึ่งมีจุลินทรีย์และเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ ประมาณ 22 ชั่วโมง จากนั้นจะหยุดเติมอากาศเพื่อให้เกิดการตกตะกอน ประมาณ 2 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 2-11 น้ำใสส่วนบนสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ระบบนี้เหมาะกับโรงงานขนาดเล็ก และในทางปฏิบัติมักมีถังบำบัดน้ำเสียมากกว่า 2 ถังขึ้นไป



ภาพที่ 2-11 ระบบเอสปีอาร์

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

ในงานวิจัยนี้สนใจระบบบำบัดเอเอสธรรมดา (Conventional Activated Sludge) แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) ซึ่งเหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีสารพิษปนเปื้อนอยู่ การกวนสมบูรณ์จะเป็นการเจือจางสารพิษให้มีความเข้มข้นลดลง

2.3.6 ตัวแปรสำหรับการควบคุมระบบเอเอส (กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ตัวแปรสำคัญที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบเอเอส มีดังนี้

1. อัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M Ratio)

สภาวะการทำงานที่ดีต้องมีอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ จะควบคุมในรูปของตะกอนแขวนลอย (MLSS) และ ตะกอนแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) สามารถคำนวณได้จาก

$$F/M \text{ Ratio} = \frac{\text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อวัน}}{\text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ในถังเติมอากาศ}}$$

$$= \frac{\text{อัตราการไหล (Q) ลบ.ม./วัน} \times \text{บีโอดี (BOD) มก./ล.}}{\text{ปริมาตรของถังเติมอากาศ (V) ลบ.ม.} \times \text{MLSS มก./ล.}}$$

หากค่า F/M ratio สูง แสดงว่าในระบบมีปริมาณอาหารสูงกว่าจำนวนจุลินทรีย์ โดยทำการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์หรือลดการทิ้งจุลินทรีย์ออกจากระบบ หากค่า F/M ratio ต่ำ แสดงว่า ปริมาณจุลินทรีย์มีมากเกินไป ต้องทำการทิ้งจุลินทรีย์เพิ่ม โดยค่า F/M ratio ควรอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 ต่อวัน ในส่วนของระบบที่มีอัตราการไหลและความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้ยากต่อการควบคุมด้วย F/M ratio โดยมากมักควบคุมด้วยอายุสลัดจ์แทน

2. อายุสลัดจ์ (Sludge Age)

ระยะเวลาที่สลัดจ์อยู่ในถังเติมอากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ หากควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่ ด้วยอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน จะทำให้อัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์คงที่ตามไปด้วย ซึ่งค่าอายุสลัดจ์สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำทิ้งที่สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อายุสลัดจ์ (วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (กก.)}}{\text{น้ำหนักของจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบต่อวัน (กก./วัน)}}$$

ดังที่กล่าวไว้ว่า การควบคุมอายุสลัดจ์ สามารถควบคุมโดยการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{สลัดจ์ส่วนเกิน (ลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนส่วนเกิน (กก.)}}{\text{ความเข้มข้นตะกอนส่วนเกิน (กก./ล.)}}$$

การทิ้งสลัดจ์มากเกินไปจะทำให้อายุสลัดจ์มีค่าลดลง เมื่ออายุสลัดจ์ลดลงทำให้มีปริมาณการทิ้งสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้น แต่หากมีการทิ้งสลัดจ์น้อยเกินไป จะทำให้ระบบไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากสลัดจ์มีอายุที่มากขึ้น เนื่องต่อการทำงาน ในการปรับค่าของอายุสลัดจ์ใช้เวลาประมาณ 1-3 เท่าของอายุสลัดจ์ เพื่อให้ระบบปรับตัวอยู่ในสภาวะคงที่ อายุสลัดจ์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5-15 วัน และ การควบคุมอายุสลัดจ์ยังเป็นการควบคุมภาระสารอินทรีย์ด้วย สามารถคำนวณค่าสลัดจ์ส่วนเกินที่ต้องทิ้งออกจากระบบได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการควบคุมก็ทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก

2.3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานระบบเอเอส (กรมโรงงานอุตสาหกรรม & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

1. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะกินสารอาหารและเจริญเติบโตขึ้นในกรณีที่อัตราส่วนของอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์มีสูง แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถเติบโตได้อย่างรวดเร็ว กระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย (Dispersed Growth) ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนได้ ทำให้เกิดการตกตะกอนที่ไม่ดี ดังนั้น น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไม่มีคุณภาพ ไม่ผ่านมาตรฐาน แต่หาก

อัตราส่วนของอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์มีค่าต่ำ แสดงว่าจุลินทรีย์เติบโตได้น้อยลง สามารถรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนและสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว แต่จะไม่สามารถจับมลสารขนาดเล็กให้ตกลงมาด้วย น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงมีความขุ่นที่อยู่สูง ดังนั้นจึงควรเลือกอัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ให้เหมาะสม

2. ธาตุอาหาร (Nutrient)

นอกจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียแล้ว ธาตุอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้สามารถพบได้ในน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) แต่สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมนั้น ธาตุอาหารเหล่านี้มีไม่เพียงพอ ทำให้การรวมตัวเป็นฟลอคของจุลินทรีย์รวมตัวกันได้ไม่ดี และยังพบว่าจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย (Filamentous) สามารถเจริญเติบโตได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดปัญหาสาส์ตจ์ไม่จมตัว และมีสาส์ตจ์หลุดออกมากับน้ำทิ้ง โดยอัตราส่วนของสารอาหาร BOD:N:P เท่ากับ 100:5:1 กิโลกรัม หรือ COD:N:P 150:5:1 ไนโตรเจนที่เติมมักเติมในรูปของแอมโมเนียหรือยูเรีย ส่วนฟอสฟอรัสจะเติมในรูปของ กรดฟอสฟอริก และเหล็ก ในการเติมธาตุอาหารต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม หากเติมมากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

3. ออกซิเจนละลาย (DO)

เป็นค่าออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งค่าออกซิเจนละลายที่เหมาะสมต่อระบบแเอเอสต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการละลายของออกซิเจนนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำ ค่าออกซิเจนจะมีค่าการอิ่มตัวสูง ทำให้ต้องการออกซิเจนน้อย แต่หากอุณหภูมิสูง ค่าออกซิเจนมีค่าการอิ่มตัวต่ำ ทำให้ต้องการออกซิเจนมาก จุลินทรีย์สามารถทำงานได้มาก

4. พีเอช (pH)

พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ คือ 6.5-8.5 ถ้าในระบบมีพีเอชต่ำกว่า 6.5 จะทำให้ รา (Fungi) เจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ การตกตะกอนและประสิทธิภาพในการบำบัดจะไม่ดี แต่ถ้าพีเอชในระบบมีค่าสูง ฟอสฟอรัสจะเกิดการตกผลึก (Precipitate) และแยกออกจากน้ำ จุลินทรีย์จะไม่สามารถนำฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ได้ ค่าพีเอชที่สูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้จุลินทรีย์ตาย

5. ระยะเวลาในการบำบัด (HRT)

การมีระยะเวลาในการบำบัดที่เหมาะสม จะทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยมลสารในน้ำเสียได้หมด ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพ ผ่านมาตรฐาน หากระยะเวลาในการบำบัดน้อยเกินไป มลสารในน้ำเสียยังย่อยไม่หมด ส่งผลให้น้ำทิ้งยังคงมีค่าบีโอดีที่สูงอยู่และน้ำทิ้งไม่ผ่านมาตรฐาน เช่นเดียวกับถังตกตะกอน หากระยะเวลาในการตกตะกอนน้อยเกินไป ทำให้ตกตะกอนได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้สาส์ตจ์หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง แต่หากระยะเวลาในการบำบัดมากเกินไป สาส์ตจ์จะเกิดภาวะขาดออกซิเจนและเกิดการเน่าได้

6. อุณหภูมิ (Temperature)

มีความสำคัญต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์โตขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงเกินไป จุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้น้อยลง ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำทำได้ยาก จึงได้ปรับความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศแทน ที่อุณหภูมิสูงๆจะปรับให้ความเข้มข้นของสลัดจ์น้อย ขณะที่อุณหภูมิต่ำๆจะปรับเพิ่มความเข้มข้นของสลัดจ์ให้มาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่อุณหภูมิไม่แตกต่างกันจึงไม่จำเป็นต้องปรับความเข้มข้นของสลัดจ์ ถึงตกตะกอนเองก็มีผลกระทบเช่นกัน ที่อุณหภูมิต่ำการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะเกิดการไหลวนของน้ำ

7. การกวน

การกวนเป็นการผสมระหว่างจุลินทรีย์กับน้ำเสียให้มีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึง จะทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนั้นการกวนยังทำให้สลัดจ์สามารถจับตัวเป็นฟล็อกไม่ตกตะกอนในถังเติมอากาศ แต่การกวนต้องไม่เกิดการกวนแบบไหลลัดวงจร แต่ต้องเกิดการกวนแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) จะทำให้ค่า MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) และค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายอย่างสม่ำเสมอ

8. อัตราการไหลของน้ำเสีย

อัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ในกรณีอัตราการไหลสูงเกินไป จะทำให้น้ำเสียมีระยะเวลาอยู่ในระบบน้อยลง สารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ทั้งหมด เมื่อเข้าสู่ถังตกตะกอน ระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนชั้นที่สองจะลดน้อยลงไปด้วย ประสิทธิภาพการบำบัดจะไม่ดี แต่หากอัตราการไหลน้อยเกินไป จะส่งผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีบ่อปรับเสถียร (Equalizing Tank) เพื่อให้มีอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบคงที่

9. สารพิษ (Toxic)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบสารพิษเฉียบพลัน เมื่อจุลินทรีย์ได้รับจะทำให้จุลินทรีย์ตายภายในระยะเวลาอันสั้น เช่น สารหนู ไซยาไนด์ และแบบออกฤทธิ์ช้า จุลินทรีย์จะค่อยๆตายลง เช่น ทองแดง โลหะหนักต่างๆ ซึ่งจุลินทรีย์จะเก็บสารพิษเหล่านี้ไว้ในเซลล์จนเป็นพิษและตายลง นอกจากนั้นยังมีสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ เช่น แอนโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

2.3.8 ปัญหาสำคัญในการเดินระบบเอเอส (บทความตีพิมพ์สารฯ., 2013; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ปัญหาในการเดินระบบที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียและการตกตะกอน ได้แก่ พีเอช อัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ อายุสลัดจ์ เป็นต้น โดยปัญหาที่พบในระบบมี ดังนี้

1. การลอยตัวของสลัดจ์ในถังตกตะกอน

เกิดจากน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนสูง ที่ก้นถังตกตะกอนจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งไนเตรตในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน จากนั้นก๊าซไนโตรเจนจะดันสลัดจ์ให้ลอยตัวขึ้นมาเป็นก้อนขนาดใหญ่และกระจายตัวเป็นฝ้าบริเวณผิวน้ำ ในการตรวจสอบระบบมักทำการทดสอบด้วยวิธีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที ในช่วงแรกตะกอนจะจมตัวได้ดี แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะค่อยๆลอยขึ้นมา โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการลอยตัวของสลัดจ์ คือ ไนเตรตถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนในถังเต็มอากาศน้อยเกินไป ถึงตกตะกอนมีขนาดใหญ่เกินไป ชั้นสลัดจ์สูงเกินไป ระยะเวลาเก็บกักน้ำมากกว่า 4 ชั่วโมง แก้ไขโดย เต็มอากาศให้เพียงพอ สูบสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนเข้าสู่ถังเต็มอากาศ

2. สลัดจ์จมตัวไม่ลง

เกิดจากปริมาณออกซิเจนในถังเต็มอากาศมีปริมาณน้อยเกินไป จุลินทรีย์ชนิดเส้นใยจึงเจริญเติบโตได้ดี โดยจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะการทำงานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยจะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นฟล็อก (floc) สลัดจ์จึงเกิดการจมตัวไม่ลง สลัดจ์ลอยตัวขึ้นมา นอกจากนี้ยังมาจาก ค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 6.5 อัตราส่วน BOD:N:P:Fe มีค่าไม่เหมาะสม แก้ไขโดย เต็มอากาศให้เพียงพอต่อระบบ เต็มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย ควบคุมให้พีเอชมีค่ามากกว่า 6.5 โดยใช้ปูนขาวหรือโซดาไฟในการปรับค่าพีเอช ควบคุมอัตราส่วน BOD:N:P:Fe ให้มีค่า 100:5:1:0.5

3. จุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำทิ้ง

เกิดจากปริมาณจุลินทรีย์ในถังเต็มอากาศมีมากเกินไป น้ำเข้าสู่ถังตกตะกอนมากเกินไป ชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอนสูงเกินไป เกิดการไหลล้นตัวจริงในถังตกตะกอน เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ทำให้จุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำทิ้ง น้ำจึงขุ่น ทดสอบโดยการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่าตกตะกอนได้ดี แก้ไขโดย เพิ่มการสูบสลัดจ์ส่วนเกินทิ้ง ตรวจสอบระยะเวลาเก็บกักน้ำและอัตราการไหลล้น กำจัดการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน เช่น เต็มอากาศให้มากขึ้น สูบสลัดจ์กลับเข้าสู่ถังเต็มอากาศมากขึ้น

4. สลัดจ์เบาหลุดไปกับน้ำทิ้ง

เกิดจากสลัดจ์มีอายุน้อยเกินไป ไม่สามารถจับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้ โดยสลัดจ์จะแขวนลอยอยู่ในน้ำ เมื่อทดสอบการตกตะกอนจะพบว่า มีสลัดจ์แขวนลอยอย่างชัดเจน ซึ่งสาเหตุที่สลัดจ์หลุดออกมากับน้ำทิ้งยังมาจาก ปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบมาก ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเต็มอากาศน้อยเกินไป อัตราส่วนอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์สูงเกินไป แก้ไขโดย เพิ่มการหมุนเวียนสลัดจ์เข้าสู่ถังเต็มอากาศ ลดการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน

2.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2.4.1 การหาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield) (จักรกฤษณ์ จตุรภัทรโกศล, 2551)

คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นต่อสารอาหารที่ใช้ไป โดยในการหาค่าดังกล่าวจะใช้ผลต่างของเซลล์ซีโอดีที่เกิดขึ้นและผลต่างของซีโอดีมาสร้างกราฟความสัมพันธ์

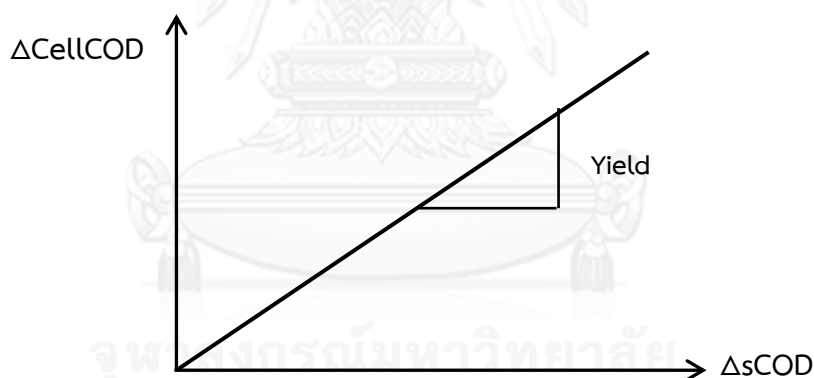
การหาผลต่างของซีโอดี ($\Delta sCOD$) หาได้จาก

$$\Delta sCOD = sCOD_{\text{เริ่มต้น}} - sCOD_{\text{สุดท้าย}}$$

การหาผลต่างของเซลล์ ($\Delta CellCOD$)

$$\Delta CellCOD = CellCOD_{\text{เริ่มต้น}} - CellCOD_{\text{สุดท้าย}}$$

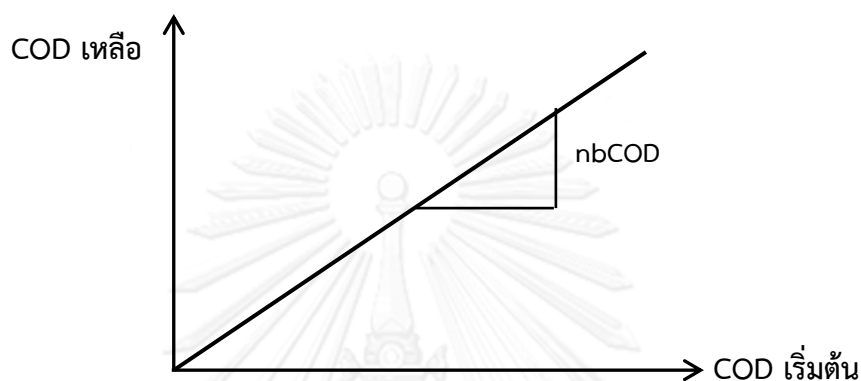
นำค่าดังกล่าวมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างของเซลล์ซีโอดี ($\Delta CellCOD$) และผลต่างของซีโอดี ($\Delta sCOD$) จะได้กราฟดังภาพที่ 2-12 ซึ่งค่าความชันที่ได้จากกราฟนี้ คือ สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



ภาพที่ 2-12 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.4.2 การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (nbCOD) (จักรกฤษณ์ จตุรภัทร โภคิน, 2551)

เป็นการนำข้อมูลซีโอดีเริ่มต้นและซีโอดีที่เหลือจากระบบ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่เหลือต่อซีโอดีเริ่มต้น จะได้กราฟดังภาพที่ 2-13 ซึ่งค่าความชันของกราฟ คือ ค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



ภาพที่ 2-13 กราฟแสดงค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

2.4.3 การหาค่า k_m และ K_S (Grady, Daigger, & Lim, 1999; ศรีณย์ เตชะเสน, 2555)

สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์จะใช้ข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ ดังนี้

1. สมการของ Monod เป็นสมการที่ได้จากการทดลอง ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ ดังสมการ 2-1

$$K = \frac{k_m \cdot S}{K_S + S} \quad (2-1)$$

K = อัตราการบำบัดจำเพาะ, day^{-1}

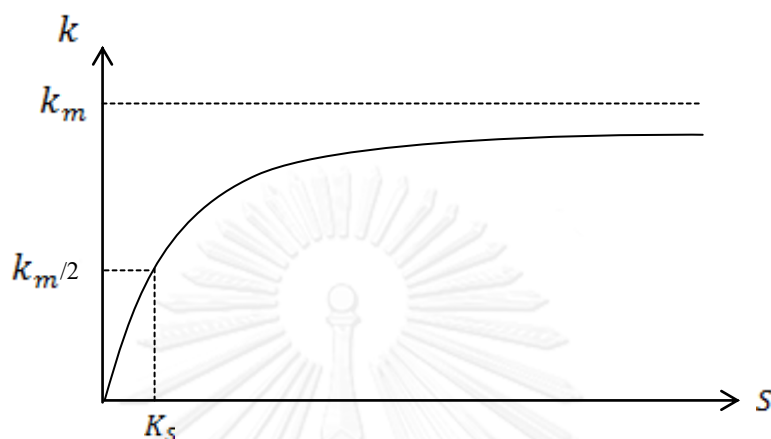
k_m = อัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุด, day^{-1}

K_S = ค่าคงที่เมื่ออัตราการย่อยสลายอาหารเป็น $1/2$ ของอัตราการย่อยสลายสูงสุด, g/m^3

S = ความเข้มข้นของสารอาหาร, g/m^3

จากการทดลองเราสามารถหาค่า K ได้จากค่าอัตราการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดต่อซีโอดีที่ออกจากระบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear

relationship) ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะหาค่า k_m , $\frac{k_m}{2}$ และ K_s ที่เหมาะสม จะได้กราฟลักษณะดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Monod
(ศรัณย์ เตชะเสน, 2555)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

(Gran, 1970) น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดมีสาเหตุความสกปรกอยู่ด้วยกัน 5 สาเหตุ ได้แก่ 1.เส้นใย (fibre) มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 25-250 มิลลิกรัมต่อลิตร เส้นใยต่างๆนี้เมื่อเข้าระบบจะถูกกักไว้โดยแผ่น wire screen 2. ส่วนของเซลล์ (Cell fragment) พวกเปลือกไม้ต่างๆ และของแข็งแขวนลอยอื่นๆ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 100-3000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนนี้จะถูกกักไว้ด้วยกระดาษกรอง 3.สารอินทรีย์ที่เป็นคอลลอยด์ (colloidal organic) มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 500-10000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นส่วนที่เหลือหลังจากระเหยแล้ว 4.สารอินทรีย์ละลายน้ำ (soluble organic) เป็นส่วนที่มาจากไม้ 5.สารเคมีที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ สารส้ม (Alum) พาราฟิน (paraffin) ยาฆ่ารา (fungicides) เรซินสังเคราะห์ (synthetic resin)

(Marshall, 1976) น้ำเสียโรงงานไม้อัดในขั้นตอนการบีบอัดจะมีน้ำเสียที่ออกมาจากแผ่นเยื่อเปียก (wet laps) น้ำเสียนี้จะประกอบด้วยสารละลายน้ำหรืออนุภาคคอลลอยด์ (Soluble หรือ colloidal substances) 80% และสารแขวนลอย (Colloidal) 20% ความสกปรกของน้ำเสียขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) ประกอบด้วย เซลลูโลส 50% ลิกนิน 30% เรซิน 5% เฮมิเซลลูโลส 15% ส่วนไม้เนื้อแข็ง (hard wood) ประกอบด้วย เซลลูโลส 43% ลิกนิน 22% เรซิน 5% เฮมิเซลลูโลส 30% ซึ่งไม้เนื้อแข็งมีความเป็นพิษมากกว่าไม้เนื้ออ่อน

(Jansson & Back, 1976) น้ำเสีย White water เป็นน้ำเสียที่มีสารละลายน้ำและคอลลอยด์ คือ คาร์โบไฮเดรตจากเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) น้ำเสีย black water มีสารอนินทรีย์ (inorganic material) เป็นส่วนใหญ่ และยังมีกรดอินทรีย์ (organic acid) และเศษไม้ ส่วนทำให้เกิดความสกปรกในรูปของค่า BOD COD ของแข็งละลาย ฯลฯ ซึ่งเป็นส่วนของไม้ที่ละลายน้ำ ค่าความสกปรกจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของ pulp yield ถ้า pulp yield มีค่าสูง น้ำทิ้งจะมีค่าความสกปรกต่ำ ค่า pulp yield ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น แร่ดิน อุณหภูมิในการนึ่งขึ้นไม้สับ ชนิดของไม้ คุณภาพของไม้ ฯลฯ

(Gomathi, Ramanathan, Sivaramaiah, Ramanjaneya, & Jayasimha, 2012) น้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและโรงงานกระดาษมีสีดำ/น้ำตาลเข้ม โดยหลักๆแล้วสีของน้ำเสียมาจากลิกนินซึ่งออกมาจากกระบวนการผลิตต่างๆ ลิกนินและฟีนอลมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ทำให้ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

1. การบำบัดทางชีวภาพ

(บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536) โรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมีกรรมวิธีการผลิตเป็นแบบเปียก มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน น้ำเสียประกอบด้วย น้ำเสีย black water มีค่าพีเอชเฉลี่ย 4 ปีโอดีเฉลี่ย 11,446 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 25,087 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 780 มิลลิกรัมต่อลิตร white water มีค่าพีเอชเฉลี่ย 5.4 ปีโอดีเฉลี่ย 2,210 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 6,097 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 809 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียรวมของโรงงาน มีค่าพีเอชเฉลี่ย 8.62 ปีโอดีเฉลี่ย 2,735 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 7,338 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 846 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียของโรงงานเข้าสู่ระบบชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย บ่อกักตะกอนน้ำเสีย white water 2 บ่อ บ่อกักตะกอนน้ำเสีย black water 2 บ่อ บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond) 2 บ่อ บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) 3 บ่อ และบ่อออกซิเจน (aerobic pond) 1 บ่อ พบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าพีเอชน้ำเสียเฉลี่ย 8.07 ปีโอดีเฉลี่ย 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 448 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดปีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย มีค่า 99% 91% และ 95% ตามลำดับ

(มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542) ค่าอายุสลัดจ์ (SRT) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับการควบคุมและออกแบบระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ โดยอายุสลัดจ์จะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายด้าน เช่น อัตราความต้องการออกซิเจน การทิ้งสลัดจ์ MLSS ประสิทธิภาพการบำบัด เป็นต้น ค่าอายุสลัดจ์ไม่ควรต่ำกว่า 5 วัน เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดี น้ำทิ้งไม่มีคุณภาพ

(Barr, Taylor, & Duff, 1996) ผลของระยะเวลา (HRT 10-12 ชั่วโมง) และอายุสลัดจ์ (SRT 12-15 วัน) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดด้วยระบบเอเอส พบว่า สามารถกำจัดปีโอดี ซีโอดี และกำจัดความเป็นพิษได้เฉลี่ย 87.9 ± 4.3 , 32.4 ± 9.0 และ 97.7 ± 0.4 ตามลำดับ โดยความแตกต่าง

ระหว่าง HRT 12 และ 4 ชั่วโมง และ SRT 5 และ 15 วัน แสดงให้เห็นว่า HRT มีผลต่อการบำบัดมากกว่า SRT โดยที่ HRT จะนำไปสู่การบำบัดบีโอดี ซีโอดี ความเป็นพิษ และ AOX ขณะที่ SRT ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ

(Belmonte et al., 2006) น้ำเสียจากโรงงานเยื่อไม้มีความเข้มข้นของกรดเรซิน (resin acids) , กรดไดอะเบติก (abietic) , กรดดีไฮโดรอะเบติก (dehydroabietic) และ กรดไลโปฟิลิก อื่นๆในไม้ ซึ่งกรดเรซินเป็น กรดที่ไม่สามารถบำบัดออกจากน้ำได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการบำบัดกรดไดอะเบติกด้วยวิธีสระเติมอากาศ (Aerobic lagoons) ซึ่งระบบสามารถกำจัดกรดไดอะเบติกและบีโอดี 5 วัน ได้เฉลี่ย 80% และ 95% ตามลำดับ ในระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน (47 ชั่วโมง) และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 67.3%

(Diez, Castillo, Aguilar, Vidal, & Mora, 2002) การย่อยสลายของ Pinus จากน้ำเสียโรงงานกระดาษด้วยกระบวนการเอเอส แปรค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ช่วง 4.5 ถึง 48 ชั่วโมง และศึกษาอัตราส่วนการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหาร งานวิจัยนี้ต้องการบำบัด บีโอดี₅ (BOD₅) ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) สารเชิงซ้อนฟีโนลิก (phenolic) แทนนิน (tannin) ลิกนิน (lignin) และลดความเป็นพิษ จากผลการทดลอง พบว่าระบบสามารถบำบัดบีโอดี₅ ได้ 90% ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) 6 ถึง 16 ชั่วโมง แต่ที่ HRT ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง ความสามารถในการบำบัดจะลดลง โดยสามารถบำบัดได้เพียง 60% การบำบัดสารเชิงซ้อนฟีโนลิก แทนนิน ลิกนิน จะขึ้นอยู่กับค่า HRT เช่นกัน ในส่วนของอัตราส่วนการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเติมที่ 100:5:0.3 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการบำบัด บีโอดี₅ ซีโอดี และ ของแข็ง เมื่อ HRT มีค่าอยู่ในช่วง 7 ถึง 16 ชั่วโมง และความเป็นพิษในน้ำเสียไม่ถูกตรวจพบ

(Gran, 1970) ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส น้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังเติมอากาศมีการเติมสารอาหารและปรับพีเอชให้เหมาะสม โดยสภาวะที่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด โดยปกติแล้วมักเติมไนโตรเจนเติมในรูปของแอมโมเนีย เกลือแอมโมเนียม หรือไนเตรท และฟอสฟอรัสจะเติมอยู่ในรูปของกรดฟอสฟอริก หรือฟอสเฟต หรือในบางครั้งอาจเติม anti-foaming agent การเติมสารอาหารทำให้ระบบสามารถลดค่าบีโอดีได้ 70%-90% ข้อดีของระบบบำบัดแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ คือ ไม่จำเป็นต้องเป็นระบบปิดเท่านั้น แต่หากน้ำเสียที่เข้าระบบมีความเข้มข้นสูงมาก ต้องทำการเจือจางก่อนเพื่อป้องกันผลกระทบต่อถังตกตะกอนชั้นที่ 2 ข้อเสีย ค่าใช้จ่ายสูง อันตรายจากสารอาหารที่เติมมากเกินไป และปัญหาสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess sludge) ที่เกิดขึ้น ซึ่งสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีประมาณ 0.5-2.0% นอกจากนี้ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ยังสามารถกำจัด phenol ลงได้ 75-80%

(Jansson & Back, 1976) วิธีการบำบัดน้ำเสียเอเอส และแบบบ่อเติมอากาศ มักใช้กับโรงงานในสหรัฐอเมริกาและยุโรป โดยระบบเหล่านี้สามารถลดค่าบีโอดี ได้ 60-95% แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของแข็งที่แขวนลอยในช่วงฤดูหนาว ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ ปรับพีเอชให้อยู่ที่ประมาณ 7 และมีการเติมสารอาหารที่จำเป็นแต่มีการเติมน้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสโดยปกติแล้วบ่อเติมอากาศ สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้ประมาณ 20-40 กรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร

ต่อวัน เนื่องจากมีระยะเวลาเก็บน้ำนาน ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียเอส เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง สามารถลดค่าบีโอดีได้ 85-90%

(Videla, Isaacs, & Cristina Diez, 1998) ค่าภาระสารอินทรีย์โรงงานไม้อัดสูงถึง ประมาณ 15,000-30,000 มิลลิกรัมต่อลิตรซีโอดี งานวิจัยนี้ นำบ่อเติมอากาศ 2 บ่อต่อกัน โดยแต่ละบ่อจะมี ส่วนเติมอากาศและส่วนตกตะกอน บ่อเติมอากาศมีขนาด 4 ลิตร ถึงตกตะกอนมีขนาด 1 ลิตร ระยะเวลาเก็บน้ำในถังเติมอากาศ 5 วัน และถังตกตะกอน 2 วัน น้ำเสียมีซีโอดีเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0-20 ความเข้มข้นซีโอดี 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร วันที่ 20-50 เพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร วันที่ 60-100 เพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเป็น 12,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และในวันที่ 130-150 เพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเป็น 25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าก่อนวันที่ 130 ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูง โดยบ่อเติมอากาศบ่อแรกสามารถกำจัด บีโอดี ซีโอดี และฟีนอลได้ 74.6 74.2 และ 61% บ่อที่ 2 สามารถกำจัด บีโอดี ซีโอดี และฟีนอลได้ 95 76.2 และ 92.5% เมื่อคิดประสิทธิภาพของระบบ aerated lagoon ทั้ง 2 ระบบ สามารถกำจัด บีโอดี ซีโอดี และฟีนอลได้ 98 93.8 และ 97%

2. การบำบัดทางเคมี

(อุษาพร เลิศวิบูล, 2545) การลดซีโอดีของน้ำเสียโรงงานไม้อัดโดยใช้กระบวนการโฟโตออกซิเดชันไม่เหมาะสมที่จะเป็นระบบ Pretreatment เนื่องจากกระบวนการนี้ไม่สามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงๆได้ การบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่มีความเข้มข้นสูง ควรผ่าน pretreatment ก่อน เพื่อลดความเข้มข้นให้เหลือไม่เกิน 700 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร แล้วจึงนำน้ำเสียมาบำบัดด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันร่วมกับการเติมสารออกซิแดนท์ (H_2O_2) ซึ่งงานวิจัยนี้ น้ำเสียที่มีความเข้มข้น 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาเก็บกักน้ำ 3 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซีโอดี และสี เท่ากับ 50% 81.65% และ 84.38% ตามลำดับ

(Shawwa, Smith, & Segoo, 2001) การลดสีและกำจัดสารอินทรีย์คลอรีนจากน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ จะใช้ถ่านโค้กในการบำบัด ซึ่งถ่านโค้กเป็นของแข็งสีดำที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมในขั้นสุดท้าย ถ่านโค้กจะถูกปรับสภาพเป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ พบว่า เวลาในการปรับสภาพ 6 ชั่วโมง ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสี ซีโอดี มีมากกว่า 90% โดยเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ ถ่านโค้กถือว่าเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ดีสำหรับการบำบัดน้ำเสียและมีราคาถูกกว่า

3. การกำจัดสี

(Bajpai & Bajpai, 1994) โรงงานเยื่อกระดาษและกระดาษน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานจะมีสีเข้ม โดยสีที่เกิดขึ้นมาจากสารประกอบคลอโรลิกนิน (Chlorolignin) ซึ่งเป็นสารที่ถูกปล่อยออกมาในขั้นตอนการฟอกสี สารประกอบเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางเคมีและทางชีวภาพแบบเดิมๆ ซึ่งปัจจุบันการกำจัดสีมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ ทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ซึ่งการกำจัด

สีทางกายภาพและเคมีสามารถกำจัดได้แต่มีราคาแพงและมีประสิทธิภาพต่ำ ขณะที่ทางชีวภาพสามารถกำจัดได้ทั้งสี ซีไอดี บีไอดี และคลอโรฟิทินที่มีโมเลกุลต่างๆ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพ ดังนี้

วิธีการ	ชนิดที่ใช้	% การกำจัดสี
แบคทีเรีย	Pseudomonas aeruginosa Bacillus cereus Pseudomonas ovalis	26-54%
สาหร่าย	Microcystis sp	70%
ฟังไจ	Schizophyllum commune	90%

(Gomathi et al., 2012) ในการกำจัดสีของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศและแบบเอเอสไม่สามารถกำจัดได้ ส่วนกระบวนการกรอง, วิธี ion-exchange และ การตกตะกอน สามารถกำจัดได้แต่มีราคาสูงและประสิทธิภาพต่ำ ในงานวิจัยนี้ใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดสีของน้ำเสีย ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้คือ Phanerochaete Chrysosporium ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถลดสีได้ถึง 86%

4. การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

(Ko et al., 2009) การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดซีไอดีและสีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อไม้และกระดาษซึ่งบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพและกระบวนการเคมีกายภาพพบว่า ค่าจลนพลศาสตร์การบำบัดซีไอดี (k_1) ด้วยวิธีโอโซน เท่ากับ 0.055 ต่อนาที โอโซนและถ่านกัมมันต์ 0.055 ต่อนาที โอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.055 ต่อนาที และ โอโซนและถ่านกัมมันต์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.055 ต่อนาที ในส่วนของค่าจลนพลศาสตร์การกำจัดสี พบว่า อัตราการบำบัดสี (k_1) ด้วยวิธีโอโซน มีค่า 0.067 ต่อนาที โอโซนและถ่านกัมมันต์ 0.0094 ต่อนาที โอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.089 ต่อนาที และ โอโซนและถ่านกัมมันต์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.080 ต่อนาที

(Tsang, Chua, Sin, & Tam, 2006) การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษและโรงงานไม้ ซึ่งทำการบำบัดบีไอดีด้วยกระบวนการเอเอส ระบบมีบำบัดที่ใช้เป็นแบบคอลัมน์เติมอากาศขนาด 3 ลิตร และมีถังตกตะกอน พีเอชของระบบมีค่า 6-7 บีไอดีที่เข้าระบบ 500 มก./ล. อายุสลัดจ์มีค่า 12 วัน ในระบบจะมีการเวียนสลัดจ์เข้าระบบใหม่อีกครั้งในอัตรา 0.4 ลิตรต่อวัน นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าจลนพลศาสตร์ได้ ดังนี้

$$k_{max} = 30 \text{ d}^{-1}$$

$$k_s = 2,148 \text{ mg/L}$$

(Li, Li, & Zeng, 2009) การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายกรดแทนนิกในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเอเอส น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เตรียมให้เหมือนกับน้ำเสียโรงงานไม้และโรงงานกระดาษ โดยเพิ่มความเข้มข้นของกรดแทนนิกประมาณ 800 มก./ล. ใส่จุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้นประมาณ 2,000-3,000 มก./ล. เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่รวดเร็ว พีเอชของระบบประมาณ 7 ดีโอ มากกว่า 1 มก./ล. โดยประสิทธิภาพในการกำจัดกรดแทนนิกและซีโอดีมีค่า 85.2% และ 81.6% ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าจลนพลศาสตร์ได้ ดังนี้

$$k_{max} = 4.992 \text{ d}^{-1}$$

$$k_s = 226 \text{ mg/L}$$

(Sathian, Rajasimman, Radha, Shanmugapriya, & Karthikeyan, 2014) การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยระบบเอสปีอาร์ เพื่อกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสีย โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียอยู่ในช่วง 1,650-2,450 มก.ซีโอดี/ล. ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการกำจัดสีและซีโอดีที่ได้มีค่า 71.3% และ 79.4% นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าจลนพลศาสตร์ ซึ่งกราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีค่า k_1 เท่ากับ 0.294 ต่อวัน

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้งที่ ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการอาคารวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 การหาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดีและการตกตะกอน ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส แบบอัตราการบำบัดสูง (High rate) ซึ่งทำการแปรค่าที่อายุสลัดจ์ 0.5 1 2 และ 5 วัน

การทดลองช่วงที่ 2 การหาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดีและการตกตะกอน ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส แบบอัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) ซึ่งทำการแปรค่าที่อายุสลัดจ์ 10 15 20 และ 30 วัน

การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ถังพักน้ำเสีย

เป็นพลาสติกที่มีปริมาตรความจุประมาณ 60 ลิตร สำหรับเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบ



ภาพที่ 3-1 ถังพักน้ำเสีย

2. เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบและสูบน้ำออกส่วนเกิน

เครื่องสูบน้ำเสียที่ใช้เป็นแบบไดอะแฟรม (Diaphragm) โดยอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 8 ลิตรต่อวัน และใช้ไดอะแฟรมชนิดเดียวกันเพื่อสูบน้ำออกส่วนเกินที่ออกจากระบบ



ภาพที่ 3-2 เครื่องสูบน้ำ และ สูบน้ำออกส่วนเกิน

3. ถังปฏิกริยา ขนาดของถังปฏิกริยาแสดงรายละเอียดดังรูปที่ ซึ่งประกอบด้วย

3.1 ถังเติมอากาศ (Aerobic tank)

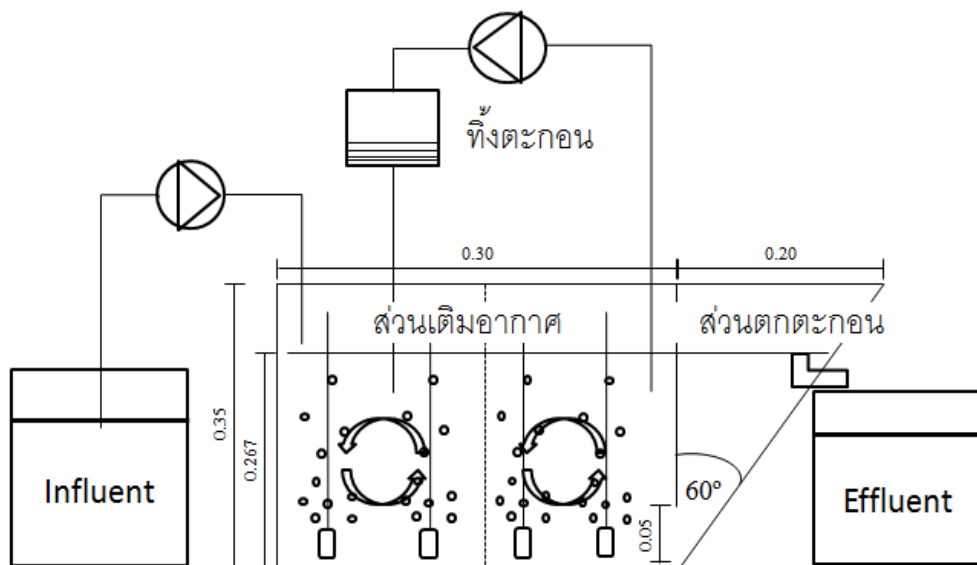
ถังเติมอากาศที่ใช้เป็นถังอะคลิริก แบ่งออกเป็น 2 ขนาด โดยใช้แผ่นกั้นเพื่อเปลี่ยนขนาดถัง ปริมาตรความจุ 5 ลิตร (0.125x0.15x0.35 เมตร) และปริมาตรความจุ 10 ลิตร (0.125x0.3x0.35 เมตร) และระยะพื้นน้ำ 0.083 เมตร

3.2 ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)

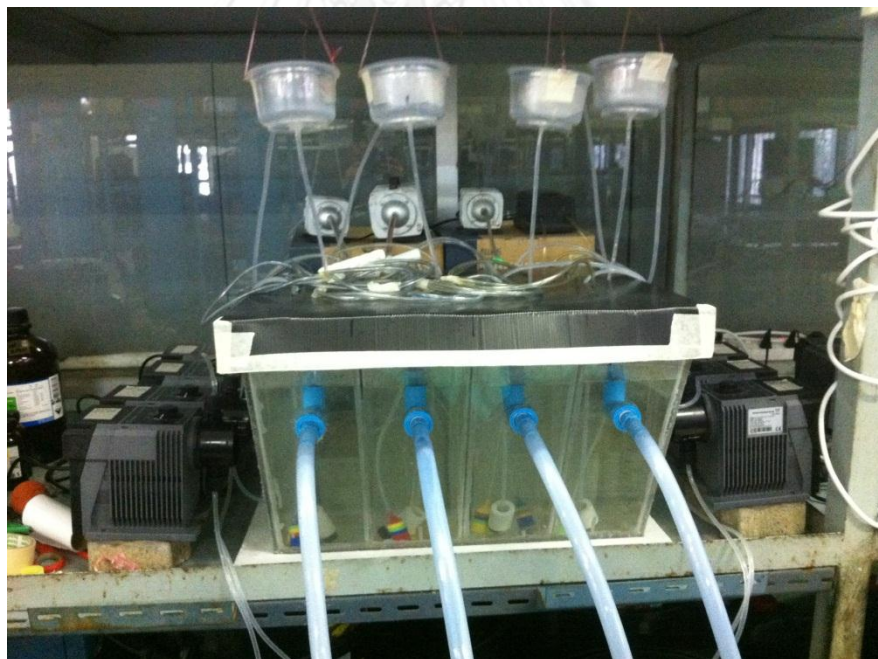
ถังตกตะกอนที่ใช้เป็นถังอะคลิริก มีปริมาตรความจุ 5 ลิตร (0.2x0.125x0.35 เมตร) และระยะพื้นน้ำ 0.083 เมตรต่อกับบริเวณถังเติมอากาศ ด้านล่างของถังตกตะกอนเป็นปลายเปิดสูง 0.05 เมตร ทำมุม 60° กับถังเติมอากาศ เพื่อให้มีการเวียนตะกอนทั้งหมด 100% ท่อน้ำล้นต่อกับถังตกตะกอน อยู่ที่ระดับความสูง 0.267 เมตร และทางน้ำออกอยู่ที่ระดับความสูง 0.22 เมตรจากพื้น

3.3 ส่วนทิ้งสลัดจ์ (Sludge Removal)

ใช้เครื่องสูบน้ำเสียที่เป็นไดอะแฟรม (Diaphragm) สูบสลัดจ์จากก้นถังเติมอากาศเข้าสู่แผ่นกรอง น้ำส่วนที่กรองแล้วจะกลับเข้าสู่ถังปฏิกริยา อัตราการทิ้งสลัดจ์ขึ้นอยู่กับอายุสลัดจ์



ภาพที่ 3-3 แผนภาพแสดงระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 3-4 ภาพระบบบำบัดน้ำเสียจริงในการทดลอง

4. หัวเติมอากาศและเครื่องเติมอากาศ ทำการเติมอากาศให้กับระบบตลอดเวลา



ภาพที่ 3-5 เครื่องเติมอากาศ + หัวเติมอากาศ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
2. เครื่องวัด DO (DO Meter)
3. ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Hot Air Oven)
4. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessel)
5. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)
6. กรวยบุชเนอร์ (Buchner Funnel)
7. กระดาษกรอง GF/C (Whatman GF/C) เส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร
8. เตาเผาที่มีเครื่องกำหนดอุณหภูมิ
9. ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
10. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
11. กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone)
12. กล้องจุลทรรศน์ (Microscopic)
13. เครื่องแก้วต่างๆ เช่น ปิเปต ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ แท่งแก้ว กรวยแก้ว ฯลฯ

3.2.3 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)
4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)
5. เฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator)
6. เมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$)
7. สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($K_2H_2PO_4$)
8. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)

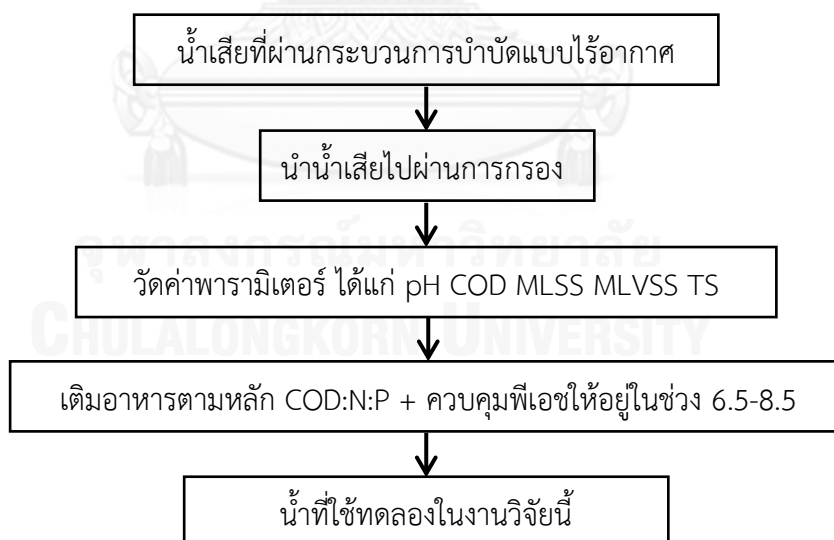
3.3 วิธีกรดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 3-1 ค่าพารามิเตอร์น้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์น้ำเสียโรงงานก่อนบำบัดจำนวน 7 ครั้ง

พารามิเตอร์	Black water	White water
พีเอช	3.8±0.14	3.5±0.11
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	15,600±274	9,332±145
ซีโอดีละลาย (มก./ล.)	11,764±247	7,209±127
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)	638±46	338±65

3.3.1 การเตรียมน้ำเสียสำหรับการทดลอง

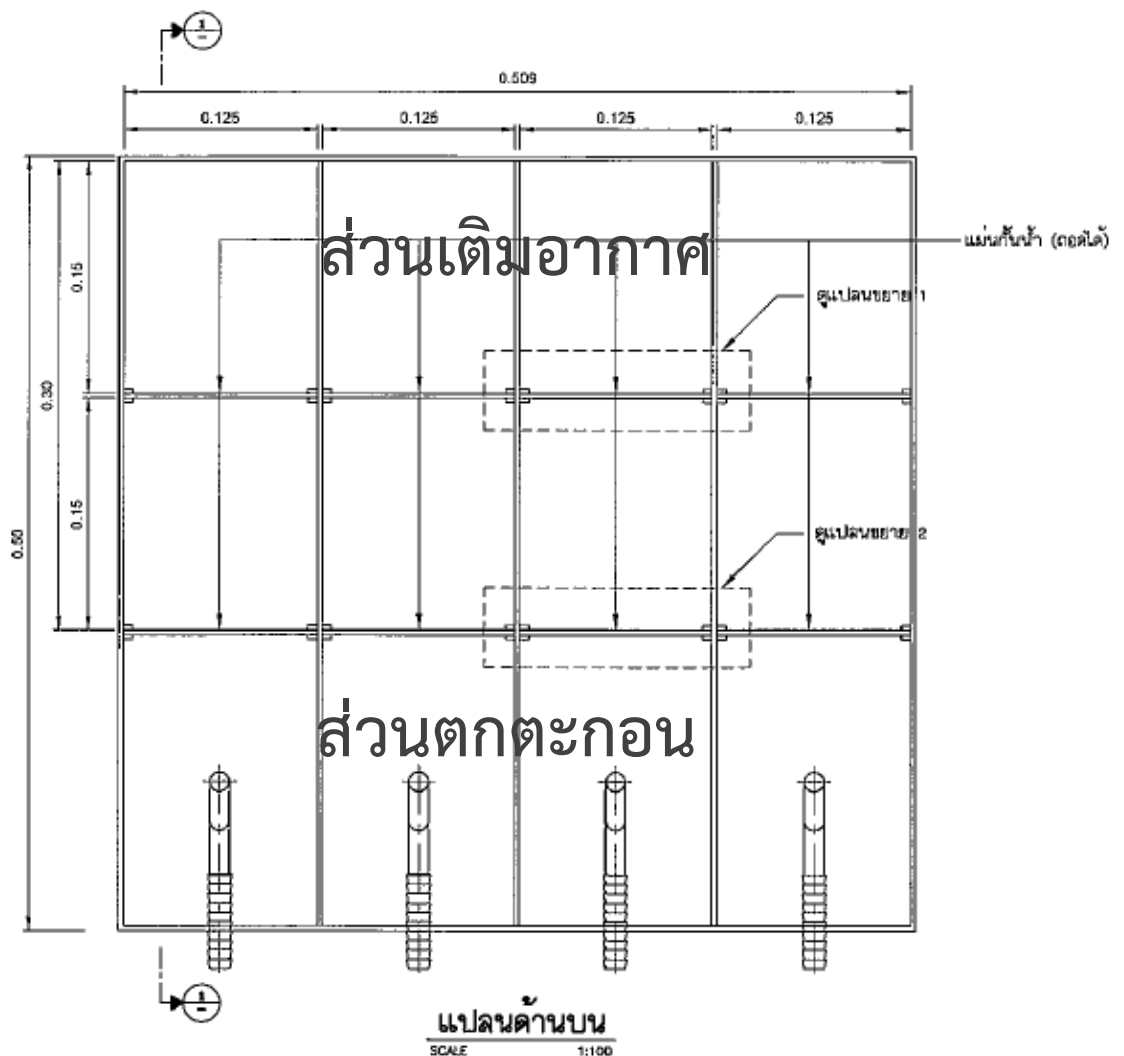
น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ โดยผ่านกระบวนการบำบัดเบื้องต้นด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ นำน้ำเสียมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกรองอนุภาคของแข็งต่างๆที่จมตัวและแขวนลอยอยู่ในน้ำออก โดยการกรองด้วยผ้าขาวบางนี้เทียบได้กับการผ่านถึงตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย ศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ พีเอช ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำ เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และของแข็งทั้งหมด จากนั้นเติมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยใช้อัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:5:1 ปรับพีเอชน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 โดยแผนการเตรียมน้ำเสียแสดงดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 การเตรียมน้ำเสียสำหรับการทดลอง

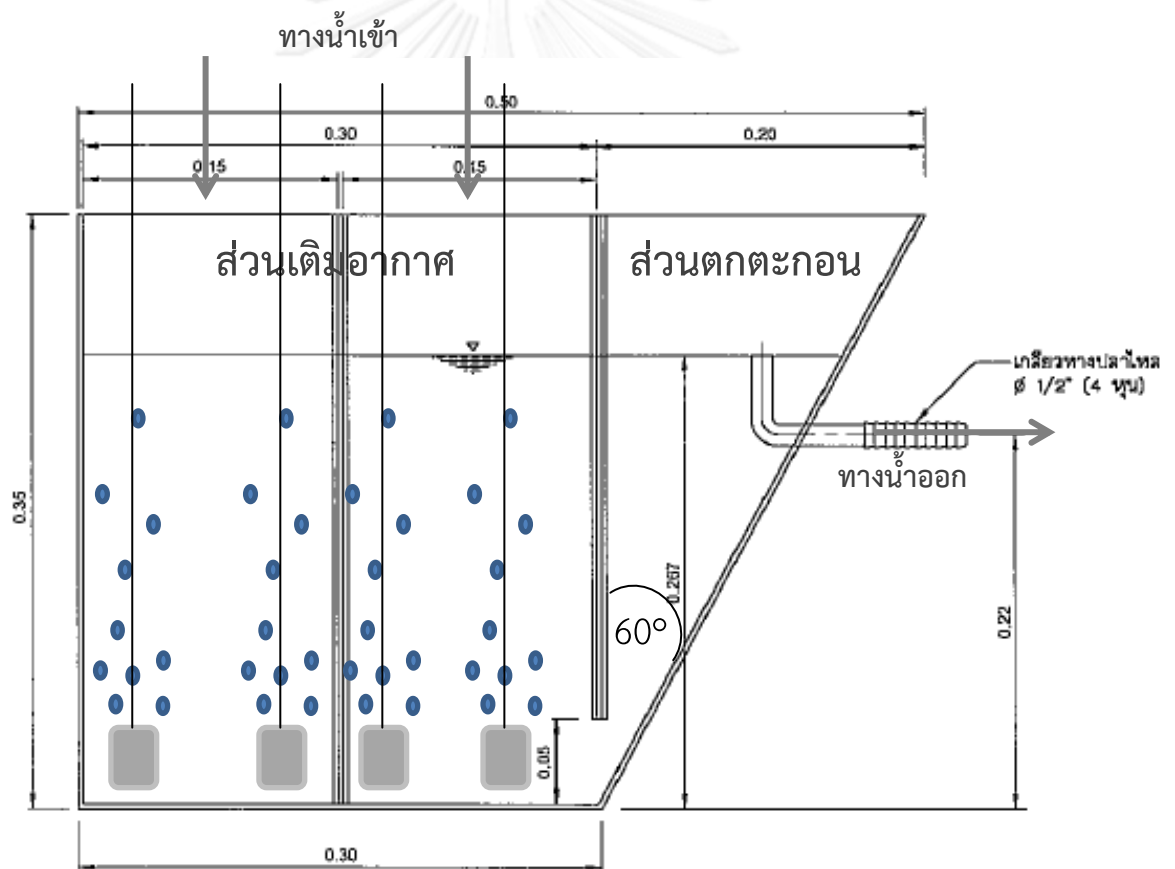
3.3.2 ถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพที่ 3-7 เป็นภาพแปลนด้านบนของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเติมอากาศ และส่วนตกตะกอน ส่วนเติมอากาศจะแบ่งขนาดถังออกเป็น 2 ขนาด คือ ปริมาตร 5 ลิตร กว้าง 0.125 เมตร ยาว 0.15 เมตร ลึก 0.35 เมตร จำนวน 4 ถัง และเมื่อตั้งแผ่นกั้นบริเวณตรงกลางถังเติมอากาศออกถังเติมอากาศจะมีปริมาตร 10 ลิตร กว้าง 0.125 เมตร ยาว 0.3 เมตร ลึก 0.35 เมตร จำนวน 4 ถัง การเลือกใช้ถังปริมาตร 5 ลิตร หรือ 10 ลิตรนั้นขึ้นอยู่กับเวลาในการกักเก็บน้ำ และปริมาณตะกอนจุลชีพ ถังตกตะกอนมีปริมาตร 5 ลิตร กว้าง 0.125 เมตร ยาว 0.2 เมตร ลึก 0.35 เมตร จำนวน 4 ถัง ถังตกตะกอนจะเชื่อมต่อกับถังเติมอากาศ



ภาพที่ 3-7 แปลนด้านบนของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส

จากภาพที่ 3-8 เป็นภาพแปลนด้านข้างของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส น้ำเสียถูกสูบเข้าทางด้านบนของถังโดยใช้ปั๊มสูบน้ำเสียในอัตราการสูบ 8 ลิตรต่อวินาทีเข้าสู่ถังเติมอากาศ ภายในถังเติมอากาศมีการใช้หัวฟู่เพื่อเติมอากาศให้กับระบบ ถังเติมอากาศปริมาตร 5 ลิตรจะใช้หัวฟู่เติมอากาศ 2 หัว และ ถังเติมอากาศปริมาตร 10 ลิตร ใช้หัวฟู่เติมอากาศ 4 หัว เพื่อป้องกันการเกิดจุดอับอากาศ (Dead Zone) ภายในถังเติมอากาศนี้เกิดการกวนอย่างสมบูรณ์ระหว่างน้ำเสียและจุลินทรีย์ จากนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลผ่านแผ่นกั้นทางด้านล่างเข้าสู่ถังตกตะกอน ซึ่งบริเวณด้านล่างของถังตกตะกอนออกแบบให้ทำมุมประมาณ 60 องศา เพื่อให้สลัดจ์สามารถไหลกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศได้ 100% เป็นการเวียนสลัดจ์กลับเข้าสู่ถังเติมอากาศ น้ำใสส่วนบนที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้วจะไหลล้นออกทางท่อน้ำ



แปลนภาพตัด 1-1
SCALE 1:100

ภาพที่ 3-8 แปลนข้างของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส

3.3.3 การเริ่มต้นระบบ (Start up)

นำน้ำเสีย Black water และ White water ผสมกันในอัตราส่วน 20:80 จำนวน 5 ลิตร โดยอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วนของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงาน ซึ่งความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียมีค่าประมาณ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่น้ำเสียลงในถังเติมอากาศ และทำการเติมอากาศให้กับในน้ำเสีย เติมสารอาหารที่จำเป็นในอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:5:1 ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการวัดค่าซีโอดี เมื่อพบว่าค่าซีโอดีในระบบลดลงจนคงที่ ให้ทำการวัดความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้มีค่าอยู่ในช่วง 1,500-3,000 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอต่อการทำงานของระบบเอเอส ในกรณีที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศยังไม่ค่าไม่ถึงช่วงที่กำหนด ให้ทำการถ่ายน้ำเสียออกและเตรียมน้ำเสียใหม่อีกครั้ง ทำการทดลองซ้ำเช่นเดิมจนได้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศอยู่ในช่วงที่กำหนด จึงสามารถทำการเดินระบบการทดลองได้

การทดลองช่วงที่ 1 การหาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและการตกตะกอน ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส แบบอัตราการบำบัดสูง (High rate) ซึ่งทำการแปรค่าที่อายุสลัดจ์ 0.5 1 2 และ 5 วัน

การทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียแบบอัตราการบำบัดสูง (High rate) เพื่อบำบัดสารอินทรีย์ การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองใช้อัตราการสูบน้ำเสีย 8 ลิตรต่อวัน ถังเติมอากาศขนาด 5 ลิตร ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 15 ชั่วโมง เนื่องจากต้องการคุมให้ระบบเกิดการตกตะกอนได้ดี ในแต่ละชุดการทดลองจะทำการแปรค่าอายุสลัดจ์ควบคุมโดยอัตราการทิ้งสลัดจ์ และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ในถังต่างๆ ดังตารางที่ 3-2 ดังภาพแผนการทดลองที่ 3-9 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปศึกษาค่าจลนพลศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบ

1. นำน้ำเสียโรงงานไม่อัดที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศแล้ว ใส่น้ำเสีย วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เติมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเติมในอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:5:1 และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ด้วยฟอสเฟตบัพเฟอร์ ตามการเตรียมน้ำเสียข้อที่ 3.3.1

2. บั่มสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศในอัตราการสูบน้ำ 8 ลิตรต่อวัน เติมอากาศให้มีค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังเติมอากาศนี้แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดมีขนาดถังเติมอากาศ 5 ลิตร ดังตารางที่ 3-2

โดยชุดที่ 1 อายุสลัดจ์ 0.5 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 10 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 15 ชั่วโมง

โดยชุดที่ 2 อายุสลัดจ์ 1 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 5 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 15 ชั่วโมง

โดยชุดที่ 3 อายุสลัดจ์ 2 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 2.5 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 15 ชั่วโมง

โดยชุดที่ 4 อายุสลัดจ์ 5 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 1 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 15 ชั่วโมง

ในการทดลองจะมีการเวียนสลัดจ์กลับ 100% ทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน และวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3. น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเข้าสู่ถังพักน้ำทิ้งของในแต่ละชุดการทดลองเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์

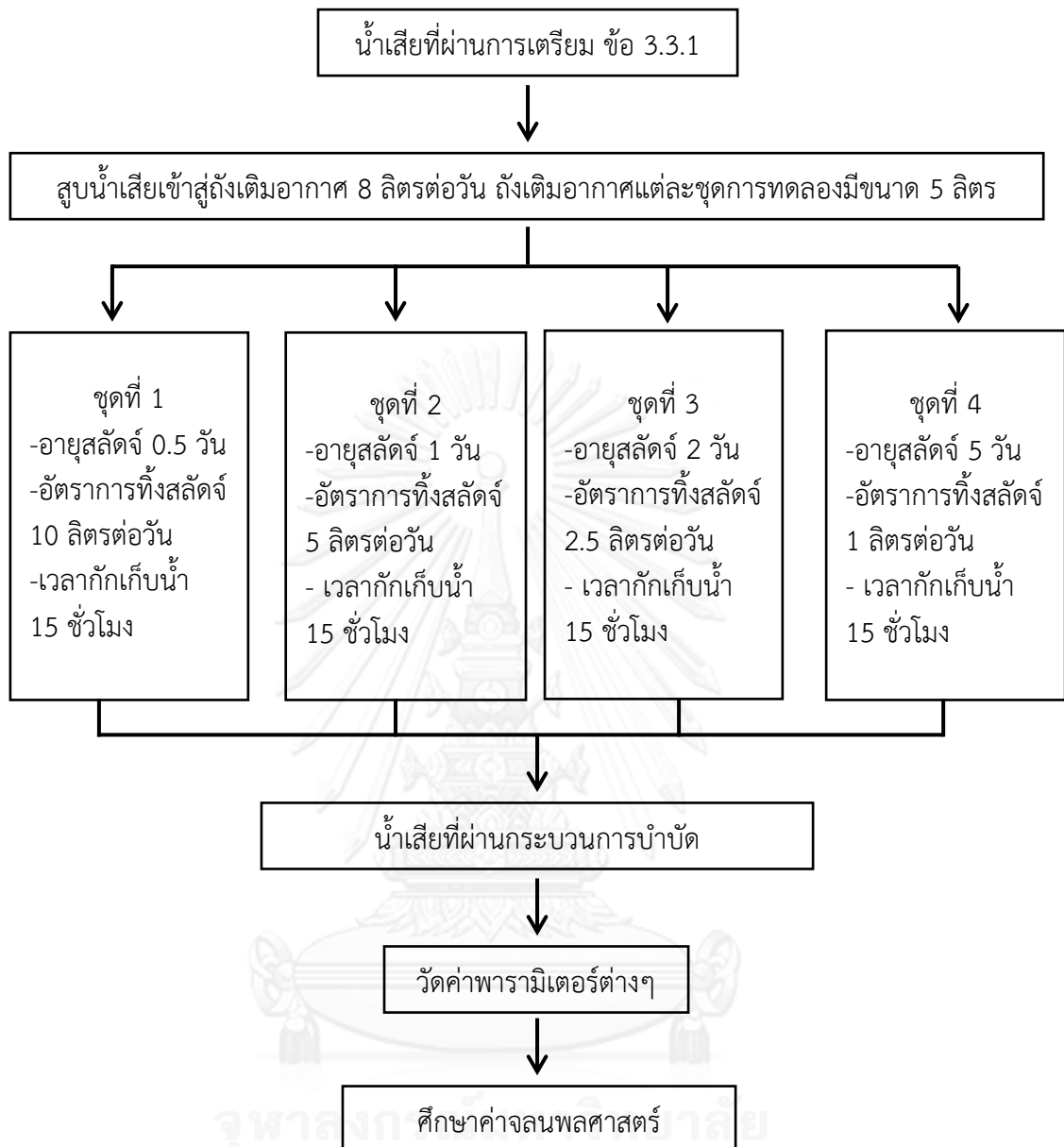
4. ทำการเดินระบบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State)

****หมายเหตุ** เนื่องจากในการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียมีขนาดเล็ก ทำให้ประสบปัญหาในการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน จึงใช้วิธีการใช้ปั๊มต่อกับถังเติมอากาศสูบน้ำเสียผ่านแผ่นกรอง สลัดจ์ที่กรองได้เป็นสลัดจ์ส่วนเกินที่ต้องนำไปทิ้ง ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการกรองจะกลับเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอีกครั้ง

ตารางที่ 3-2 การแปรค่าอายุตะกอนและอัตราการทิ้งตะกอนที่อัตราการบำบัดสูง

การทดลอง ชุดที่	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตรต่อวัน)	อายุสลัดจ์ (วัน)	อัตราการทิ้งสลัดจ์ (ลิตรต่อวัน)	เวลากักเก็บน้ำ (ชั่วโมง)
1	8	0.5	10	15
2	8	1	5	15
3	8	2	2.5	15
4	8	5	1	15

*Effective Volume ของ Reactor = 5 ลิตร



ภาพที่ 3-9 แผนผังการทดลองที่ 1

การทดลองครั้งที่ 2 การหาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและการตกตะกอน ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส แบบอัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) ซึ่งทำการแปรค่าที่อายุสลัดจ์ 10 15 20 และ 30 วัน

การทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียแบบอัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) เพื่อบำบัดน้ำเสียให้ผ่านมาตรฐาน การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองใช้อัตราการสูบน้ำเสีย 8 ลิตรต่อวัน ถังเติมอากาศขนาด 10 ลิตร เวลาพักเก็บน้ำเสีย 30 ชั่วโมง เนื่องจากต้องการคุมให้ระบบเกิดการตกตะกอนได้ดี ในแต่ละชุดการทดลองจะทำการแปรค่าอายุสลัดจ์ควบคุมโดยอัตราการทิ้งสลัดจ์ และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ในถังต่างๆดังตารางที่ 3-3 ดังภาพแผนการทดลองที่ 3-10 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปศึกษาค่าจลนพลศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบ

1. นำน้ำเสียโรงงานไม้อัดที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศแล้ว ใสลงถังพักน้ำเสีย วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เติมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเติมในอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:5:1 และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ด้วยฟอสเฟตบัพเฟอร์ ตามการเตรียมน้ำเสียข้อที่ 3.3.1

2. บั่มสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศในอัตราการสูบ 8 ลิตรต่อวัน เติมอากาศให้มีค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังเติมอากาศนี้แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดมีขนาดถังเติมอากาศ 10 ลิตร ดังตารางที่ 3-3

โดยชุดที่ 1 อายุสลัดจ์ 10 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 1 ลิตรต่อวัน เวลาพักเก็บน้ำ 30 ชั่วโมง

โดยชุดที่ 2 อายุสลัดจ์ 15 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 0.66 ลิตรต่อวัน เวลาพักเก็บน้ำ 30 ชั่วโมง

โดยชุดที่ 3 อายุสลัดจ์ 20 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 0.5 ลิตรต่อวัน เวลาพักเก็บน้ำ 30 ชั่วโมง

โดยชุดที่ 4 อายุสลัดจ์ 30 วัน อัตราการทิ้งสลัดจ์ 0.33 ลิตรต่อวัน เวลาพักเก็บน้ำ 30 ชั่วโมง

ในการทดลองจะมีการเวียนสลัดจ์กลับ 100% ทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน และวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3. น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเข้าสู่ถังพักน้ำทิ้งของในแต่ละชุดการทดลองเพื่อวัด

ค่าพารามิเตอร์

4. ทำการเดินระบบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State)

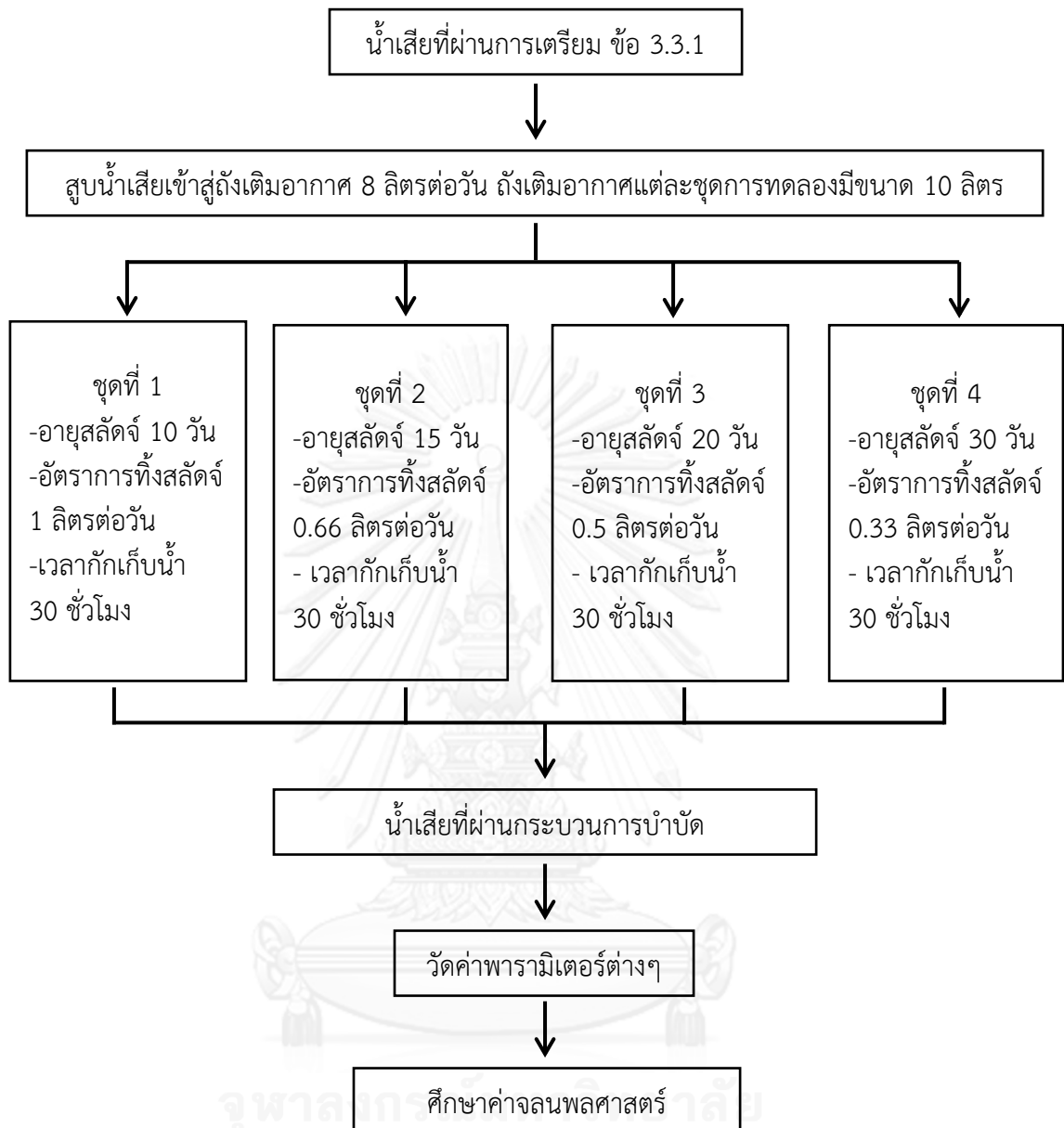
****หมายเหตุ** เนื่องจากในการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียมีขนาดเล็ก ทำให้ประสบปัญหาในการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน จึงใช้วิธีการใช้ปั๊มต่อกับถังเติมอากาศสูบน้ำเสียผ่านแผ่นกรอง สลัดจ์ที่กรองได้เป็นสลัดจ์ส่วนเกินที่ต้องนำไปทิ้ง ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการกรองจะกลับเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอีกครั้ง

ตารางที่ 3-3 การแปรค่าอายุตะกอนและอัตราการทิ้งตะกอนที่อัตราการบำบัดต่ำ

การทดลอง ชุดที่	อัตราการสูบน้ำเสีย (ลิตรต่อวัน)	อายุสลัดจ์ (วัน)	อัตราการทิ้งสลัดจ์ (ลิตรต่อวัน)	เวลากักเก็บน้ำ (ชั่วโมง)
1	8	10	1	30
2	8	15	0.66	30
3	8	20	0.5	30
4	8	30	0.33	30

*Effective Volume ของ Reactor = 10 ลิตร





ภาพที่ 3-10 แผนผังการทดลองที่ 2

ตารางที่ 3-4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปร	จุดเก็บตัวอย่าง			วิธีวิเคราะห์
	น้ำเสีย	ภายใน ถังเติมอากาศ	น้ำออก	
- พีเอช	①	①	①	Electronic pH Meter Method
- ออกซิเจนละลายน้ำ	-	①	-	Probe
- ซีโอดีทั้งหมด	②	-	②	Closed Reflux, Titrimetric Method
- ซีโอดีละลายน้ำ	①	-	①	Closed Reflux, Titrimetric Method
- SV ₃₀ , SVI	-	②	-	Sludge Volumn 30 Sludge Volumn Index
- MLSS	②	②	②	Total residual dried at 103-105°C
- MLVSS	②	②	②	Volatile Solid at 550°C
- TS	③	③	③	Total residual dried at 103-105°C
- MICROSCOPIC EXAMINATION	-	③	-	Microscopic Examination

หมายเหตุ ① หมายถึง จันท์, พุท, ศุกร , ② หมายถึง อังคาร, พุธสัปดาห์ , ③ หมายถึง ที่สภาวะคงตัว

การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย} = \frac{\text{ซีโอดีละลายเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีละลายออกจากระบบ}}{\text{ซีโอดีละลายเข้าระบบ}} \times 100$$

การทดลองครั้งที่ 3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

ในการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์มีประโยชน์ในด้านการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส โดยนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดได้ในจากการทดลอง มาแทนค่าในสมการเพื่อหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และสมการจลนพลศาสตร์ ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียได้

1. การหาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield) (จักรกฤษณ์ จตุรภัทรโกติน, 2551)

คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นต่อสารอาหารที่ใช้ไป โดยในการหาค่าดังกล่าวจะใช้ผลต่างของเซลล์ซีโอดีที่เกิดขึ้นและผลต่างของซีโอดีมาสร้างกราฟความสัมพันธ์

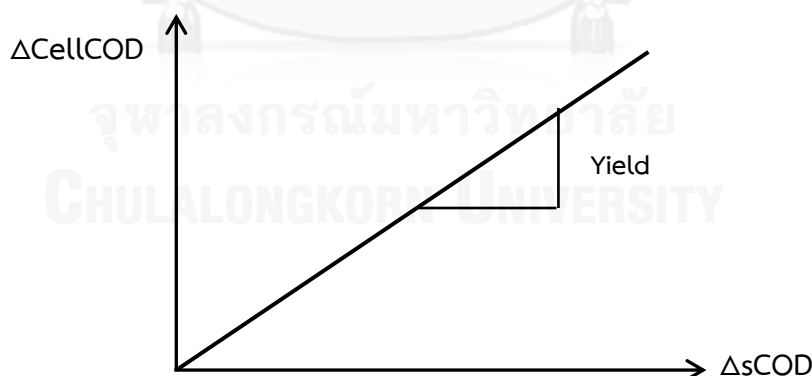
การหาผลต่างของซีโอดี ($\Delta sCOD$) หาได้จาก

$$\Delta sCOD = sCOD_{\text{เริ่มต้น}} - sCOD_{\text{สุดท้าย}}$$

การหาผลต่างของเซลล์ ($\Delta CellCOD$)

$$\Delta CellCOD = CellCOD_{\text{เริ่มต้น}} - CellCOD_{\text{สุดท้าย}}$$

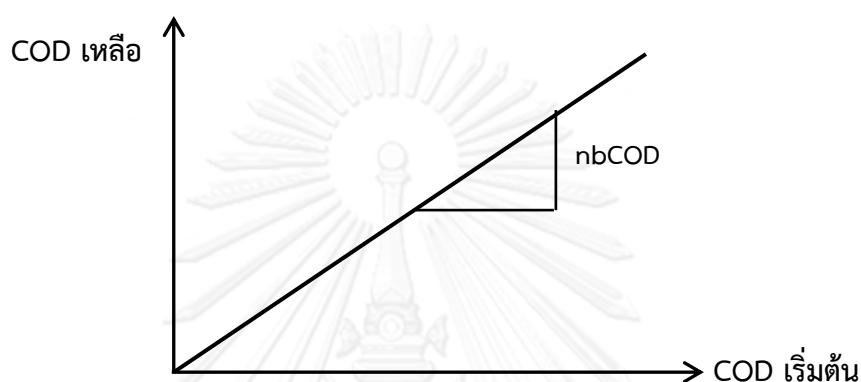
นำค่าดังกล่าวมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างของเซลล์ซีโอดี ($\Delta CellCOD$) และผลต่างของซีโอดี ($\Delta sCOD$) จะได้กราฟดังภาพที่ 3-11 ซึ่งค่าความชันที่ได้จากกราฟนี้ คือ สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



ภาพที่ 3-11 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2. การหาค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (nbCOD) (จักรกฤษณ์ จตุรภัทร โภคิน, 2551)

เป็นการนำข้อมูลซีโอดีเริ่มต้นและซีโอดีที่เหลือจากระบบ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่เหลือต่อซีโอดีเริ่มต้น จะได้กราฟดังภาพที่ 2-13 ซึ่งค่าความชันของกราฟ คือ ค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



ภาพที่ 3-12 กราฟแสดงค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

3. การหาค่า k_m และ K_S (Grady et al., 1999; ศรีณย์ เตชะเสน, 2555)

สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์จะใช้ข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ ดังนี้

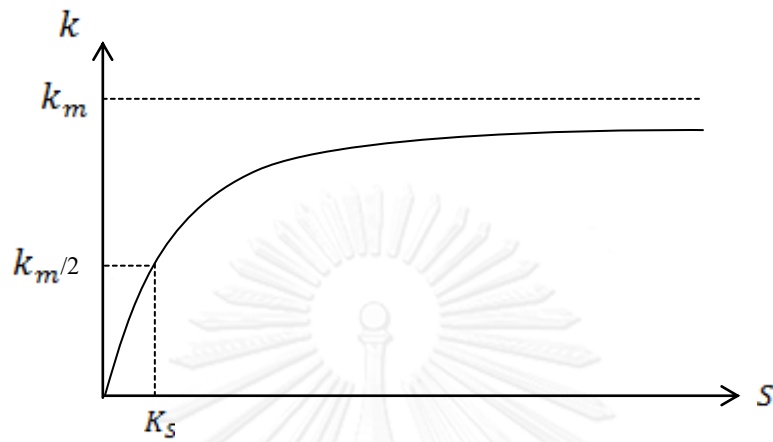
1. สมการของ Monod เป็นสมการที่ได้จากการทดลอง ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ ดังสมการ 2-1

$$K = \frac{k_m \cdot S}{K_S + S} \quad (2-1)$$

K	=	อัตราการบำบัดจำเพาะ, day^{-1}
k_m	=	อัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุด, day^{-1}
K_S	=	ค่าคงที่เมื่ออัตราการย่อยสลายอาหารเป็น $1/2$ ของอัตราการย่อยสลายสูงสุด, g/m^3
S	=	ความเข้มข้นของสารอาหาร, g/m^3

จากการทดลองเราสามารถหาค่า K ได้จากค่าอัตราการบำบัดในแต่ละชุดการทดลอง นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดต่อซีโอดีที่ออกจากระบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear

relationship) ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะหาค่า k_m , $\frac{k_m}{2}$ และ K_s ที่เหมาะสม จะได้กราฟ ลักษณะดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 3-13 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Monod
(ศรัณย์ เตชะเสน, 2555)

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและการตกตะกอน โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส แบบอัตราการบำบัดสูง (High rate) ที่ค่าอายุสลัดจ์ 0.5 1 2 และ 5 วัน การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและการตกตะกอน โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอสแบบอัตราการบำบัดต่ำ (Low rate) ที่ค่าอายุสลัดจ์ 10 15 20 และ 30 วัน และการทดลองที่ 3 เป็นการหาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบ ซึ่งน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศมาแล้ว

4.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้เก็บน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบจำนวน 7 ครั้ง โดยมีเจ้าหน้าที่ของโรงงานเป็นผู้เก็บน้ำเสียในจุดทิ้งน้ำเสีย black water และ white water ในแต่ละครั้งจะทำการเก็บจำนวน 25 แกลลอน หรือประมาณ 500 ลิตร สามารถใช้ในการทดลองได้ประมาณ 50 วัน ซึ่งความเข้มข้นของน้ำเสียแต่ละครั้งที่ทำการเก็บมีค่าแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4-1 การเก็บน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ จำนวน 7 ครั้ง

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี เวลา	ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)		พีเอช	
		Black water	White water	Black water	White water
1	08/08/13 11.00	13,308	6,597	3.7	3.5
2	13/09/13 10.30	13,972	6,205	4.0	3.5
3	31/10/13 10.45	13,750	6,784	3.7	3.6
4	26/12/13 11.00	14,793	6,428	3.9	3.6
5	27/01/14 11.30	16,862	10,948	4.0	3.3
6	07/02/14 10.35	17,725	10,383	3.8	3.4
7	24/02/14 11.00	17,973	11,265	3.7	3.5

น้ำเสียจากโรงงานไม่อัดแผ่นเรียบจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศก่อน โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศแล้วจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม ขุ่น และมีของแข็งที่หลุดออกมาจากระบบไร้อากาศ ประมาณ $1,680 \pm 50$ มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง ในช่วงที่ 1 (อายุสลัดจ์ 0.5, 1, 2 และ 5 วัน) ค่าซีโอดีที่มาจากระบบไร้อากาศมีค่าเฉลี่ย $6,240 \pm 119$ มก./ล. ของแข็งแขวนลอยมีค่าเฉลี่ย 910 ± 9 มก./ล. ส่วนช่วงที่ 2 (อายุสลัดจ์ 10, 15, 20 และ 30 วัน) ค่าซีโอดีที่มาจากระบบไร้อากาศมีค่าเฉลี่ย $4,237 \pm 4$ มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าเฉลี่ย 434 ± 53 มก./ล. สาเหตุที่ค่าซีโอดีเข้าระบบของทั้ง 2 ช่วง มีค่าแตกต่างกันเนื่องจาก ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกัน และด้วยข้อจำกัดของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เช่น ระยะเวลาเก็บกักน้ำและอัตราการสูบน้ำเสียต่อวัน ทำให้ระบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดซีโอดีในน้ำเสียได้หมด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสแบบกวนผสมธรรมดา ในการเดินระบบเอเอสได้ทำการเดินระบบที่อายุสลัดจ์ 10, 15, 20 และ 30 วันก่อน โดยค่าซีโอดีเข้าระบบเป็นความเข้มข้นของน้ำเสียที่เก็บมาในครั้งที่ 1-4 ขณะที่อายุสลัดจ์ 0.5, 1, 2 และ 5 วัน ค่าซีโอดีเข้าระบบเป็นความเข้มข้นของน้ำเสียที่เก็บมาในครั้งที่ 5-7 ของแข็งที่มาจากระบบไร้อากาศมีทั้งที่เป็นสลัดจ์หนัก (Solid) ที่อยู่ด้านล่างของถังน้ำเสีย และ สลัดจ์เบา (Scum) ที่ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ ดังภาพที่ 4-1 ในระยะแรกได้ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบโดยไม่ผ่านการกรอง พบว่า เกิดปัญหาการอุดตันของอุปกรณ์ ทำให้ต้องหยุดเดินระบบเพื่อทำความสะอาดและซ่อมแซมอุปกรณ์ การเดินระบบบำบัดจึงไม่ต่อเนื่อง เมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นบ่อยครั้งจึงทำการกรองน้ำเสียด้วยผ้าขาวบางก่อนสูบน้ำเข้าระบบ ซึ่งเทียบได้กับการผ่านถังตกตะกอนก่อนเข้าสู่ระบบ ดังภาพที่ 4-2 น้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วยังคงมีของแข็งที่มาจากระบบไร้อากาศอยู่แต่มีปริมาณไม่มากนัก โดยน้ำเสียที่ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม ขุ่น และมีตะกอนสีดำอยู่ในน้ำเสีย ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีการทดลองของ “Standard Methods” (APHA, 1998) น้ำเสียมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4-2



ภาพที่ 4-1 น้ำเสียจากระบบการบำบัดแบบไร้อากาศ



ภาพที่ 4-2 น้ำเสียจากกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง
ตารางที่ 4-2 ลักษณะของน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้
พีเอช	7.4±0.64 ถึง 7.5±0.15
ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	4,324±34.2 ถึง 7,040±7.51
ซีโอดีละลาย (มก./ล.)	4,237±4.03 ถึง 6,240±18.90
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	388±107 ถึง 918±50

จากตารางที่ 4-2 เมื่อพิจารณาข้อมูลของน้ำเสียแล้วจะเห็นว่า ค่าซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลาย และ ของแข็งแขวนลอย มีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดแบบไร้อากาศยังมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่เพียงพอที่จะบำบัดน้ำเสียให้ผ่านมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อด้วยกระบวนการอื่น ในที่นี้จะใช้กระบวนการบำบัดเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ เพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วผ่านมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้

4.2 การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสแบบแบทช์ (Batch)

การเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสีย เริ่มด้วยการผสมน้ำเสียจากโรงงานไม่อัดแผ่นเรียบในอัตราส่วน Black water : White water เท่ากับ 20:80 โดยอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วนของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงาน เติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และ โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$) เพื่อเป็นสารอาหาร เติมในอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:5:1 เพื่อให้มากเกินพอกว่าที่ระบบเอเอสต้องการ โดยไม่ได้วัดค่า N และ P ในน้ำเสียจากโรงงานไม่อัดแผ่นเรียบเริ่มต้นปรับพีเอชด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 และเติมอากาศให้มีสถานะที่

เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ แต่ไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย เนื่องจากระบบเติมอากาศจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้เอง โดยใช้เวลาประมาณ 2-4 สัปดาห์ ซึ่งการเริ่มต้นระบบ (Start up) ทำเพื่อต้องการให้ความเข้มข้นจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 1,500-3,000 มก./ล. จากนั้นทำการสูบน้ำเสียเข้าระบบตามปกติ แต่เมื่อเดินระบบผ่านไป 8 สัปดาห์ พบว่ามีสลัดจ์หลุดออกจากระบบและพบปัญหาการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน ทำให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีปริมาณลดลงอย่างมาก ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจึงลดลง ด้วยเหตุนี้ จึงได้ทำการเริ่มต้นระบบใหม่อีกครั้ง ซึ่งใช้ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ในการเพิ่มมวลจุลินทรีย์ให้มีค่าที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสีย จากนั้นทำการสูบน้ำเสียเข้าระบบตามปกติอีกครั้ง

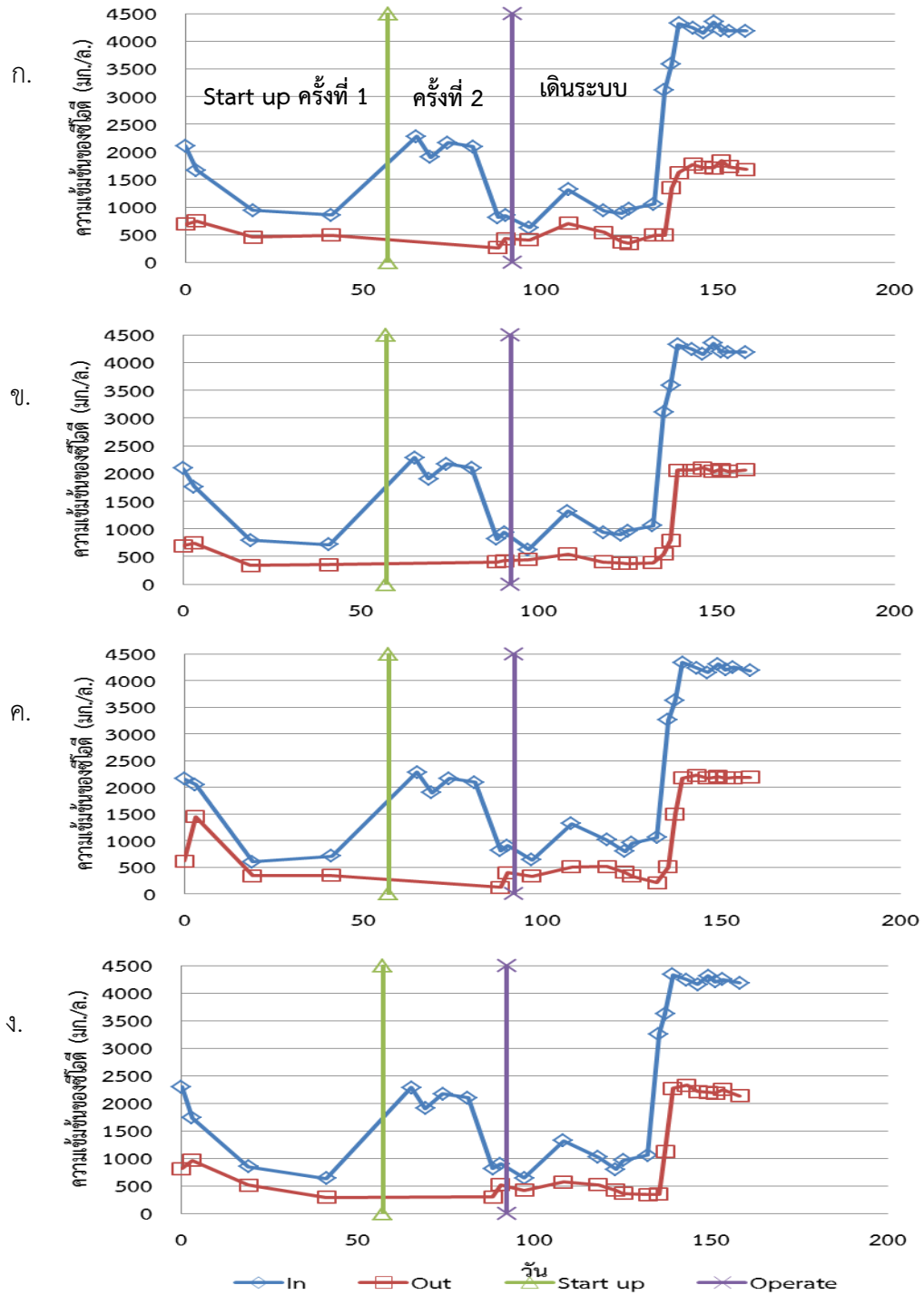
4.3 การเดินระบบทั้งหมด

4.3.1 ซีโอดีละลาย

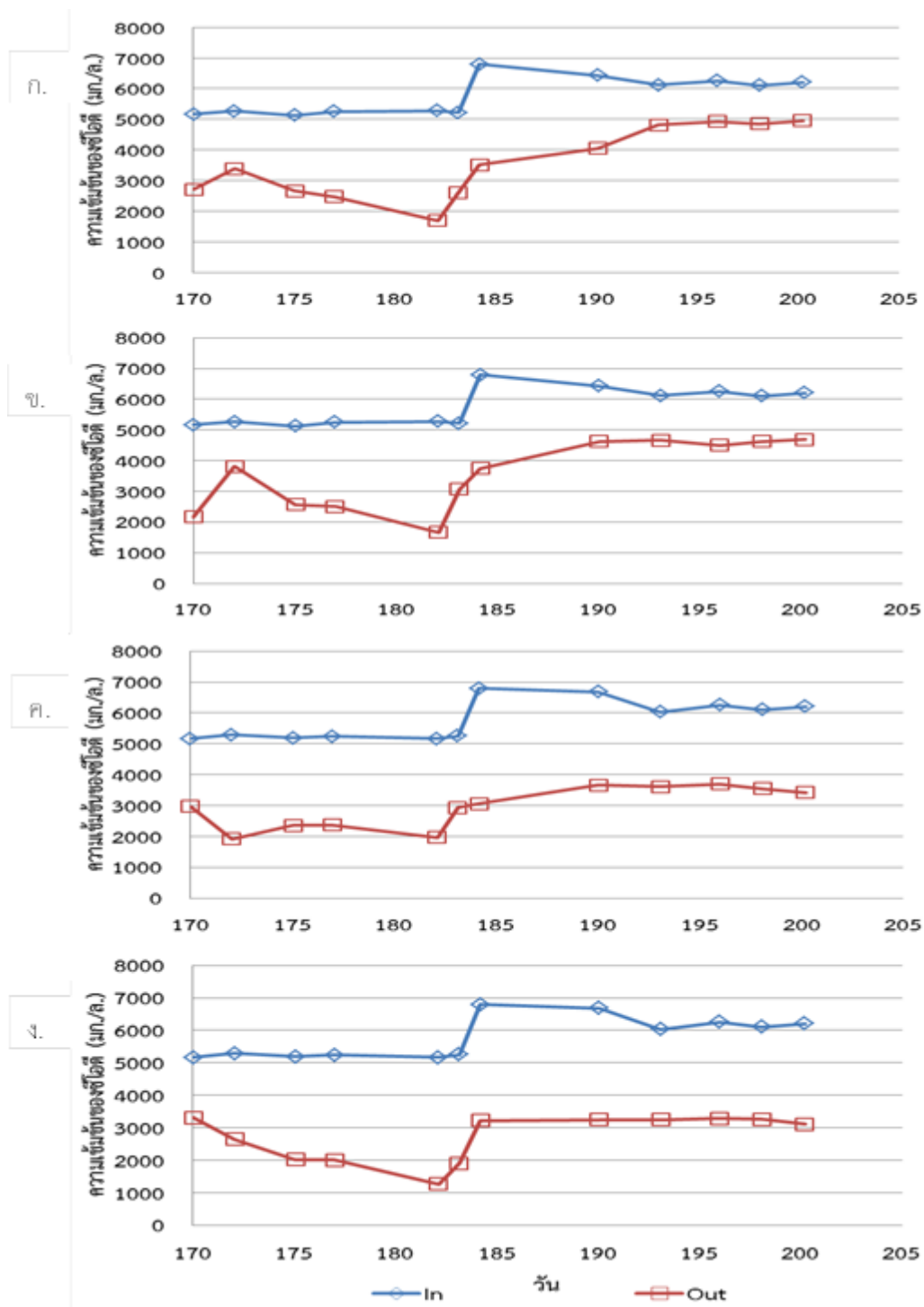
ทำการเดินระบบเอเอสทั้งหมด 200 วัน โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ตามค่าอายุสลัดจ์ที่กำหนด

จากการเดินระบบเอเอสช่วงที่ 1 ที่อายุสลัดจ์ 10, 15, 20 และ 30 วัน ค่าซีโอดีเข้าระบบในช่วง start up ครั้งที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 0-63 มีค่าเฉลี่ย $1,373 \pm 23$ มก./ล. ช่วงนี้สามารถลดค่าซีโอดีเหลือ 616 ± 67 มก./ล. และพบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าลดลงอย่างมากไม่เพียงพอต่อการทำงานของระบบเอเอส จึงได้ทำการเริ่มเดินระบบใหม่ในช่วง start up ครั้งที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 64-101 โดยหยุดการสูบน้ำเสียเข้าระบบ เมื่อค่าซีโอดีในถังเติมอากาศมีค่าคงที่ให้ทำการถ่ายน้ำเสียออกและเติมน้ำเสียใหม่เข้าระบบ ซึ่งค่าซีโอดีที่เข้าระบบในช่วง start up ครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย $2,112 \pm 159$ มก./ล. เมื่อความเข้มข้นจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 1,500-3,000 มก./ล. ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานแล้ว จึงทำการเดินระบบโดยสูบน้ำเสียเข้าระบบอีกครั้ง ในช่วงการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 102-139 ค่าซีโอดีที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 937 ± 4 มก./ล. และเมื่อวันที่ 140-163 ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่มาจากระบบไร้อากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น $4,237 \pm 4$ มก./ล. เนื่องจากโรงงานมีการปรับเปลี่ยนสูตรในกระบวนการผลิต และในวันที่ 144-163 ค่าซีโอดีที่เข้าและออกจากระบบเริ่มมีค่าคงที่ (Steady Stage) โดยซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย $2,049 \pm 228$ มก./ล. ดังภาพที่ 4-3 จะเห็นว่าช่วง start up ครั้งที่ 1 และ 2 ข้อมูลที่ศึกษามีจำนวนน้อย เนื่องจากระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ จึงเก็บข้อมูลไม่มากนัก แต่ในช่วงการเดินระบบ ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงมีการเก็บจำนวนข้อมูลมากกว่า

การเดินระบบเอเอสช่วงที่ 2 ที่อายุสลัดจ์ 0.5, 1, 2 และ 5 วัน เริ่มเดินระบบตั้งแต่วันที่ 170-200 ซึ่งต่อจากช่วงที่ 1 ค่าซีโอดีเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย $6,240 \pm 119$ มก./ล. ระบบสามารถลดค่าซีโอดีได้เหลือ $4,038 \pm 745$ มก./ล. และจะเห็นว่า ตั้งแต่วันที่ 190-200 ค่าซีโอดีที่เข้าและออกจากระบบมีค่าคงที่ (Steady Stage) โดยซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย $4,038 \pm 745$ มก./ล. ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายเข้าและออกที่อายุสลัดจ์ต่างๆต่อวัน
 ก.อายุสลัดจ์ 10 วัน ข.อายุสลัดจ์ 15 วัน ค.อายุสลัดจ์ 20 วัน ง.อายุสลัดจ์ 30 วัน



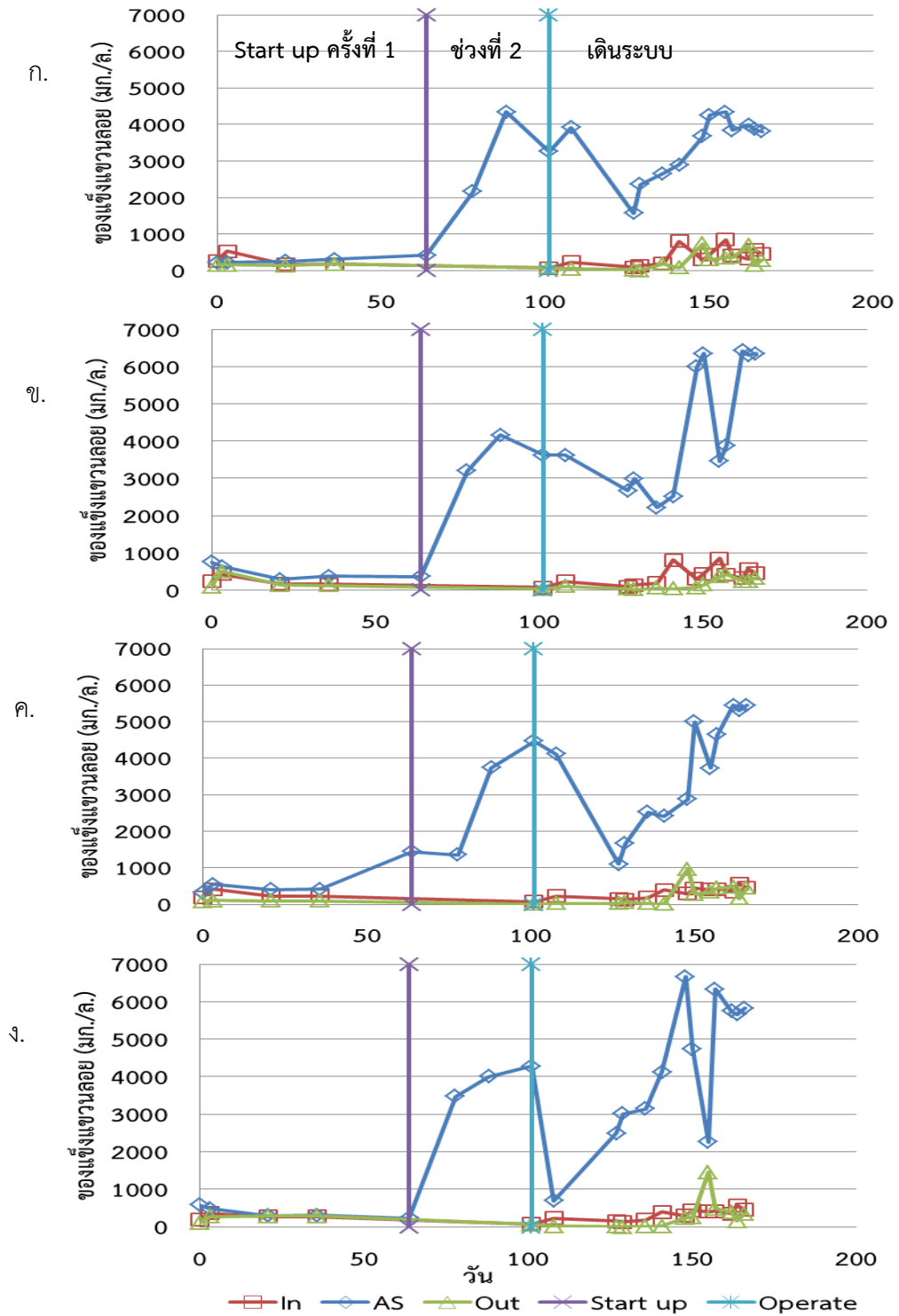
ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายเข้าและออกที่อายุสัต์จต่างๆต่อวัน
 ก.อายุสัต์จ 0.5 วัน ข.อายุสัต์จ 1 วัน ค.อายุสัต์จ 2 วัน ง.อายุสัต์จ 5 วัน

4.3.2 ของแข็งแขวนลอยในระบบ

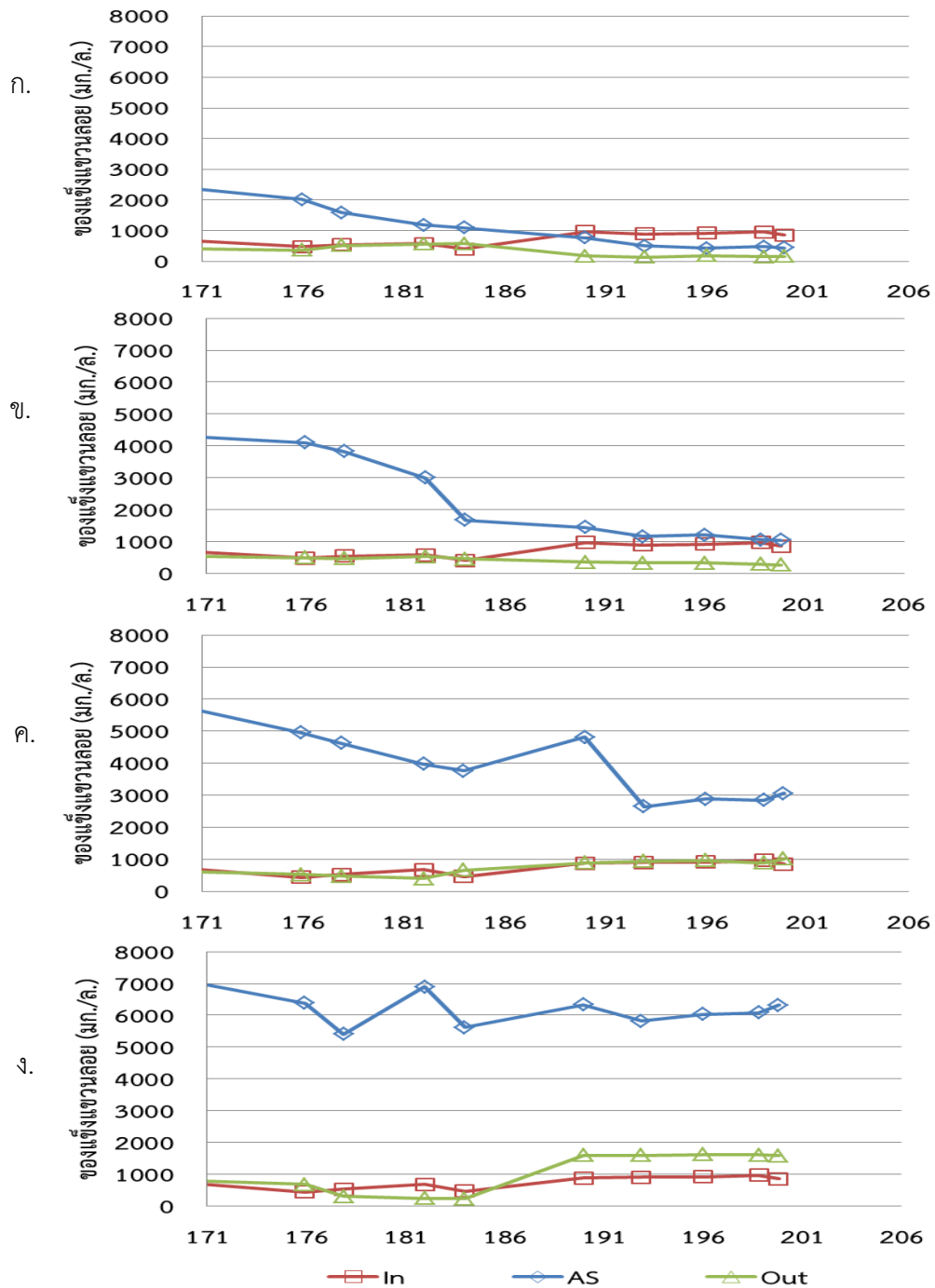
ทำการเดินระบบเอเอสทั้งหมด 200 วัน โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ตามค่าอายุ สลัดจ์ที่กำหนด เช่นเดียวกับค่าซีโอดี

การเดินระบบเอเอสช่วงที่ 1 ที่อายุสลัดจ์ 10, 15, 20 และ 30 วัน ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 322 ± 24 มก./ล. ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 216 ± 35 มก./ล. ในช่วง start up ครั้งที่ 1 วันที่ 0-63 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าเฉลี่ย 399 ± 112 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากไม่เพียงพอต่อการทำงานของระบบเอเอส จึงได้ทำการเริ่มเดินระบบใหม่ในช่วง start up ครั้งที่ 2 เพื่อให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าเหมาะสมและเพียงพอต่อการทำงานของระบบ โดยความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศควรมีค่าอยู่ในช่วง 1,500-3,000 มก./ล. ในวันที่ 64-100 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าเฉลี่ย $2,407 \pm 198$ มก./ล. ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานของระบบแล้ว จึงทำการเดินระบบโดยสูบน้ำเสียเข้าระบบอีกครั้ง ตั้งแต่วันที่ 101-166 เดินระบบจนกระทั่งความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าคงที่ (Steady Stage) ซึ่งในวันที่ 148-166 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าคงที่เฉลี่ย $5,349 \pm 1050$ มก./ล. ดังภาพที่ 4-5 จะเห็นว่าช่วง start up ครั้งที่ 1 และ 2 ข้อมูลที่ศึกษามีจำนวนน้อย เนื่องจากระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ จึงเก็บข้อมูลไม่มากนัก แต่ในช่วงการเดินระบบ ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงมีการเก็บข้อมูลจำนวนมาก

การเดินระบบเอเอสช่วงที่ 2 ที่อายุสลัดจ์ 0.5, 1, 2 และ 5 วัน เริ่มเดินระบบตั้งแต่วันที่ 171-200 ซึ่งต่อจากช่วงที่ 1 ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 726 ± 2 มก./ล. ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 620 ± 322 มก./ล. ในช่วงวันที่ 171-184 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศที่ทุกอายุสลัดจ์ยังมีค่าสูง เนื่องจากเดินระบบต่อจากช่วงที่ 1 อายุสลัดจ์ในถังเติมอากาศยังไม่เป็นค่าอายุสลัดจ์ที่กำหนด แต่เมื่อเดินระบบถึงวันที่ 190-200 ระบบได้เข้าสู่อายุสลัดจ์ที่กำหนดไว้ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจึงมีค่าคงที่ โดยที่อายุสลัดจ์ 0.5, 1, 2 และ 5 วัน ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่า 519 ± 144 , $1,179 \pm 162$, $3,246 \pm 885$ และ $6,117 \pm 214$ มก./ล. ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยเข้า เต็มอากาศ ออกที่อายุสัปดาห์ต่างๆต่อวัน
 ก.อายุสัปดาห์ 10 วัน ข.อายุสัปดาห์ 15 วัน ค.อายุสัปดาห์ 20 วัน ง.อายุสัปดาห์ 30 วัน



ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยเข้า เต็มอากาศ ออกที่อายุสลัดจ์ต่างๆต่อวัน
 ก.อายุสลัดจ์ 0.5 วัน ข.อายุสลัดจ์ 1 วัน ค.อายุสลัดจ์ 2 วัน ง.อายุสลัดจ์ 5 วัน

จากการเดินระบบเมื่อค่าซีโอดีและของแข็งแขวนลอยเข้าสู่สภาวะคงที่ พีเอชของระบบมีค่า 7.5 และค่าดีไอของระบบมีค่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสแบบกวนสมบูร์ณ

4.4 อายุสลัดจ์

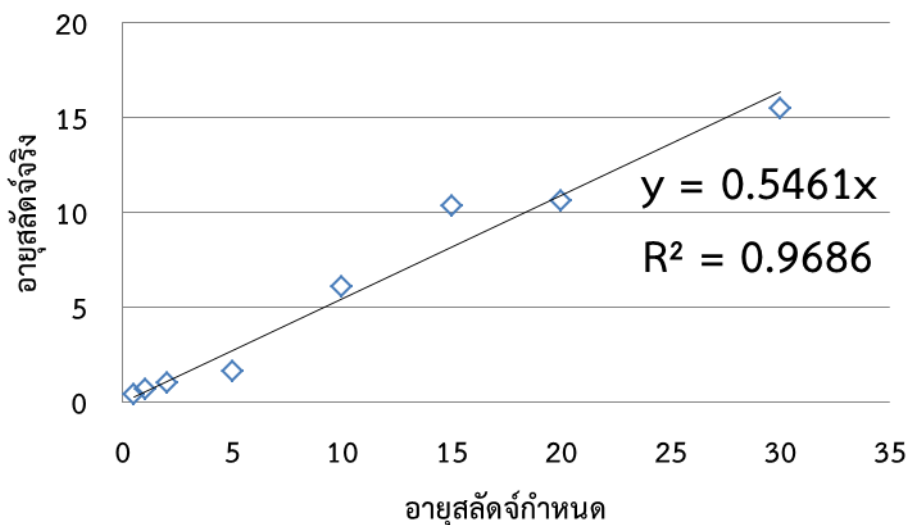
อายุสลัดจ์เป็นค่าที่บอกถึงระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในถังเติมอากาศ ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ โดยปกติแล้วค่าอายุสลัดจ์ที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดน้ำเสียมักอยู่ในช่วง 5-15 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542) ในการทดลองแบ่งอายุสลัดจ์ออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 กำหนดค่าอายุสลัดจ์ไว้ที่ 0.5, 1, 2 และ 5 วัน และ ช่วงที่ 2 กำหนดค่าอายุสลัดจ์ไว้ที่ 10, 15, 20 และ 30 วัน จากการทดลอง พบว่า นอกจากการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบแล้ว ยังพบว่า มีสลัดจ์หลุดออกจากระบบปะปนไปกับน้ำทิ้งดังแสดงไว้ในค่าของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ การที่มีสลัดจ์หลุดออกจากระบบเนื่องจากถังตกตะกอนในการทดลองไม่ได้มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน 100% สลัดจ์จึงหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และการที่มีสลัดจ์หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง จะส่งผลต่อค่าอายุสลัดจ์ของระบบโดยค่าอายุสลัดจ์ของระบบจะมีค่าลดลง ดังนั้น จึงได้ทำการคำนวณค่าอายุสลัดจ์ที่แท้จริงของระบบ ดังสมการที่ 4-1 และ ภาคผนวก ข หน้า 116-119 โดยการคิดสลัดจ์ส่วนเกินที่ทิ้งออกจากระบบรวมกับสลัดจ์ที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ให้ผลเป็นดังตารางที่ 4-3

$$\text{อายุสลัดจ์ (วัน)} = \frac{(V \cdot \text{MLSS})}{(F_w \cdot \text{MLSS}) + (F \cdot \text{SS})} \quad (4-1)$$

ตารางที่ 4-3 ค่าอายุสลัดจ์ที่กำหนดและอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบ

อายุสลัดจ์ที่กำหนด	อายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้น
0.5	0.4
1	0.7
2	1.03
5	1.62
10	6.1
15	10.4
20	10.6
30	15.5

จากตารางที่ 4-3 พบว่า อายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงจากอายุสลัดจ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีสลัดจ์หลุดออกจากระบบ ซึ่งการคิดค่าอายุสลัดจ์จะคิดจากค่าของแข็งแขวนลอย (MLSS) มากกว่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) เนื่องจากการหา MLSS ง่ายและสะดวกกว่า นอกจากนี้ ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่าระบบจะมีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ แต่โดยธรรมชาติสารอินทรีย์จะมีน้ำหนักมากกว่าสารอินทรีย์ ทำให้สารอินทรีย์จมอยู่บริเวณด้านล่างของถัง ขณะที่สารอินทรีย์ซึ่งเบากว่าจะมีบางส่วนหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง



ภาพที่ 4-7 อายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบต่ออายุสลัดจ์ที่กำหนด

จากการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นต่ออายุสลัดจ์ที่กำหนดพบว่า ค่าอายุสลัดจ์ที่กำหนดมีค่าน้อยกว่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นประมาณ 55% ดังภาพที่ 4-7 ซึ่งค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นนั้นจะนำมาใช้เป็นค่าอายุสลัดจ์ของงานวิจัยนี้และนำไปศึกษาค่าจลนพลศาสตร์

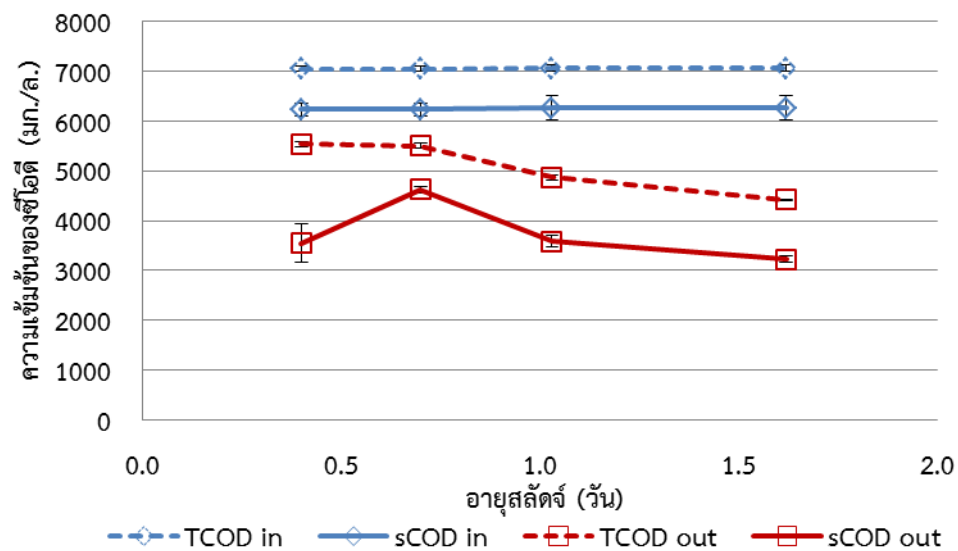
4.5 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญต่อการเดินระบบ

ในงานวิจัยนี้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน เดินระบบทั้งหมด 163 วัน ช่วงที่ 2 อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน ทำการเดินระบบทั้งหมด 30 วัน ต่อจากช่วงที่ 1 เนื่องจากน้ำเสียจริงที่ผ่านกระบวนการบำบัดไร้อากาศแล้ว ความเข้มข้นซีโอดีทั้ง 2 ช่วงมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จึงส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่ศึกษามีค่าแตกต่างกันไปด้วย ดังนี้

4.5.1 ซีโอดี (COD)

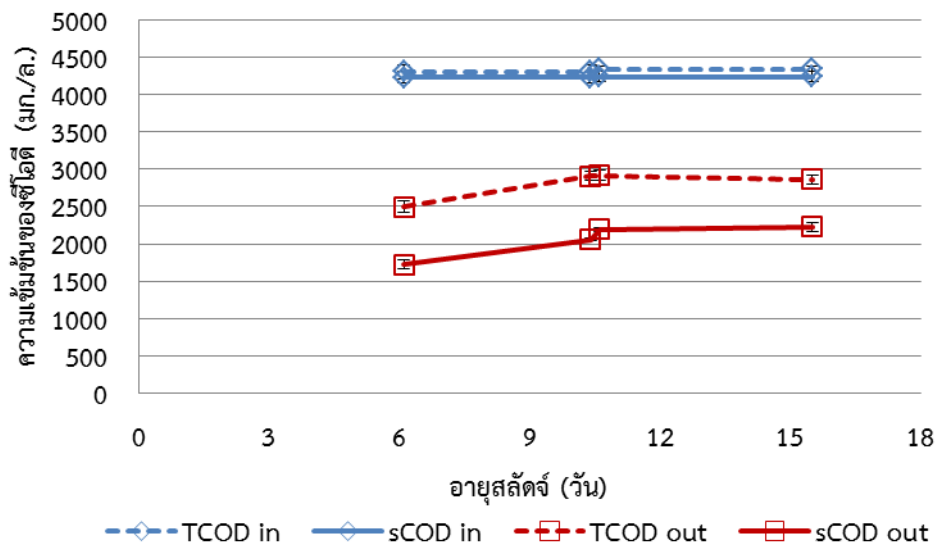
ช่วงที่ 1 อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน น้ำเสียที่รับมาจากระบบไร้อากาศมีค่าซีโอดีทั้งหมดที่เข้าระบบ (TCOD in) เฉลี่ย $7,040 \pm 6.80$ มก./ล. ขณะที่ซีโอดีละลายที่เข้าระบบ (sCOD in) มีค่าเฉลี่ย $6,240 \pm 70$ มก./ล. จะเห็นได้ว่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่เข้าระบบมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยซีโอดีละลายคิดเป็น 87% ของซีโอดีทั้งหมด แสดงว่าปริมาณของแข็งที่มาจากระบบไร้อากาศมีปริมาณน้อย น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอเอสแล้ว พบว่า ค่าซีโอดีทั้งหมดที่ออกจากระบบ (TCOD out) ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน มีค่า $4,414 \pm 9$ มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีโอดีออกจากระบบที่เหลือน้อยที่สุด รองลงมาที่อายุสลัดจ์ 1.03 วัน ซีโอดีออกจากระบบมีค่า $4,860 \pm 63$ มก./ล. ขณะที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน ซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกันคือ $5,534 \pm 56$ และ $5,499 \pm 62$ มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ค่าซีโอดีละลายที่ออกจากระบบ (sCOD out) ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับค่าซีโอดีทั้งหมด โดยที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน ซีโอดีออกจากระบบมีค่า $3,227 \pm 69$ มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีโอ

คือออกจากระบบที่เหลือน้อยที่สุด รองลงมาที่อายุสัปดาห์ 1.03 วัน ซีโอดีออกจากระบบมีค่า $3,586 \pm 108$ มก./ล. ขณะที่อายุสัปดาห์ 0.4 และ 0.7 วัน ซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกันคือ $3,551 \pm 377$ และ $4,619 \pm 72$ มก./ล. ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-8 และ ตารางที่ 4-4 และ 4-6 โดยข้อมูล ซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่เข้าและออกจากระบบคิดจากค่าซีโอดีเฉลี่ยเมื่อคงที่แล้ว 14 วัน ในแต่ละอายุสัปดาห์



ภาพที่ 4-8 ความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายเฉลี่ยที่เข้าและออกจากระบบ ที่อายุสัปดาห์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน

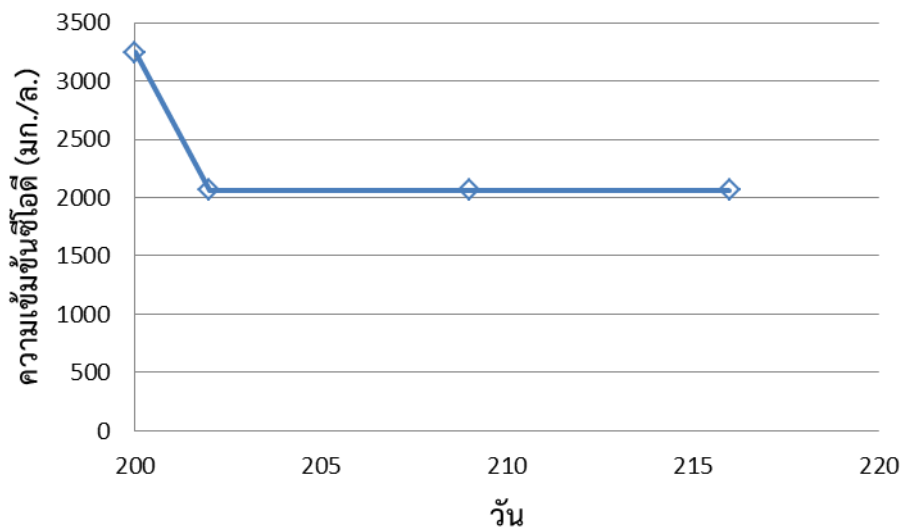
ช่วงที่ 2 อายุสัปดาห์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน น้ำเสียที่รับมาจากระบบไร้อากาศมีค่า ซีโอดีทั้งหมดที่เข้าระบบ (TCOD in) เฉลี่ย $4,324 \pm 34$ มก./ล. ขณะที่ซีโอดีละลายที่เข้าระบบ (sCOD in) มีค่าเฉลี่ย $4,237 \pm 4$ มก./ล. จะเห็นได้ว่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่เข้าระบบมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งซีโอดีละลายคิดเป็น 98% ของซีโอดีทั้งหมด แสดงว่าปริมาณของแข็งที่มาจากระบบไร้อากาศมี ปริมาณต่ำ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอเอสแล้ว พบว่า ค่าซีโอดีทั้งหมดที่ออกจากระบบ (TCOD out) ที่อายุสัปดาห์ 6.1 วัน มีค่า $2,494 \pm 80$ มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีโอดีออกจากระบบที่เหลือน้อย ที่สุด ส่วนที่อายุสัปดาห์ 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน ซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกันคือ $2,904 \pm 61$ $2,914 \pm 67$ และ $2,860 \pm 58$ มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ค่าซีโอดีละลายที่ออกจากระบบ (sCOD out) ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับค่าซีโอดีทั้งหมด โดยที่อายุสัปดาห์ 6.1 วัน ซีโอดีออกจากระบบมีค่า $1,724 \pm 66$ มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีโอดีออกจากระบบที่เหลือน้อยที่สุด ส่วนที่อายุสัปดาห์ 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน โอดีที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกันคือ $2,059 \pm 21$ $2,190 \pm 18$ และ $2,224 \pm 62$ มก./ล. ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-9 และ ตารางที่ 4-4 และ 4-6 โดยข้อมูลซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่เข้าและออกจากระบบคิดจากค่าซีโอดีเฉลี่ยเมื่อคงที่แล้ว 19 วัน ในแต่ละอายุสัปดาห์



ภาพที่ 4-9 ความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่เข้าและออกจากระบบ
ต่อที่อายุสัปดาห์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน

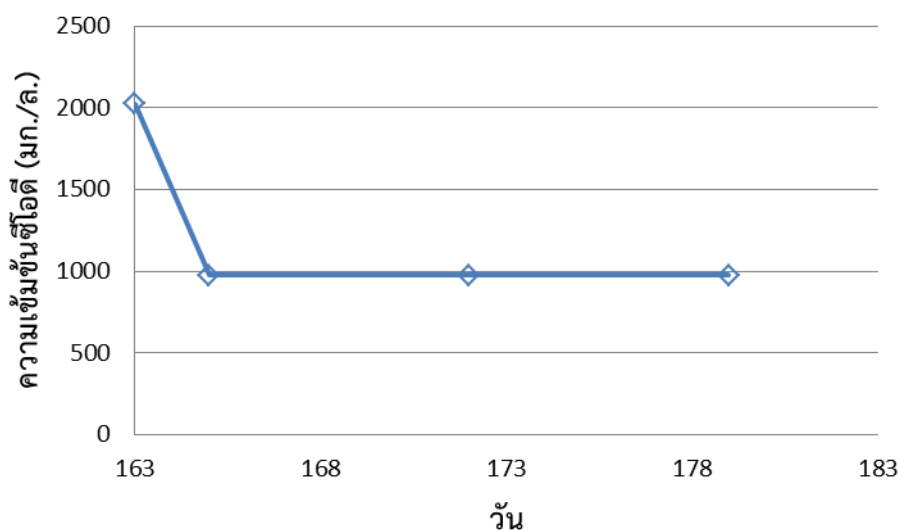
จากภาพที่ 4-8 และ 4-9 จะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบแอสแล้วที่อายุสัปดาห์ต่างๆยังคงมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง จึงนำน้ำที่ออกจากระบบแอสมาเติมอากาศต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 สัปดาห์เพื่อหาส่วนของซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยากและส่วนของซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

จากการทดลองในช่วงที่ 1 เลื่อนน้ำเสียที่ออกจากระบบแอส ที่อายุสัปดาห์ 1.62 วันมาเติมอากาศต่อเนื่อง เนื่องจากที่อายุสัปดาห์ 1.62 วัน ค่าซีโอดีละลายที่ออกจากระบบในวันที่ 200 มีค่า 3,245 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีโอดีที่เหลือน้อยที่สุด นำน้ำเสียใส่ลงในขวดพลาสติก จำนวน 200 มิลลิลิตร เติมอากาศต่อเนื่องเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในการทดลองนี้จะไม่มีการใส่จุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย เนื่องจากต้องการทราบเพียงส่วนของซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องเติมจุลินทรีย์เพิ่ม เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ สามารถลดค่าซีโอดีละลายเหลือ 2,065 มก./ล. และคงที่ตลอด 2 สัปดาห์ ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ความเข้มข้นของซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน เมื่อเติมอากาศต่อเนื่อง

จากการทดลองในช่วงที่ 2 เลื่อนน้ำเสียที่ออกจากระบบเอเอส ที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน เนื่องจากในขณะที่ทดลองที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน ค่าซีโอดีละลายที่ออกจากระบบในวันที่ 163 มีค่า 2,024 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าซีโอดีที่เหลือน้อยที่สุด นำน้ำเสียใส่ลงในขวดพลาสติก จำนวน 200 มิลลิลิตร เติมอากาศต่อเนื่องเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในการทดลองนี้จะไม่มีการใส่จุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย เนื่องจากต้องการทราบเพียงส่วนของซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องเติมจุลินทรีย์เพิ่ม เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ สามารถลดค่าซีโอดีละลายเหลือ 975 มก./ล. และคงที่ตลอด 2 สัปดาห์ ดังภาพที่ 4-11

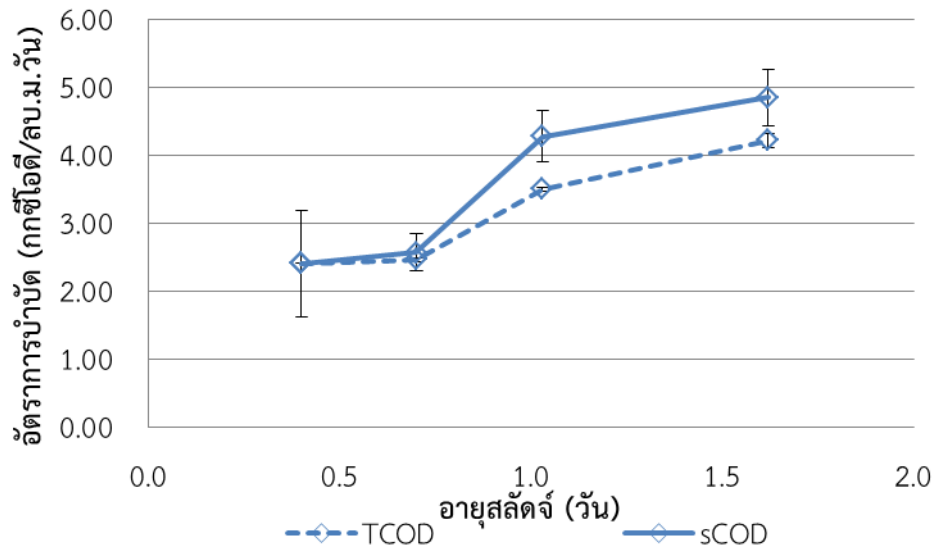


ภาพที่ 4-11 ความเข้มข้นของซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน เมื่อเติมอากาศต่อเนื่อง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ทุกอายุ สลัดจ์ น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีไม่ผ่านมาตรฐานตามกฎหมาย อาจจำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำให้มี ระยะเวลาที่นานกว่าเดิม เพราะจากการทดลองนี้ได้มีการเพิ่มค่าอายุสลัดจ์แล้วแต่ยังคงบำบัดได้ไม่ดี พอ หรืออาจมาจากสารอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic Compounds) ของไม้และเปลือกไม้ที่มี อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ ลิกนิน (Gomathi et al., 2012) สารประกอบคลอโรลิกนิน (Bajpai & Bajpai, 1994) ซึ่งย่อยสลายได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้ซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าสูง ในส่วนของบีโอดีในน้ำเสีย พบว่า ไม่มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ เนื่องจากการเติมอากาศต่อเนื่องเป็น เวลานาน ดังนั้น หากต้องการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ควรหาวิธีการบำบัดน้ำเสียต่อ ซึ่งมีทั้ง กระบวนการทางเคมี ได้แก่ กระบวนการโฟโตออกซิเดชัน (อุษาพร เลิศวิกุล, 2545) การใช้โอโซน (Ko et al., 2009) เป็นต้น ตามกฎหมายค่าซีโอดีน้ำทิ้งโรงงานไม้อัดมีค่าไม่เกิน 400 มก./ล. ค่าบีโอดี มีค่าไม่เกิน 60 มก./ล. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539) นอกจากนั้น สีของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นมาจาก สารประกอบคลอโรลิกนินที่อยู่ในไม้ (Bajpai & Bajpai, 1994) น้ำทิ้งจะมีสีน้ำตาล ซึ่งตามกฎหมาย แล้วเป็นสีที่ไม่น่าพึงประสงค์ ไม่เหมาะที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่สามารถนำน้ำเสียกลับมาใช้ ใหม่ได้ เช่น ล้างพื้น รดน้ำต้นไม้ แต่หากต้องการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม สามารถบำบัดด้วย กระบวนการต่างๆ เช่น ทางเคมี (โฟโตออกซิเดชัน) หรือ ทางชีวภาพ (ใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ) เป็นต้น

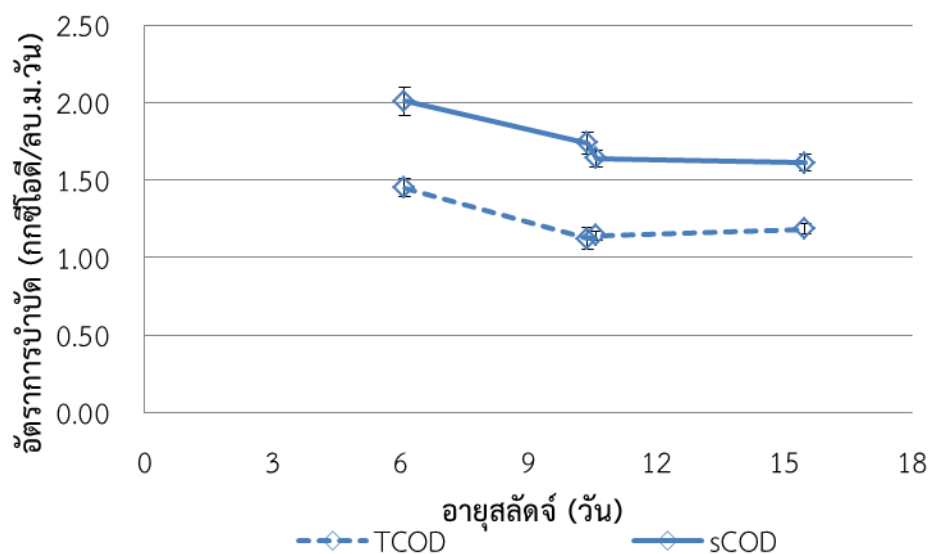
4.5.2 อัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำ

จากผลการทดลองซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลาย สามารถนำมาหาค่าอัตราการบำบัด สารอินทรีย์ต่อวันได้ โดยช่วงที่ 1 อัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมด ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน มีค่าเท่ากับ 4.21 ± 0.10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.วัน ซึ่งเป็นค่าอัตราการบำบัดที่สูงที่สุด ขณะที่อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7 และ 1.03 วัน อัตราการบำบัดมีค่าเท่ากับ 2.40 ± 0 , 2.46 ± 0.03 และ 3.50 ± 0.03 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.วัน ตามลำดับ ดังภาคผนวก ข หน้า 106 อัตราการบำบัดซีโอดีละลายได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับอัตรา การบำบัดซีโอดีทั้งหมด ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน อัตราการบำบัดมีค่าเท่ากับ 4.85 ± 0.41 กก.ซีโอดี/ลบ. ม.วัน ซึ่งเป็นค่าอัตราการบำบัดที่สูงที่สุด ขณะที่อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7 และ 1.03 วัน อัตราการบำบัดมี ค่าเท่ากับ 2.41 ± 0.78 , 2.57 ± 0.27 และ 4.27 ± 0.37 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.วัน ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-12 และ ภาคผนวก ข หน้า 108



ภาพที่ 4-12 อัตราการบำบัดซีไอดีทั้งหมดและซีไอดีละลายน้ำต่ออายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน

ช่วงที่ 2 อัตราการบำบัดซีไอดีทั้งหมด ที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน มีค่า 1.45 ± 0.06 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.วัน ซึ่งเป็นค่าอัตราการบำบัดที่สูงที่สุด ขณะที่อายุสลัดจ์ 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน อัตราการบำบัดมีค่าเท่ากับ 1.12 ± 0.07 , 1.14 ± 0.03 และ 1.18 ± 0.03 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.วัน ตามลำดับ ดังภาคผนวก ข หน้า 107 อัตราการบำบัดซีไอดีละลายได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับอัตราการบำบัดซีไอดีทั้งหมด ที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน อัตราการบำบัดมีค่าเท่ากับ 2.01 ± 0.09 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.วัน ซึ่งเป็นค่าอัตราการบำบัดที่สูงที่สุด ขณะที่อายุสลัดจ์ 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน อัตราการบำบัดมีค่าเท่ากับ 1.74 ± 0.07 , 1.64 ± 0.05 และ 1.61 ± 0.06 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.วัน ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-13 และภาคผนวก ข หน้า 109

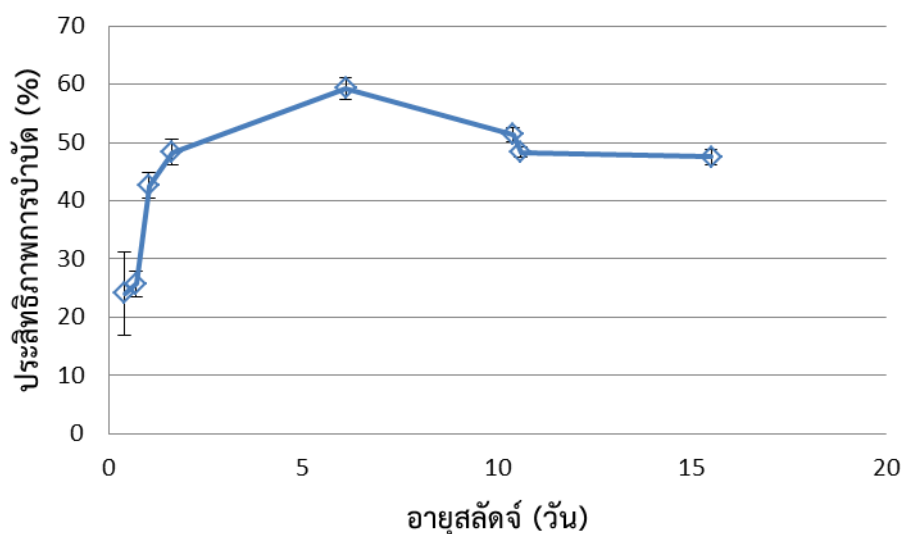


ภาพที่ 4-13 อัตราการบำบัดซีไอดีทั้งหมดและซีไอดีละลายน้ำต่ออายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน

โดยทั่วไปแล้วอัตราการบำบัดบีโอดีมีค่าประมาณ 4-5 กก.บีโอดี/ลบ.ม.วัน ซึ่งอัตราการบำบัดบีโอดีมีค่าเป็น 1.5 เท่าของอัตราการบำบัดบีโอดี จากผลการทดลองอัตราการบำบัดบีโอดีทั้ง 2 ช่วงพบว่า อัตราการบำบัดบีโอดีในระบบมีค่าต่ำกว่าอัตราการบำบัดบีโอดีด้วยซ้ำ เนื่องจากซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายถูกกำจัดออกไปหมดแล้วในระบบไร้อากาศ น้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสส่วนใหญ่เป็นส่วนหนึ่งของซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก ทำให้อัตราการบำบัดบีโอดีของระบบมีค่าต่ำ

4.5.3 ประสิทธิภาพการบำบัด

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ในที่นี้ใช้ค่าซีโอดีละลายน้ำเป็นตัวแทน เนื่องจากซีโอดีละลายน้ำเป็นค่าซีโอดีที่ผ่านการกรองแล้ว จะคิดแต่สารอินทรีย์ส่วนที่อยู่ในรูปละลายน้ำ ทำให้ค่าที่ได้เป็นค่าซีโอดีอย่างแท้จริง และในกรณีที่ต้องการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์จำเป็นต้องใช้ค่าซีโอดีละลายน้ำมาคิดเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของระบบ พบว่า ที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด 59% ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด รองลงมา ที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัด 51% ที่อายุสลัดจ์ 1.62, 10.6 และ 15.5 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากัน คือ 48% ที่อายุสลัดจ์ 1.03 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัด 43% ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน คือ 24% และ 26% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด ดังภาพที่ 4-14 และภาคผนวก ข หน้า 110-111



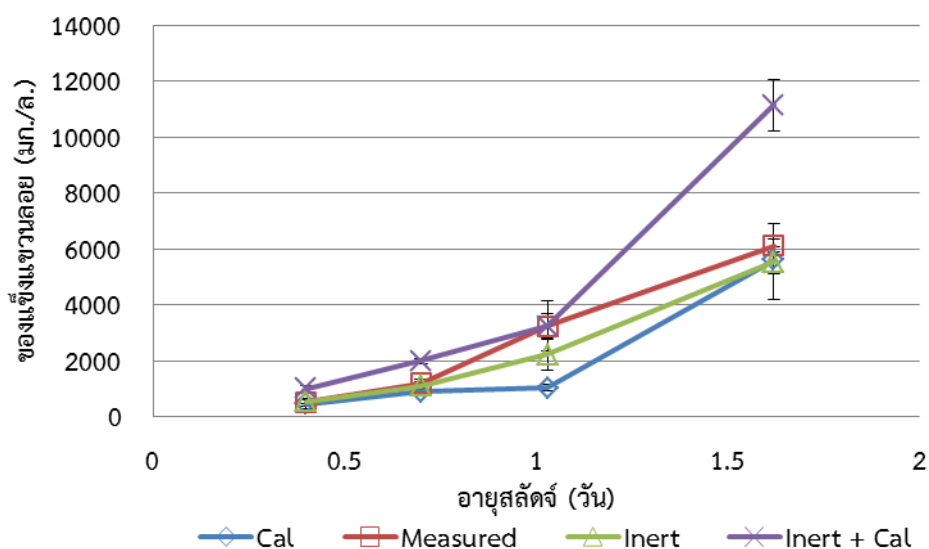
ภาพที่ 4-14 ประสิทธิภาพการบำบัดต่ออายุสลัดจ์ต่างๆ

จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบมีค่าอยู่ในระดับปานกลางหรือน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศมาแล้ว ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายจึงถูกกำจัดออกไปหมดแล้วในระบบไร้อากาศเหลือแต่ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก

4.5.4 ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย

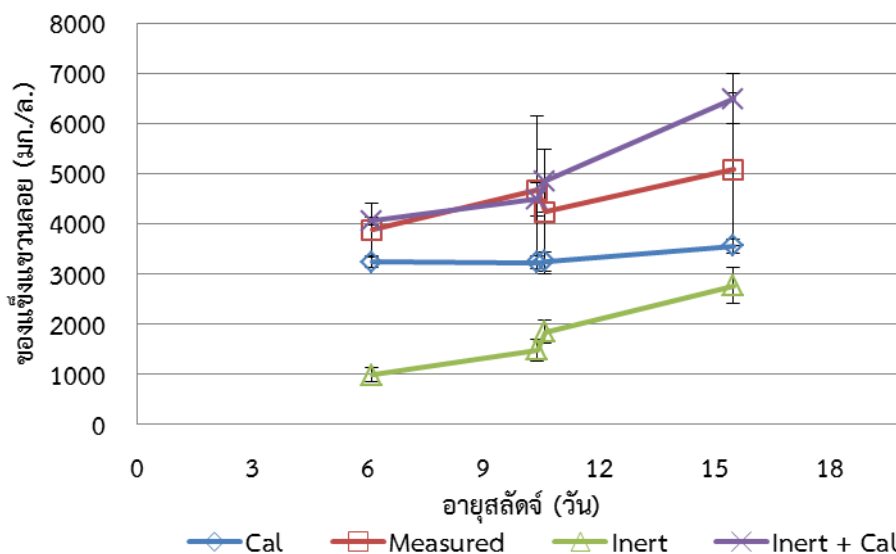
ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS) เป็นค่าที่ตรวจวัดเพื่อบอกถึงปริมาณของของแข็งแขวนลอยที่เข้าและออกจากระบบ ขณะที่ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ (Mix Liquor suspended solid; MLSS) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในถังเติมอากาศอาจเป็นจุลินทรีย์ในระบบ หรือ เป็นสารเฉื่อยที่มาจากน้ำเสียที่เข้าระบบ เป็นต้น

ในช่วงที่ 1 อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน ค่า SS ที่เข้าระบบมีค่าประมาณ 910 ± 9 มก./ล. ขณะที่ค่า SS ที่ออกจากระบบ ที่อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน มีค่า 158 ± 19 , 311 ± 36 , 940 ± 54 และ $1,597 \pm 15$ มก./ล. ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 ซึ่งค่า SS ที่ออกจากระบบมีค่าแตกต่างกันเป็นผลมาจากค่าอายุสลัดจ์ ส่วน MLSS ที่วัดได้จากระบบในถังเติมอากาศที่ทุกอายุสลัดจ์ มีค่าสูงกว่า MLSS ที่คำนวณจากค่าซีโอดีละลายน้ำ ดังภาคผนวก ข แสดงว่าน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์มีสลัดจ์ที่เป็นของแข็งแขวนลอยที่มาจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศอยู่ในน้ำเสีย ทำให้ค่า MLSS ที่วัดได้ในถังเติมอากาศมีค่าสูงกว่าที่คำนวณได้จากค่าซีโอดีละลายน้ำ เมื่อคำนวณค่า MLSS ที่เป็นสลัดจ์เฉื่อยที่มาจากระบบไร้อากาศเพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 549 ± 67 ถึง $5,541 \pm 1,340$ มก./ล. และเมื่อรวม MLSS ที่เป็นสลัดจ์เฉื่อยเพียงอย่างเดียวกับค่า MLSS ที่คำนวณได้จากค่าซีโอดีละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 991 ± 96 ถึง $10,676 \pm 950$ มก./ล. ดังภาพที่ 4-15 ซึ่งค่า MLSS ในส่วนนี้ เป็นค่า MLSS จริงที่ควรมีอยู่ในถังเติมอากาศ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า MLSS ที่วัดได้ในถังเติมอากาศ พบว่า MLSS ที่วัดได้ในถังเติมอากาศมีค่าน้อยกว่า เนื่องจาก มีสลัดจ์หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง การคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข หน้า 112,114



ภาพที่ 4-15 ค่าของแข็งแขวนลอยต่ออายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน

ในช่วงที่ 2 อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน ค่า SS ที่เข้าระบบมีค่าประมาณ 434 ± 53 มก./ล. ขณะที่ค่า SS ที่ออกจากระบบ ที่อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6, 15.5 วัน มีค่า 320 ± 75 มก./ล. ดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 ส่วน MLSS ที่วัดได้จากระบบในถังเติมอากาศที่ทุกอายุสลัดจ์ มีค่าสูงกว่า MLSS ที่คำนวณจากค่าซีไอดีละลายน้ำ แสดงว่า น้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์มีสลัดจ์ที่เป็นของแข็งแขวนลอยที่มาจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศอยู่ในน้ำเสียและอายุสลัดจ์มากกว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำมากส่งผลให้มีสลัดจ์สะสมอยู่ในระบบ ทำให้ค่า MLSS ที่วัดได้ในถังเติมอากาศสูงกว่าที่คำนวณได้จากค่าซีไอดีละลายน้ำ เมื่อคำนวณค่า MLSS ที่เป็นสลัดจ์เฉื่อยที่มาจากระบบไร้อากาศเพียงอย่างเดียว พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 991 ± 139 ถึง $2,771 \pm 352$ มก./ล. และเมื่อรวม MLSS ที่เป็นสลัดจ์เฉื่อยเพียงอย่างเดียวกับค่า MLSS ที่คำนวณได้จากค่าซีไอดีละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง $3,815 \pm 155$ ถึง $6,137 \pm 697$ มก./ล. ดังภาพที่ 4-15 ซึ่งค่า MLSS ในส่วนนี้ เป็นค่า MLSS จริงที่ควรมีอยู่ในถังเติมอากาศ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า MLSS ที่วัดได้ในถังเติมอากาศ พบว่า MLSS ที่วัดได้ในระบบที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน มีค่าสูงกว่า แต่ที่อายุสลัดจ์ 6.1 10.6 และ 15.5 วัน มีค่าน้อยกว่า ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่า MLSS ในระบบน่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้น แต่ผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นไปตามนั้น เนื่องจากปัญหาขณะเก็บตัวอย่าง หรือปริมาณสลัดจ์ที่สูงเกินไป ทำให้ระบบเก็บกักสลัดจ์ไว้ไม่ได้ และมีสลัดจ์หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง การคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข หน้า 113,115



ภาพที่ 4-16 ค่าของแข็งแขวนลอยต่ออายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6, 15.5 วัน

MLSS จากการทดลองนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะสามารถหาค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) ซึ่งค่านี้นบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบ ในด้านการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจะนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบเพื่อดูว่าในระบบบำบัดน้ำเสียนั้น ส่วนใหญ่แล้วมีปริมาณสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์อยู่ในระบบมากกว่ากัน และจากการทดลอง พบว่าค่า MLVSS/MLSS ของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-0.9 แสดงว่าทั้งสลัดจ์ที่เกิดขึ้นและสลัดจ์ที่สะสมอยู่ในระบบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์หรือเซลล์จุลินทรีย์

4.5.5 ของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

ของแข็งทั้งหมด (TS) บอกถึงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ เมื่อนำไปเผาจะมีส่วนหนึ่งที่ระเหยไป คือ ของแข็งระเหยได้ (VS) เป็นสารอินทรีย์ และ อีกส่วนจะยังคงอยู่ คือ ของแข็งคงตัว (FS) ที่เหลือจากการเผา ซึ่งของแข็งคงตัวจะเป็นสารอนินทรีย์

ช่วงที่ 1 อายุสัปดาห์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ย $19,871 \pm 31$ มก./ล. แบ่งออกเป็นของแข็งระเหยได้ (VS) มีค่าเฉลี่ย $6,284 \pm 35$ มก./ล. และของแข็งคงตัว (FS) มีค่าอยู่ในช่วง $13,587 \pm 5$ มก./ล. จะเห็นได้ว่า ค่า VS ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าซีโอดีที่เข้าระบบที่วัดได้ ($6,240 \pm 70$ มก./ล.) ขณะที่ค่า TS ในถังเติมอากาศมีค่าอยู่ในช่วง $16,571 \pm 534$ ถึง $19,871 \pm 538$ มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่สูง แบ่งออกเป็น VS มีค่าอยู่ในช่วง $6,120 \pm 1,038$ ถึง $8,257 \pm 345$ มก./ล. และ FS มีค่าอยู่ในช่วง $10,451 \pm 866$ ถึง $11,678 \pm 618$ มก./ล. จากตารางที่ 4-5 ที่อายุสัปดาห์ 1.62 วัน มีปริมาณ FS อยู่ในระบบมากกว่าที่อายุสัปดาห์อื่นๆ เนื่องจากที่อายุสัปดาห์สูง จะมีสัปดาห์ส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพสะสมอยู่ในระบบมากกว่า ค่า FS ที่วัดได้มีค่าสูง ส่วนค่า TS ที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง $16,372 \pm 1156$ มก./ล. แบ่งออกเป็น VS มีค่าอยู่ในช่วง $4,737 \pm 711$ มก./ล. และ FS มีค่าอยู่ในช่วง $11,600 \pm 766$ มก./ล. ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-6

ช่วงที่ 2 อายุสัปดาห์ 6.1, 10.4, 10.6, 15.5 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ย $8,574 \pm 999$ มก./ล. แบ่งออกเป็นของแข็งระเหยได้ (VS) มีค่า $4,283 \pm 658$ มก./ล. และของแข็งคงตัว (FS) มีค่า $4,291 \pm 407$ มก./ล. จากค่า VS ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าซีโอดีที่เข้าระบบที่วัดได้ ($4,237 \pm 4$ มก./ล.) ขณะที่ค่า TS ในถังเติมอากาศมีค่าอยู่ในช่วง $9,110 \pm 1,929$ ถึง $11,130 \pm 2,752$ มก./ล. ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง แบ่งออกเป็น VS มีค่าอยู่ในช่วง $4,716 \pm 1,634$ ถึง $6,663 \pm 2,619$ มก./ล. และ FS มีค่าอยู่ในช่วง $4,394 \pm 395$ ถึง $5,007 \pm 467$ มก./ล. จะเห็นได้ว่าระบบมีอายุสัปดาห์ที่ใกล้เคียงกันการสะสมของสัปดาห์ในระบบจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า TS ที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง $8,163 \pm 568$ มก./ล. แบ่งออกเป็น VS มีค่าอยู่ในช่วง $3,755 \pm 540$ มก./ล. และ FS มีค่าอยู่ในช่วง $4,408 \pm 56$ มก./ล. ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-6

น้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศมาแล้ว ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายจึงถูกกำจัดออกไปหมดแล้วในระบบไร้อากาศเหลือแต่ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นค่า VS ในระบบจึงมีค่าน้อยกว่า FS

จากผลการทดลองของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมด พบว่า ของแข็งและของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกจากระบบบำบัดเอเอสแบบกวนผสมมีปริมาณค่อนข้างสูง เกินค่ามาตรฐานตามกฎหมาย โดยของแข็งแขวนลอยที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมไม่เกิน 150 มก./ล. นอกจากนี้การที่มีสัปดาห์หลุดออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำนวนมาก จะส่งผลต่อค่าอายุสัปดาห์ในระบบ โดยค่าอายุสัปดาห์ในระบบจะไม่ใช่อายุสัปดาห์ที่ต้องการ ดังนั้น ในการคิดค่าอายุสัปดาห์จึงจำเป็นต้องคิดในส่วนหนึ่งของของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบด้วย

ตารางที่ 4-4 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญที่เข้าระบบ

พารามิเตอร์ อายุตะกอน	0.4 วัน	0.7 วัน	1.03 วัน	1.62 วัน	6.1 วัน	10.4 วัน	10.6 วัน	15.5 วัน
ซีไอดีทั้งหมด (มก./ล.)	7,034±56		7,047±67		4,307±97		4,341±38	
ซีไอดีละลาย (มก./ล.)	6,224±132		6,256±253		4,233±74		4,240±67	
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	918±50		902±41		480±224		388±107	
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มก./ล.)	812±50		795±25		457±213		378±149	
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	19892±622		19849±586		8,574±999			
ของแข็งระเหยได้ (มก./ล.)	6309±878		6259±1128		4,283±658			
ของแข็งคงตัว (มก./ล.)	13583±1187		13590±993		4,291±407			

ตารางที่ 4-5 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญในถังเติมอากาศ

พารามิเตอร์ อายุตะกอน	0.4 วัน	0.7 วัน	1.03 วัน	1.62 วัน	6.1 วัน	10.4 วัน	10.6 วัน	15.5 วัน
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	519±144	1179±162	3246±885	6117±214	3703±571	4829±1792	4157±1281	4946±1500
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มก./ล.)	441±131	1011±139	2742±872	5358±231	2273±831	3289±1718	2580±1421	2932±1411
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	16654±643	16571±534	19708±658	19871±538	9110±1929	11130±2752	10631±2402	10879±2891
ของแข็งระเหยได้ (มก./ล.)	6179±978	6120±1038	8257±345	8193±88	4716±1634	6663±2619	5996±2309	5871±2506
ของแข็งคงตัว (มก./ล.)	10476±125	10451±866	11451±9551	11678±618	4394±395	4467±246	4635±120	5007±467

ตารางที่ 4-6 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญที่ออกจากระบบ

พารามิเตอร์ อายุตะกอน	0.4 วัน	0.7 วัน	1.03 วัน	1.62 วัน	6.1 วัน	10.4 วัน	10.6 วัน	15.5 วัน
ซีไอดีทั้งหมด (มก./ล.)	5,534±56	5,499±62	4,860±63	4,414±9	2,494±80	2,904±61	2,914±67	2,860±58
ซีไอดีละลาย (มก./ล.)	4,719±377	4,619±72	3,586±108	3,227±69	1,724±66	2,059±21	2,190±18	2,224±62
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	158±19	311±36	940±54	1597±15	346±227	209±142	352±292	373±438
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มก./ล.)	133±19	268±27	833±54	1377±23	864±1516	444±809	306±215	346±384
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	15810±500	15700±617	18102±613	15875±523	7362±1212	8164±2706	8510±2363	8616±2517
ของแข็งระเหยได้ (มก./ล.)	4211±651	4061±385	5513±375	5161±814	2976±1224	3804±2352	4112±2216	4127±2174
ของแข็งคงตัว (มก./ล.)	11600±757	11638±331	12589±873	10714±815	4386±311	4360±387	4397±351	4489±415

4.6 การตกตะกอน

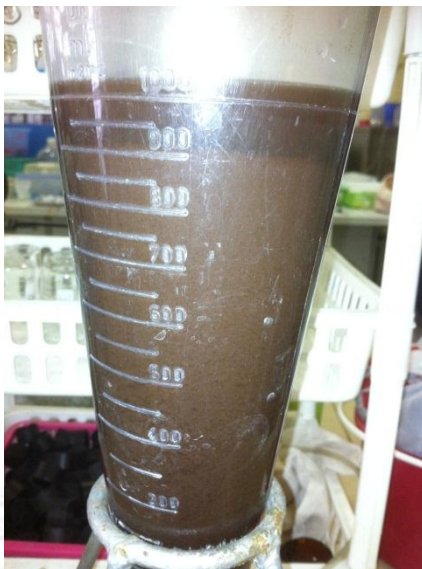
วิธีการทดสอบการตกตะกอนเป็นวิธีที่ง่ายแต่มีความสำคัญสำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ โดยในการทดลองนำน้ำเสียที่มีสลัดจ์ในถังเติมอากาศปริมาณ 1 ลิตรใส่ลงในกรวยอิมฮอฟฟ์ แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที (SV_{30}) ค่านี้ใช้ในการสังเกตลักษณะการตกของตะกอน ขณะที่ค่าดัชนีปริมาณตะกอน (Sludge Volum Index ; SVI) ที่บอกถึงความสามารถในการตกตะกอน

ช่วงที่ 1 ที่อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน มีค่า SV_{30} เฉลี่ยเท่ากับ 12 ± 5 , 62 ± 17 , 308 ± 138 และ 484 ± 100 มล./ล. ตามลำดับ โดยค่า SV_{30} ที่เหมาะสมนั้นควรอยู่ในช่วง 400-600 มล./ล. ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงการทำงานของระบบว่าสามารถทำงานได้อย่างปกติ ในช่วงนี้จะมีค่า SV_{30} ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน ดังภาพที่ 4-17 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่า SV_{30} มีค่าต่ำเนื่องจากปริมาณสลัดจ์ในระบบมีน้อยเกินไป หรือมีการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบมากเกินไป ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย น้ำในถังตกตะกอนจะขุ่น แก้ไขโดย ทำการ Start up ระบบให้มีความจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ ปรับลดอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ ในกรณีที่ไม่ได้รับการแก้ไข สีของตะกอนจะจางลง จุลินทรีย์ในระบบมีปริมาณน้อยจนไม่สามารถทำลายความสกปรกในน้ำเสียได้ น้ำในถังตกตะกอนจะขุ่นมากขึ้นเนื่องจากมีตะกอนเล็กที่ไม่สามารถจับตัวกันเป็นฟล็อก กระจายตัวอยู่ในถังตกตะกอนเต็มไปหมด (มันสีน ตันซูลเวคม) นอกจากนี้ ที่อายุสลัดจ์น้อยๆ ยังเกิดปัญหา ฟองสีขาวเกิดขึ้นหนาแน่นบริเวณผิวน้ำในถังเติมอากาศจำนวนมาก แก้ไขโดย หยุดการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบประมาณ 2-3 วัน หรือ ทิ้งสลัดจ์ออกให้น้อยที่สุด รักษาระดับ DO ให้มีค่า 2-3 มก./ล. และให้เกิดการกวนผสมภายในถังอย่างสมบูรณ์ นอกจาก SV_{30} แล้วยังมีค่า SVI ที่บอกถึงความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ โดยค่า SVI ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 80-120 มล./ก. ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน มีค่า SVI เท่ากับ 25 ± 15 และ 55 ± 21 มล./ก. มีค่าการตกตะกอนที่ต่ำมาก ขณะที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน มีค่า SVI เท่ากับ 92 ± 14 และ 79 ± 15 มล./ก. แสดงถึงระบบมีความสามารถในการตกตะกอนที่ดี



ภาพที่ 4-17 ค่า SV_{30} ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน

ช่วงที่ 2 ที่อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน มีค่า SV_{30} เฉลี่ย 510 ± 128 , 693 ± 176 , 681 ± 207 และ 719 ± 124 มล./ล. ตามลำดับ โดยค่า SV_{30} ที่เหมาะสมนั้นควรอยู่ในช่วง 400-600 มล./ล. ซึ่งเป็นค่าที่บอถึงการทำงานของระบบว่าสามารถทำงานได้อย่างปกติ ในช่วงนี้จะมีค่า SV_{30} อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม แต่ในบางครั้งค่า SV_{30} ของระบบมีค่าสูงถึง 900 มล./ล. ในช่วงอายุสลัดจ์สูงๆ จะมีการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ระบบสามารถกำจัดซีโอทีในน้ำเสียได้มาก แต่หากอายุสลัดจ์สูงมาก จนเกินไปการตกตะกอนจะเกิดได้เร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆลงมาได้หมดทำให้น้ำขุ่น เพราะมีตะกอนแขวนลอยมาก (Pin Flocc) นอกจากนี้ อาจพบปัญหาโรคจมนตัวไม่ลงของสลัดจ์ (Sludge Bulking) ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย หรือ การมีสลัดจ์อยู่ในระบบมากเกินไป ทำให้ค่า SV_{30} ที่วัดได้มีค่าสูง ดังภาพที่ 4-18 แก่โดย ทั้งสลัดจ์ออกจากระบบให้มากขึ้น เติม H_2O_2 ในทำการทำลายจุลินทรีย์เส้นใย โดยค่า SVI ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 80-120 มล./ก. ที่อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน มีค่าเท่ากับ 145 ± 46 , 137 ± 49 , 190 ± 55 และ 125 ± 32 มล./ก. ความสามารถในการตกตะกอนในช่วงนี้ ถือได้ว่ามีความสามารถในการตกตะกอนที่พอใช้



ภาพที่ 4-18 ค่า SV_{30} ที่อายุสลัดจ์ 15.5 วัน

4.7 ส่องกล้องจุลทรรศน์

การส่องกล้องจุลทรรศน์เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยควบคุมดูแลการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี เพราะทำให้สามารถทราบถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ หรือ สภาวะที่เกิดขึ้นในถังเติมอากาศ จากการส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่า

ช่วงที่ 1 อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน เป็นช่วงที่อายุสลัดจ์มีค่าน้อย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียจะไม่จับตัวเป็นกลุ่มก้อน แขนงลอยอยู่ในน้ำ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะไม่ค่อยพบโปรโตซัว และไม่พบการรวมกลุ่มของแบคทีเรีย โดยที่อายุสลัดจ์ 0.4, และ 0.7 วัน จะพบจุลินทรีย์จำพวก Free swimming Ciliate แต่พบในจำนวนน้อย ดังภาพที่ 4-19 ส่วนที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน พบจุลินทรีย์พวก Free swimming Ciliate และ Crawling Ciliates ดังภาพที่ 4-19 และ 4-20

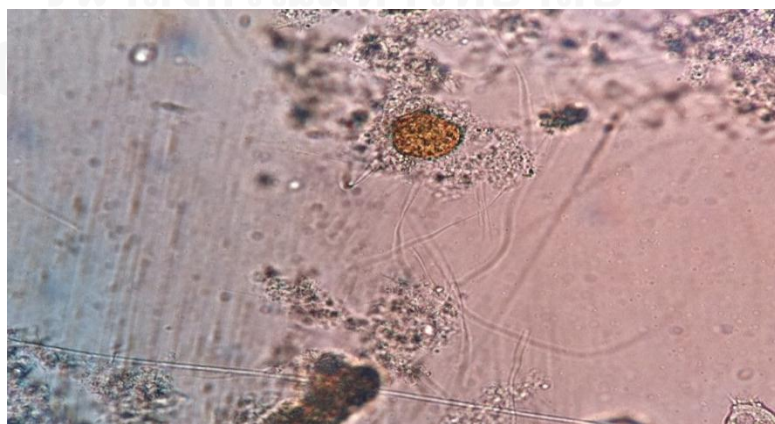
ช่วงที่ 2 อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน เป็นช่วงที่อายุสลัดจ์มีค่าสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีลักษณะขุ่น และสลัดจ์หลุดออกมากับน้ำทิ้ง โดยที่อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน พบเพียงจุลินทรีย์พวก Crawling Ciliates ดังภาพที่ 4-20 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มักพบในช่วงที่อายุสลัดจ์สูงหรือมีค่า MLSS สูง เนื่องจากจุลินทรีย์มีความคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และพบจุลินทรีย์จำพวก filamentous bacteria อยู่ในระบบ ดังภาพที่ 4-21 ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้ก่อให้เกิดปัญหาสลัดจ์จมไม่ลง จมตัวได้ช้าและไม่สามารถอัดตัวกันแน่น ส่งผลให้ค่า SV_{30} , SVI สูงขึ้น ถ้ามีค่าสูงจะแสดงถึงความสามารถในการตกตะกอนที่ไม่ดี และประสิทธิภาพในการทำงานล้มเหลว



ภาพที่ 4-19 Free Swimming Ciliates



ภาพที่ 4-20 Crawling Ciliates



ภาพที่ 4-21 filamentous bacteria

4.8 สภาวะการทำงานของระบบเอเอส

4.8.1 พีเอช

น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดมีค่าพีเอชประมาณ 4 ดังนั้นในขั้นแรกน้ำเสียเข้าสู่การบำบัดด้วยระบบไร้อากาศจำเป็นต้องปรับพีเอชให้มีความอยู่ในช่วง 7.0–7.5 เพื่อให้เหมาะสมต่อแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจน โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ในการปรับพีเอช ซึ่งในขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพกรดในน้ำเสียจะถูกแบคทีเรียชนิดที่สร้างมีเทนนำไปใช้ ทำให้กรดในระบบมีค่าลดลง ดังที่เติมลงไปในตอนแรกจึงเหลือมากเกินไปในระบบ ด้วยเหตุนี้ ทำให้พีเอชของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น โดยพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ของทั้ง 2 ช่วง มีค่าเฉลี่ย 7.4 ± 0.4 พีเอชของน้ำเสียในถังเติมอากาศมีค่าเฉลี่ย 8.7 ± 0.3 ส่วนพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย 8.7 ± 0.3 เช่นกัน ดังตารางที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์นั้นเป็นพีเอชที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการทำงานและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชเพิ่มเติม ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชที่ค่อนข้างสูง จึงเหมาะที่จะนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ในระบบใหม่อีกครั้งเพื่อเป็นการประหยัดสารเคมีในการปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นอย่าง

4.8.2 ออกซิเจนละลายน้ำ

ค่าออกซิเจนละลายน้ำหรือดีโอ (Dissolved Oxygen) เป็นค่าแสดงปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยทั่วไปสำหรับระบบเอเอสปริมาณออกซิเจนละลายควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 2 มก./ล. เพื่อป้องกันการเกิดแบคทีเรียชนิดเส้นใยและเพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเอเอส (มันสิน ตัญกุลเวศม์, 2542) ในงานวิจัยนี้จะใช้ปั๊มลมและหัวฟุ้งเติมอากาศเพื่อควบคุมค่าออกซิเจนละลาย โดยปรับให้มีอัตราการเติมอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.30 ± 0.30 ถึง 4.06 ± 0.18 มก./ล. ดังตารางที่ 4-5 โดยค่าดีโอที่วัดได้ในระบบความจริงแล้วเป็นค่าดีโอที่เหลือหลังจากจุลินทรีย์ใช้ไป ดังนั้น ค่าดีโอในถังเติมอากาศควรมีค่าไม่เกิน 1-2 มก./ล. เพราะการเติมอากาศที่มากเกินไปไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากในระบบมีปริมาณออกซิเจนที่มากเกินไปอยู่แล้ว นอกจากนี้ยังทำให้เปลืองค่าไฟโดยเปล่าประโยชน์

ตารางที่ 4-7 สภาวะการทำงานของระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์

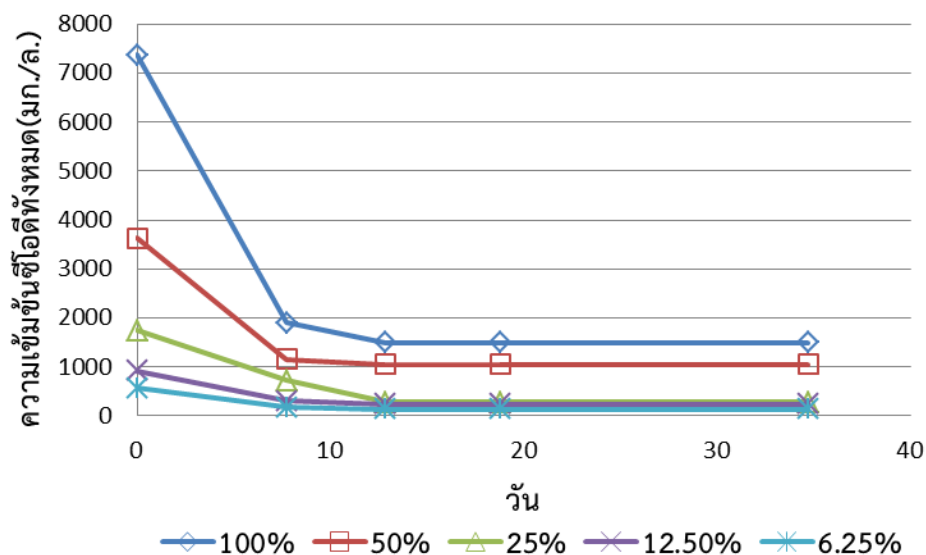
พารามิเตอร์ อายุตะกอน	0.4 วัน	0.7 วัน	1.03 วัน	1.62 วัน	6.1 วัน	10.4 วัน	10.6 วัน	15.5 วัน
พีเอชเข้าระบบ	7.5±0.15				7.4±0.64			
พีเอชในถังเติมอากาศ	9.0±0.11	9.0±0.07	9.0±0.11	8.9±0.20	8.5±0.46	8.5±0.52	8.5±0.51	8.5±0.56
พีเอชออกจากระบบ	9.0±0.1	9.0±0.1	9.0±0.1	8.9±0.2	8.5±0.52	8.5±0.56	8.5±0.54	8.5±0.59
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	2.30±0.30	2.41±0.30	2.34±0.30	2.50±0.30	3.75±0.19	3.87±0.17	4.06±0.18	3.74±0.19

4.9 การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์

ในการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ทำการทดลองแบบแบทช์ (Batch) เพิ่มเติม ซึ่งค่าจลนพลศาสตร์มีประโยชน์ในด้านการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส โดยนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มาหาค่าต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และค่าจลนพลศาสตร์

4.9.1 การศึกษาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield)

ในการศึกษาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำการทดลองแบบแบทช์ โดยนำน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศแล้วมากรองผ่านกระดาษกรอง แบ่งน้ำเสียออกเป็น 5 ความเข้มข้น ได้แก่ ความเข้มข้น 100%, 50%, 25%, 12.5% และ 6.25% ในการทดลองจะไม่มีสารใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงไปในทุกชุดการทดลอง เพื่อดูการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีการควบคุมปัจจัยด้านต่างๆ ที่เหมือนกัน จากการทดลองในถังเดิมอากาศไม่สามารถวัดค่าการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากในถังเดิมอากาศเซลล์จุลินทรีย์มีความเข้มข้นสูงและมีหลากหลายพันธุ์ หากวัดจากงานวิจัยค่าที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง ทำการวัดค่าซีโอดีและเซลล์ซีโอดีเริ่มต้น เดิมอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในแต่ละสัปดาห์จะทำการวัดซีโอดีที่ลดลง และเมื่อครบ 4 สัปดาห์ วัดความเข้มข้นซีโอดีสุดท้ายและเซลล์ซีโอดีสุดท้าย ดังภาพที่ 4-22

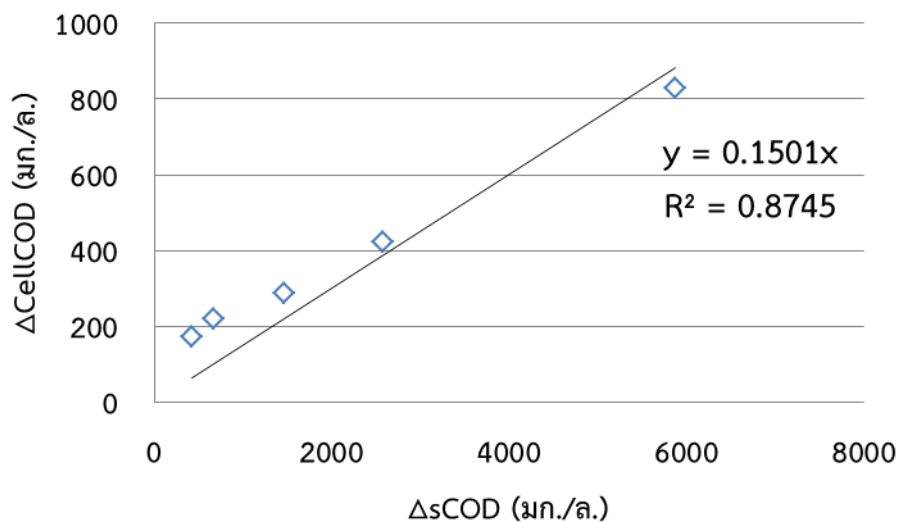


ภาพที่ 4-22 ความเข้มข้นซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปต่อวัน

ผลการทดลองพบว่า ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ลดลงแสดงถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อสารอินทรีย์ที่ใช้ไป เมื่อทราบการเปลี่ยนแปลงของค่า sCOD และ CellCOD ที่เกิดขึ้นจากการทดลองแล้ว ดังตารางที่ 4-8 นำค่าผลต่างของเซลล์ซีโอดี ($\Delta\text{CellCOD}$) และผลต่างของซีโอดี (ΔsCOD) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ได้กราฟดังภาพที่ 4-23

ตารางที่ 4-8 รายละเอียดการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ความเข้มข้น	sCOD เริ่มต้น	sCOD สุดท้าย	Δ sCOD	CellCOD เริ่มต้น	CellCOD สุดท้าย	Δ CellCOD
100%	7369	1498	5871	43	870	827
50%	3626	1056	2570	17	440	423
25%	1748	284	1464	13	300	287
12.5%	915	240	675	10	230	220
6.25%	563	141	422	7	180	173

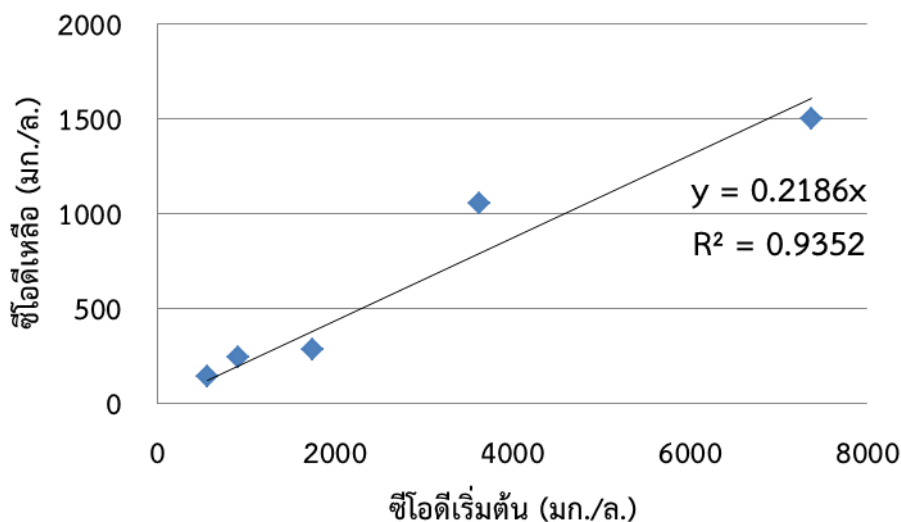


ภาพที่ 4-23 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

จากภาพที่ 4-23 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบอยู่ที่ประมาณ 0.15 มก.เซลล์/มก.ซีโอดี ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.6 มก.เซลล์/มก.ซีโอดี (Tchobanoglous et al., 2004) โดยสาเหตุที่สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของน้ำเสียโรงงานไม้อัดมีค่าน้อย เนื่องจากน้ำเสียชนิดนี้มีส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเยอะกว่าน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียที่เข้าระบบเอเอสเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศมาแล้ว ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายจึงถูกกำจัดออกไปหมดแล้วในระบบไร้อากาศเหลือแต่ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก

4.9.2 การหาค่าซีไอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ในการศึกษาค่าซีไอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นำข้อมูลจากตารางที่ 4-6 มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่เหลือจากการเติมอากาศต่อซีไอดีเริ่มต้นของระบบ จะได้กราฟดังภาพที่ 4-24

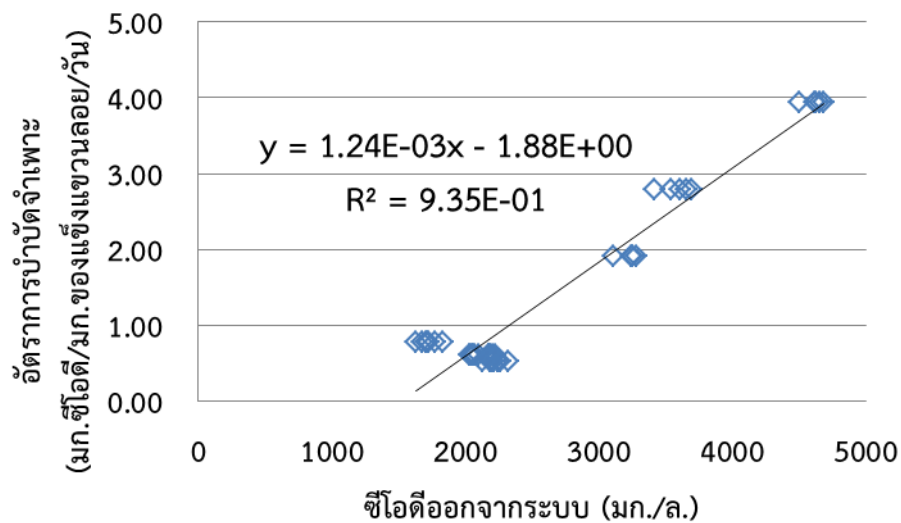


ภาพที่ 4-24 ซีไอดีที่เหลือต่อซีไอดีเริ่มต้น

จากภาพที่ 4-24 ค่าซีไอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ 0.218 เท่าของซีไอดีเริ่มต้นที่ผ่านการระบบไร้อากาศมาแล้ว หรือประมาณ 22% ซีไอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นมาจากสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่ ลิกนิน ไนไมล์และเปลือกไม้ (Gomathi et al., 2012) ส่วนของซีไอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำลง สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Y) ต่ำลงด้วย ขณะที่ MLSS ในระบบมีปริมาณสูง เนื่องจากมีสลัดจ์เฉื่อยที่มาจากระบบไร้อากาศและการมีสลัดจ์สะสมอยู่ในระบบจากการเวียนตะกอน

4.9.3 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

ในการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณอัตราการบำบัดจำเพาะ ดังภาคผนวก ค หน้า 120 จากนั้นนำค่าดังกล่าวมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดจำเพาะต่อซีโอดีออกจากระบบ ดังภาพที่ 4-25 เพื่อนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้มาใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 4-25 อัตราการบำบัดจำเพาะต่อซีโอดีออกจากระบบ

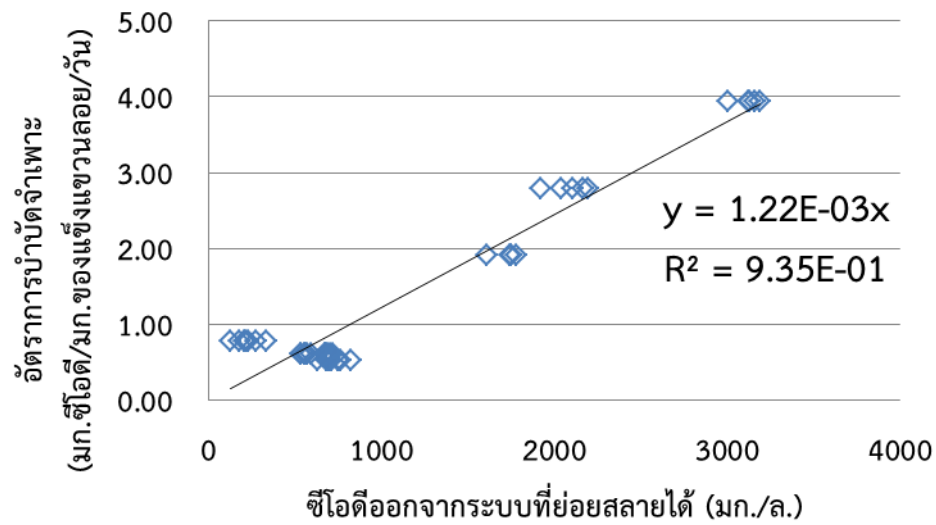
จะเห็นได้ว่า กราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เนื่องจากความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ ดังนั้น สมการจึงถูกลดรูปเหลือ

$$r = k_1 \cdot S$$

โดยที่

$$r = \frac{K_m}{K_s} \cdot S$$

และจากภาพที่ 4-25 สามารถประมาณค่าส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากเส้นกราฟที่เกิดขึ้น โดยเมื่อเส้นกราฟสัมผัสกับแกน X ค่าที่อ่านได้มีค่าประมาณ 1500 มก./ล. นำค่าที่ได้มาลบออกจาก sCOD ที่ออกจากระบบ โดยค่า sCOD ที่ได้จะเป็นค่าที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากนั้นพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดจำเพาะต่อ sCOD ออกจากระบบที่ย่อยสลายได้กับ จะได้กราฟดังภาพที่ 4-26



ภาพที่ 4-26 อัตราการบำบัดจำเพาะต่อซีโอดีออกจากระบบ

จากภาพที่ 4-26 พบว่า ค่าคงที่ของอัตราการบำบัดจำเพาะ (k_1) ของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ได้ ประมาณ 0.0012 ลิตร/มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน ซึ่งค่า k_1 ที่ได้ สามารถนำไปใช้ออกแบบขนาดถัง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ของน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์งานวิจัยนี้กับน้ำเสียชนิดอื่น ได้ผลดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์กับงานวิจัยอื่นๆ

ชนิดของน้ำเสีย	ความเข้มข้นน้ำเสียเริ่มต้น (มก./ล.)	ชนิดที่บำบัด	km (1/d)	Ks (mg/L)	k ₁ (ล./มก.·วัน)	แหล่งที่มา
น้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	4,000-6,200	ซีโอดี	-	-	0.0012	งานวิจัยนี้
น้ำเสียโรงงานกระดาษ	500	บีโอดี	30	2148	0.0139	(Tsang et al., 2006)
น้ำเสียสังเคราะห์ (โรงงานไม้, กระดาษ)	4,000	กรดแทนนิก	4.992	226	0.0221	(Li et al., 2009)
น้ำเสียโรงงานฟอกย้อม	2450	สีย้อม	-	-	0.294	(Sathian et al., 2014)
น้ำเสียชุมชน	335-664	ซีโอดี	5.5	35	0.157	(Nuhoglu, Keskinler, & Yildiz, 2005)

จากตารางที่ 4-9 น้ำเสียแต่ละชนิดแต่ละโรงงานมีกรรมวิธีการผลิต การใช้สารเคมี ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์ เช่น ในกรณีของน้ำเสียชุมชน อย่างที่ทราบกันดีว่า น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย เศษอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการย่อยสลาย เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียโรงงานไม้อัด ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนมีส่วนที่ย่อยสลายได้ยากและไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ค่าคงที่อัตราการบำบัดจึงมีค่าแตกต่างกัน โดยน้ำเสียที่มีการย่อยสลายยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะมีค่าคงที่อัตราการบำบัด (k₁) ต่ำกว่า ดังนั้น ในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดจำเป็นต้องมีค่าคงที่อัตราการบำบัดเฉพาะของน้ำเสียแต่ละประเภท

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและการตกตะกอนของน้ำเสียจริงที่มาจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแอกติเวเต็ดสลัดจ์ และศึกษาค่าจลนพลศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 ผลของการศึกษาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่อายุสลัดจ์ต่างๆ

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ตามค่าอายุสลัดจ์ ได้แก่ ช่วงที่ 1 ค่าอายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน และ ช่วงที่ 2 ค่าอายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน ผลการทดลองพบว่า ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน มีอัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่สูงสุด เท่ากับ 4.21 ± 0.10 และ 4.85 ± 0.41 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับทุกอายุสลัดจ์ และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี พบว่า ที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้สูงสุดถึง 59% เมื่อเทียบกับทุกอายุสลัดจ์ อัตราการบำบัดซีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ เนื่องจากซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายถูกกำจัดออกไปหมดแล้วในระบบไร้อากาศ น้ำเสียที่เข้าระบบแอสส่วนใหญ่นั้นเป็นส่วนหนึ่งของซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก ทำให้อัตราการบำบัดซีโอดีและประสิทธิภาพของระบบมีค่าน้อย

5.2 ผลของการตกตะกอนที่อายุสลัดจ์ต่างๆ

การตกตะกอนมักดูจากค่า SV_{30} และ SVI ให้มีค่าอยู่ในช่วงเหมาะสม ผลการทดลองพบว่า ที่อายุสลัดจ์ 0.4, 0.7, 1.03 และ 1.62 วัน มีความสามารถในการตกตะกอนที่ดี แต่จะประสบปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องจาก จุลินทรีย์ในระบบมีปริมาณน้อยจนไม่สามารถทำลายความสกปรกในน้ำเสียได้ น้ำในถังตกตะกอนจะขุ่นมากขึ้นเนื่องจากมีตะกอนเล็กที่ไม่สามารถจับตัวกันเป็นฟล็อกกระจายอยู่ในถังตกตะกอนเต็มไปหมด ขณะที่อายุสลัดจ์ 6.1, 10.4, 10.6 และ 15.5 วัน สามารถกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้มาก มีการตกตะกอนที่เร็ว แต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆลงมาได้หมด น้ำจึงขุ่นเพราะมีตะกอนแขวนลอยมาก (Pin Flocc) นอกจากนี้ ยังพบปัญหาโรคจมนตัวไม่ลงของสลัดจ์ (Sludge Bulking) ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย หรือ การมีสลัดจ์อยู่ในระบบมากเกินไป ความสามารถในการตกตะกอนในช่วงนี้ ถือได้ว่ามีความสามารถในการตกตะกอนที่พอใช้ ดังนั้น ในเรื่องของการตกตะกอน ควรเลือกที่อายุสลัดจ์ที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าอายุสลัดจ์ 1.62-6.1 วัน เป็นค่าที่มีการตกตะกอนอยู่ในช่วงที่ดี

5.3 ผลของการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์

ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield) มีค่า 0.15 มก.เซลล์/มก.ซีโอดี ซึ่งเป็นค่าที่ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ส่วนค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพของน้ำเสียชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 22% และการหาค่าจลนพลศาสตร์ กราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ค่าคงที่ของอัตราการบำบัดจำเพาะ (k_1) ของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ได้ประมาณ 0.0012 ล./มก.·วัน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบขนาดถัง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ของน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบได้ เป็นต้น

5.4 ความสำคัญด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้งาน

จากผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้งานด้านต่างๆได้ดังนี้

1. ทราบสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเสียชนิดนี้ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ
2. สามารถออกแบบขนาดถัง ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ได้ โดยการนำค่าคงที่อัตราการบำบัดจำเพาะ (k_1) จากกราฟมาออกแบบ

5.5 ข้อเสนอแนะ

น้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ มีส่วนที่ย่อยสลายได้ยากและส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอยู่มาก เนื่องจากสารอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic Compounds) ของไม้และเปลือกไม้ที่มีอยู่ในน้ำเสีย หากต้องการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ควรหาวิธีการบำบัดน้ำเสียต่อ ซึ่งมีทั้งกระบวนการทางเคมี ได้แก่ กระบวนการฟิโตออกซิเดชัน โอโซน เป็นต้น

สีของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นมาจากสารประกอบคลอโรลิกนินที่อยู่ในไม้ น้ำทิ้งจะมีสีน้ำตาล ซึ่งตามกฎหมายแล้วเป็นสีที่ไม่น่าพึงประสงค์ ไม่เหมาะที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่สามารถนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น ล้างพื้น รดน้ำต้นไม้ แต่หากต้องการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม สามารถบำบัดด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น ทางเคมี (ฟิโตออกซิเดชัน) หรือ ทางชีวภาพ (ใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ) เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

- APHA. (1998). *American Public Health Association Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20 ed.). Washington, DC: APHA and American Water Works Association and Water Environment Federation.
- Bajpai, P., & Bajpai, P. K. (1994). Biological colour removal of pulp and paper mill wastewaters. *Journal of Biotechnology*, 33(3), 211-220. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1656\(94\)90069-8](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1656(94)90069-8)
- Barr, T. A., Taylor, J. M., & Duff, S. J. B. (1996). Effect of HRT, SRT and temperature on the performance of activated sludge reactors treating bleached kraft mill effluent. *Water Research*, 30(4), 799-810. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00218-9](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(95)00218-9)
- Belmonte, M., Xavier, C., Decap, J., Martinez, M., Sierra-Alvarez, R., & Vidal, G. (2006). Improved aerobic biodegradation of abietic acid in ECF bleached kraft mill effluent due to biomass adaptation. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3), 256-263. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.061>
- Diez, M. C., Castillo, G., Aguilar, L., Vidal, G., & Mora, M. L. (2002). Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of Pinus radiata kraft mill wastewater. *Bioresource Technology*, 83(2), 131-138. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00204-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00204-8)
- Environmental Protection Agency. (1997). *Wastewater Treatment Manuals Primary, Secondary and Tertiary Treatment*. Ireland: Environmental Protection Agency.
- Gomathi, V., Ramanathan, A., Sivaramaiah, N., Ramanjaneya, V., & Jayasimha, D. (2012). Decolourization of paper mill effluent by immobilized cells of phanerochaete chrysosporium *International of plant, animal and environmental science*, 2(1).
- Grady, C. P. L., Daigger, G. T., & Lim, H. C. (1999). *Biological wastewater treatment* (2 ed.). New York, USA: Marcel Dekker.
- Gran, G. (1970). Wastewater from fiberboard mills. Retrieved 2013, March 30 <http://www.iupac.org/publications/pac/pdf/1972/pdf/2901x0299.pdf>
- Jansson, U. M. B., & Back, E. L. (1976). Pollution abatement in fiber building board mills. Retrieved 2013, March 30 <http://pac.iupac.org/publications/pac/pdf/1976/pdf/4503x0175.pdf>
- Ko, C.-H., Hsieh, P.-H., Chang, M.-W., Chern, J.-M., Chiang, S.-M., & Tzeng, C.-J. (2009). Kinetics of pulp mill effluent treatment by ozone-based processes. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 875-881. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.111>

- Li, W. W., Li, X. D., & Zeng, K. M. (2009). Aerobic biodegradation kinetics of tannic acid in activated sludge system. *Biochemical Engineering Journal*, 43(2), 142-148. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2008.09.010>
- Marshall. (1976). Biaxially oriented nonwoven fabrics and method of making same. Retrieved 2014, June 16 <http://www.freepatentsonline.com/3969561.pdf>
- Nuhoglu, A., Keskinler, B., & Yildiz, E. (2005). Mathematical modelling of the activated sludge process—the Erzincan case. *Process Biochemistry*, 40(7), 2467-2473. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2004.09.011>
- Sathian, S., Rajasimman, M., Radha, G., Shanmugapriya, V., & Karthikeyan, C. (2014). Performance of SBR for the treatment of textile dye wastewater: Optimization and kinetic studies. *Alexandria Engineering Journal*, 53(2), 417-426. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2014.03.003>
- Shawwa, A. R., Smith, D. W., & Segoo, D. C. (2001). Color and chlorinated organics removal from pulp mills wastewater using activated petroleum coke. *Water Research*, 35(3), 745-749. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00322-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00322-5)
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse* (4 ed.). U.S.A. : McGraw-Hill Education.
- Tsang, Y. F., Chua, H., Sin, S. N., & Tam, C. Y. (2006). A novel technology for bulking control in biological wastewater treatment plant for pulp and paper making industry. *Biochemical Engineering Journal*, 32(3), 127-134. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2006.08.014>
- Videla, S., Isaacs, C., & Cristina Diez, M. (1998). Evaluation of Sequential Aerated Treatment of Wastewater From Hardboard Mill. Retrieved 2013, March 15 <http://www.scielo.br/pdf/babt/v41n3/v41n3a02.pdf>
- ภาษาไทย**
- โครงการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนภายใต้กฎเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมโลก. (2013). อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนไทย Retrieved 18 มีนาคม 2556, from <http://www2.oie.go.th/GWoods/index.php>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2539). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน Retrieved 10 มีนาคม 2557 <http://www.diw.go.th/hawk/law/water/WATER11.pdf>
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม, & สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2545). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กรมป่าไม้. (2553). สถิติกรมป่าไม้. Retrieved 18 มีนาคม 2556, from <http://forestinfo.forest.go.th>.

- คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2538). การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย (พิมพ์ครั้งที่ 2 ed.). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จักรกฤษณ์ จตุรภัทรโกติน. (2551). ค่าจลนพลศาสตร์และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระ เกรอต. (2539). วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บทความดีดีมีสาระ. (2013). ปัญหาจุลินทรีย์ออกมาค้ำน้ำทิ้งมากเกินไป. Retrieved 28 มีนาคม 2556, from <http://www.thaieditorial.com>
- บริษัท อะโกรไฟเบอร์ จำกัด. (2013). ข้อมูลทั่วไป Retrieved 12 มกราคม 2556, from <http://www.agrofiber.net>.
- บุญส่ง ศิลปเจริญกุล. (2536). การออกแบบปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. โครงการอบรมเรื่องการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล. Retrieved 15 เมษายน 2557 http://hpc4.anamai.moph.go.th/workplace/files/paper_chap3.pdf
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. (2542). เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1-2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรัณย์ เตชะเสน. (2555). เอกสารประกอบการเรียนวิชาทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2552). ระบบบำบัดน้ำเสีย (*Waste water Treatment System*). กรุงเทพมหานคร: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ, & ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2548). ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ Retrieved 12 เมษายน 2556, from http://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/6_2548/OccHealth.htm
- อุษาพร เลิศวิกุล. (2545). การลดซีไอทีในน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าดีไอ ค่าซีโอดีทั้งหมด ค่าซีโอดีละลายน้ำ ค่าของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด

ตารางที่ ก-1 ค่าพีเอชเข้า-เอเอส-ออกจากระบบ ที่อายุสัปดาห์ 6.1 10.4 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day			10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
0	7.1	8.8	8.8	7.1	8.9	8.9	7.1	8.9	8.9	7.1	8.6	8.6
2	6.3	8.8	8.8	6.5	8.6	8.6	6.7	8.8	8.8	6.5	8.7	8.7
3	6.6	8.6	8.6	6.6	8.5	8.5	6.7	8.6	8.6	6.6	8.5	8.5
4	7.1	8.4	8.4	7.2	8.6	8.6	7.1	8.5	8.5	7.1	8.4	8.4
5	6.8	8.5	8.5	7.0	8.2	8.2	6.9	8.4	8.4	7.0	8.3	8.3
7	7.2	8.8	8.8	7.2	8.8	8.8	7.2	8.5	8.5	7.2	7.8	7.8
8	7.5	8.0	8.0	7.4	7.8	7.8	7.4	7.7	7.7	7.5	7.6	7.6
15	6.7	7.8	7.8	6.7	7.6	7.6	6.7	7.7	7.7	6.7	7.7	7.7
19	6.6	7.9	7.9	6.5	7.9	7.9	6.7	8.1	8.1	6.6	8.1	8.1
21	6.9	7.7	7.7	6.9	7.6	7.6	6.9	7.6	7.6	6.9	7.5	7.5
22	6.3	7.6	7.6	6.3	7.6	7.6	6.3	7.6	7.6	6.3	7.6	7.6
24	6.8	7.5	7.5	6.8	7.5	7.5	6.8	7.5	7.5	6.8	7.5	7.5
37	8.2	8.7	8.7	8.2	8.8	8.8	8.3	8.8	8.8	8.2	8.7	8.7
38	8.5	8.9	8.9	8.8	8.9	8.9	8.5	8.9	8.9	8.4	8.8	8.8
46	6.0	7.6	7.6	5.9	7.8	7.8	6.1	8.1	8.1	5.8	7.7	7.7
52	6.9	7.3	7.3	6.1	7.5	7.5	6.9	7.5	7.5	6.0	7.6	7.6
53	6.4	8.0	8.0	7.2	7.9	7.9	6.7	7.8	7.8	6.7	7.7	7.7
57	6.0	7.9	7.9	6.2	7.6	7.6	6.2	7.6	7.6	6.2	7.4	7.4
*63	-	8.4	-	-	8.1	-	-	8.0	-	-	8.1	-
64	-	8.3	-	-	8.0	-	-	7.9	-	-	8.0	-
65	-	8.4	-	-	8.2	-	-	8.0	-	-	8.1	-
66	-	8.3	-	-	8.1	-	-	8.0	-	-	8.1	-
70	7.6	-	-	7.6	-	-	7.6	-	-	7.6	-	-
71	-	8.3	-	-	8.0	-	-	8.0	-	-	7.8	-
72	-	8.7	-	-	8.6	-	-	8.9	-	-	8.8	-
74	7.5	8.7	-	7.5	8.9	-	7.5	8.9	-	7.5	8.9	-
77	-	8.7	-	-	8.8	-	-	8.5	-	-	9.0	-

SRT Day	6.1 day			10.4 day			10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
78	-	8.8	-	-	8.7	-	-	8.7	-	-	8.9	-
79	7.4	8.8	-	7.4	8.9	-	7.4	8.8	-	7.4	9.0	-
81	-	8.8	-	-	8.8	-	-	8.7	-	-	8.6	-
84	-	8.7	-	-	8.6	-	-	8.6	-	-	8.7	-
86	7.4	8.9	-	7.4	8.9	-	7.4	8.9	-	7.4	8.9	-
92	7.6	8.9	-	7.6	9.1	-	7.6	9.2	-	7.6	9.1	-
*93	7.7	9.1	9.1	7.7	9.1	9.1	7.7	9.2	9.2	7.7	9.1	9.1
95	7.6	8.8	8.8	7.5	9.1	9.1	7.6	8.8	8.8	7.6	9.1	9.1
98	8.5	9.0	9.0	8.5	9.2	9.2	8.3	8.7	8.7	8.3	8.9	8.9
101	8.3	9.1	9.1	8.3	8.9	8.9	8.3	8.8	8.8	8.3	8.8	8.8
102	8.1	8.9	8.9	8.1	9.0	9.0	8.2	8.9	8.9	8.2	9.1	9.1
105	7.8	8.9	8.9	7.8	9.0	9.0	7.7	9.0	9.0	7.7	9.2	9.2
113	8.0	8.7	8.7	8.0	8.7	8.7	8.0	8.7	8.7	8.0	9.0	9.0
122	7.7	8.9	8.9	7.7	9.4	9.4	7.8	9.5	9.5	7.8	9.6	9.6
123	7.8	8.6	8.6	7.8	8.8	8.8	7.8	8.7	8.7	7.8	8.8	8.8
128	7.5	8.2	8.2	7.5	8.5	8.5	7.7	8.4	8.4	7.7	8.4	8.4
130	7.6	8.2	8.2	7.6	8.2	8.2	7.6	8.3	8.3	7.6	8.3	8.3
137	8.3	8.8	8.8	8.3	8.8	8.8	8.3	8.8	8.8	8.3	8.9	8.9
140	7.2	9.4	9.4	7.2	9.4	9.4	7.2	9.4	9.4	7.2	9.4	9.4
142	7.0	8.8	8.8	7.0	8.8	8.8	7.1	8.8	8.8	7.1	8.8	8.8
144	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7
148	7.5	8.8	8.8	7.5	8.7	8.7	7.5	8.8	8.8	7.5	8.7	8.7
151	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7
154	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7
156	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7
158	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7	7.7	8.8	8.8	7.7	8.7	8.7
163	7.3	8.8	8.8	7.3	8.9	8.9	7.3	8.9	8.9	7.3	8.9	8.9
AVG.	7.4	8.5	8.5	7.4	8.5	8.5	7.4	8.5	8.5	7.4	8.5	8.5

หมายเหตุ วันที่ 63 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 93 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-2 ค่าพีเอชเข้า-เอเอส-ออกจากระบบ ที่อายุสัปดาห์ 0.4 0.7 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day			1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
170	7.1	8.8	8.8	7.1	8.9	8.9	7.1	8.9	8.9	7.1	8.6	8.6
172	7.5	8.9	8.9	7.5	8.9	8.9	7.5	8.9	8.9	7.5	8.6	8.6
175	7.4	8.9	8.9	7.4	8.9	8.9	7.4	8.8	8.8	7.4	8.9	8.9
177	7.5	8.9	8.9	7.5	8.8	8.8	7.5	8.9	8.9	7.5	8.9	8.9
179	7.4	9.0	9.0	7.4	9.0	9.0	7.4	9.0	9.0	7.4	9.0	9.0
182	7.6	9.1	9.1	7.6	9.0	9.0	7.5	9.1	9.1	7.5	9.3	9.3
184	7.6	9.1	9.1	7.6	9.0	9.0	7.6	9.0	9.0	7.6	9.0	9.0
186	7.5	9.1	9.1	7.5	9.0	9.0	7.5	9.1	9.1	7.5	9.0	9.0
189	7.6	9.1	9.1	7.6	9.0	9.0	7.6	9.1	9.1	7.6	9.0	9.0
191	7.4	9.1	9.1	7.4	9.0	9.0	7.4	9.1	9.1	7.4	9.0	9.0
193	7.6	9.1	9.1	7.6	9.0	9.0	7.6	9.1	9.1	7.6	9.0	9.0
AVG.	7.5	9.0	9.0	7.5	9.0	9.0	7.5	9.0	9.0	7.5	8.9	8.9

ตารางที่ ก-3 ค่าดีไอในถังเติมอากาศที่อายุสัปดาห์ 6.1 10.4 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day			10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
0	-	4.24	-	-	6.24	-	-	7.3	-	-	5.55	-
4	-	1.81	-	-	3.23	-	-	3.88	-	-	1.81	-
5	-	1.31	-	-	1.56	-	-	5.15	-	-	5.05	-
7	-	2.45	-	-	3.99	-	-	3.75	-	-	0.35	-
8	-	3.70	-	-	3.48	-	-	5.05	-	-	3.87	-
15	-	4.21	-	-	1.68	-	-	2.02	-	-	0.06	-
19	-	3.78	-	-	4.01	-	-	4.79	-	-	4.47	-
21	-	3.34	-	-	1.99	-	-	3.02	-	-	2.79	-
22	-	1.67	-	-	2.45	-	-	2.34	-	-	3.05	-
24	-	2.64	-	-	4.02	-	-	2.96	-	-	3.47	-
37	-	3.21	-	-	4.22	-	-	5.9	-	-	3.65	-
38	-	4.55	-	-	5.56	-	-	5.33	-	-	4.16	-
46	-	1.51	-	-	2.34	-	-	7.77	-	-	2.48	-
52	-	0.36	-	-	1.77	-	-	1.79	-	-	2.44	-
57	-	3.68	-	-	7.37	-	-	0.26	-	-	7.28	-
*63	-	4.47	-	-	1.62	-	-	2.67	-	-	3.59	-
64	-	6.12	-	-	3.57	-	-	4.56	-	-	4.11	-
65	-	5.79	-	-	3.83	-	-	5.29	-	-	3.39	-
66	-	4.97	-	-	4.74	-	-	4.86	-	-	3.56	-
71	-	2.05	-	-	2.37	-	-	4.60	-	-	3.02	-
72	-	5.04	-	-	4.53	-	-	5.47	-	-	5.42	-
76	-	5.81	-	-	5.47	-	-	3.59	-	-	6.08	-
81	-	4.92	-	-	5.55	-	-	4.79	-	-	1.09	-
84	-	5.89	-	-	4.43	-	-	5.37	-	-	5.38	-
88	-	6.03	-	-	6.60	-	-	5.52	-	-	6.22	-
92	-	5.76	-	-	6.51	-	-	5.16	-	-	6.15	-
*93	-	5.56	-	-	6.41	-	-	5.56	-	-	6.31	-
95	-	5.65	-	-	5.15	-	-	5.34	-	-	6.15	-
98	-	6.61	-	-	5.25	-	-	6.44	-	-	5.51	-
101	-	5.21	-	-	5.64	-	-	6.54	-	-	5.64	-
102	-	7.25	-	-	6.85	-	-	6.69	-	-	6.82	-
105	-	5.86	-	-	5.80	-	-	5.48	-	-	6.21	-

SRT Day	6.1 day			10.4 day			10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
113	-	7.14	-	-	3.25	-	-	2.99	-	-	4.46	-
123	-	1.12	-	-	4.82	-	-	3.41	-	-	5.06	-
128	-	3.22	-	-	5.17	-	-	4.78	-	-	4.55	-
130	-	2.76	-	-	3.26	-	-	3.71	-	-	3.77	-
137	-	3.05	-	-	3.06	-	-	2.73	-	-	3.41	-
140	-	4.77	-	-	3.25	-	-	4.27	-	-	3.81	-
142	-	0.84	-	-	0.85	-	-	0.21	-	-	0.12	-
144	-	2.43	-	-	2.67	-	-	3.63	-	-	2.43	-
148	-	1.56	-	-	2.34	-	-	2.43	-	-	1.34	-
151	-	2.35	-	-	3.42	-	-	1.35	-	-	1.24	-
154	-	0.13	-	-	0.53	-	-	0.23	-	-	0.12	-
156	-	2.54	-	-	2.64	-	-	2.61	-	-	2.05	-
158	-	2.39	-	-	2.13	-	-	2.65	-	-	2.22	-
163	-	2.56	-	-	2.45	-	-	2.42	-	-	2.15	-
AVG.	-	3.75	-	-	3.87	-	-	4.06	-	-	3.74	-

หมายเหตุ วันที่ 63 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 93 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-4 ค่าดีไอในถังเติมอากาศที่อายุสลัดจ์ 0.4 0.7 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day			1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
170	-	2.50	-	-	2.15	-	-	2.05	-	-	2.64	-
172	-	2.13	-	-	2.15	-	-	2.09	-	-	2.48	-
175	-	2.54	-	-	2.68	-	-	2.67	-	-	2.84	-
177	-	2.62	-	-	2.40	-	-	2.49	-	-	2.58	-
179	-	2.01	-	-	2.56	-	-	2.59	-	-	2.45	-
182	-	2.05	-	-	2.30	-	-	2.01	-	-	2.04	-
184	-	2.03	-	-	2.03	-	-	2.18	-	-	2.15	-
186	-	2.58	-	-	2.04	-	-	2.64	-	-	2.64	-
189	-	2.15	-	-	2.30	-	-	2.35	-	-	2.80	-
191	-	2.64	-	-	2.64	-	-	2.15	-	-	2.64	-
193	-	2.15	-	-	2.15	-	-	2.65	-	-	2.64	-
196	-	2.05	-	-	2.04	-	-	2.55	-	-	2.48	-
198	-	2.30	-	-	2.31	-	-	2.54	-	-	2.58	-
200	-	2.05	-	-	3.15	-	-	2.04	-	-	2.05	-
203	-	2.70	-	-	3.05	-	-	2.01	-	-	2.07	-
205	-	2.23	-	-	2.58	-	-	2.50	-	-	2.84	-
AVG.	-	2.30	-	-	2.41	-	-	2.34	-	-	2.50	-

ตารางที่ ก-5 ค่าซีไอดีทั้งหมดเข้าและออกจากระบบที่อายุสัปดาห์ 6.1 10.4 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	6.1 day		10.4 day		10.6 day		15.5 day	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
0	2604	733	2665	611	2634	764	3217	672
2	2793	708	1965	309	2487	769	1996	923
4	2837	850	3125	576	2736	418	2707	994
7	2065	892	2039	1025	1879	985	2652	1505
15	1819	947	1550	705	1537	680	1780	884
21	1386	644	1951	773	1534	699	1398	871
37	839	505	705	412	799	372	945	479
46	1184	750	1970	703	1571	527	1090	468
52	1350	704	1338	563	1279	563	1760	493
57	1350	752	1538	412	1327	482	1221	576
*63	-	-	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-	-	-
70	2601	-	2601	-	2601	-	2601	-
71	-	-	-	-	-	-	-	-
72	-	-	-	-	-	-	-	-
74	2360	-	2360	-	2360	-	2360	-
77	-	-	-	-	-	-	-	-
79	2361	-	2361	-	2361	-	2361	-
81	-	-	-	-	-	-	-	-
84	-	-	-	-	-	-	-	-
86	2209	-	2209	-	2209	-	2209	-
87	-	-	-	-	-	-	-	-
91	1048	-	1048	-	1099	-	1099	-
*93	1510	339	1510	413	1510	229	1510	486
95	1129	522	1239	423	1349	472	1472	534
98	1088	371	1088	333	960	346	960	419
102	882	485	882	396	844	447	844	588
105	1164	551	1164	489	1164	330	1164	502
113	1638	706	1638	583	1638	852	1638	607
123	1177	454	1177	417	1177	540	1177	478
128	1164	417	1164	478	1152	466	1152	417

SRT Day	6.1 day		10.4 day		10.6 day		15.5 day	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
137	1261	787	1261	493	1261	416	1261	416
142	4195	2432	4195	2875	4298	2842	4298	2812
148	4365	2585	4365	2974	4365	2975	4365	2925
156	4361	2466	4361	2863	4361	2924	4361	2842
AVG.	4307	2494	4307	2904	4341	2914	4341	2860

หมายเหตุ วันที่ 63 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 93 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-6 ค่าซีโอดีทั้งหมดเข้าและออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 0.4 0.7 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	0.4 day		0.7 day		1.03 day		1.62 day	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
170	6170	3829	6170	3516	6170	3305	6170	3975
172	6221	3325	6221	3344	6125	3033	6125	3566
175	6452	3375	6452	3251	6452	3402	6452	3210
177	6545	3441	6545	3402	6545	3543	6545	2085
182	6829	5369	6829	5029	6829	3564	6829	1760
183	7021	5352	7021	5251	7021	3554	7021	3815
184	7102	4281	7102	4820	7251	4522	7251	3811
190	7056	5556	7056	5543	7145	4954	7145	4421
193	7102	5602	7102	5559	7028	4832	7028	4402
196	6985	5485	6985	5459	7022	4822	7022	4421
198	6992	5492	6992	5434	6992	4832	6992	4412
AVG.	7034	5534	7034	5499	7047	4860	7047	4414

ตารางที่ ก-7 ค่าซีไอดีละลายเข้าและออกจากระบบที่อายุสัปดาห์ 6.1 10.4 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	6.1 day		10.4 day		10.6 day		15.5 day	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
0	2107	695	2093	695	2161	615	2300	815
3	1665	745	1759	745	2052	1452	1732	959
19	943	453	796	342	601	342	845	514
41	855	492	715	351	715	351	632	292
*58	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-
61	-	-	-	-	-	-	-	-
65	2281	-	2281	-	2281	-	2281	-
66	-	-	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-	-	-
69	1902	-	1902	-	1902	-	1902	-
72	-	-	-	-	-	-	-	-
74	2167	-	2167	-	2167	-	2167	-
76	-	-	-	-	-	-	-	-
79	-	-	-	-	-	-	-	-
81	2097	-	2097	-	2097	-	2097	-
82	-	-	-	-	-	-	-	-
*88	811	265	811	406	811	124	811	296
90	846	429	932	423	908	398	895	522
97	626	408	626	447	639	332	639	421
108	1319	705	1319	546	1319	509	1319	570
118	932	540	932	405	1018	515	1018	515
123	894	368	894	380	796	405	796	417
125	960	345	960	371	960	333	960	358
132	1056	493	1056	391	1056	212	1056	339
135	3110	493	3110	544	3257	506	3257	346
137	3588	1345	3588	793	3630	1498	3630	1126
139	4320	1625	4320	2057	4337	2177	4337	2267
143	4240	1772	4240	2054	4240	2223	4240	2324
146	4153	1716	4153	2097	4153	2176	4153	2213
149	4347	1707	4347	2036	4312	2203	4312	2200
151	4202	1834	4202	2068	4202	2176	4202	2183

SRT Day	6.1 day		10.4 day		10.6 day		15.5 day	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
153	4185	1730	4185	2035	4251	2184	4251	2247
158	4186	1682	4186	2067	4186	2187	4186	2134
AVG.	4233	1724	4233	2059	4240	2190	4240	2224

หมายเหตุ วันที่ 58 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 88 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-8 ค่าซีไอดีละลายเข้าและออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 0.4 0.7 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	0.4 day		0.7 day		1.03 day		1.62 day	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
0	5164	2705	5164	2165	5164	2974	5164	3306
2	5268	3385	5268	3807	5292	1918	5292	2646
5	5122	2654	5122	2566	5189	2355	5189	2012
7	5256	2468	5256	2508	5245	2372	5245	2004
12	5280	1690	5280	1666	5163	1971	5163	1267
16	5210	2605	5210	3074	5257	2933	5257	1901
20	6799	3505	6799	3752	6799	3054	6799	3220
23	6430	4052	6430	4620	6681	3662	6681	3245
26	6118	4813	6118	4659	6031	3610	6031	3250
28	6260	4922	6260	4500	6260	3692	6260	3280
30	6105	4855	6105	4628	6105	3542	6105	3254
AVG.	6224	4719	6224	4619	6256	3586	6256	3227

ตารางที่ ก-9 ค่าของแข็งแขวนลอย (MLSS) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
0	265	203	153	230	753	88
3	530	220	155	425	633	505
21	160	250	133	160	288	135
36	175	303	170	150	370	125
*64	-	413	-	-	358	-
78	-	2160	-	-	3200	-
88	-	4340	-	-	4163	-
*101	70	3260	75	70	3617	25
108	225	3910	40	225	3623	95
127	90	1565	20	90	2670	30
129	135	2360	0	135	2990	10
136	185	2653	180	185	2210	60
141	805	2896	80	805	2510	30
148	295	3670	735	295	5990	70
150	440	4259	295	440	6350	145
155	845	4340	355	845	3460	355
157	415	3835	360	415	3875	425
162	320	3990	685	320	6420	245
164	570	3870	140	570	6300	230
166	445	3810	285	445	6350	325
AVG.	480	3703	346	480	4829	209

หมายเหตุ วันที่ 64 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 101 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-10 ค่าของแข็งแขวนลอย (MLSS) เข้า ถังเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
0	190	318	83	195	578	93
3	415	550	113	358	485	278
21	225	410	100	270	300	283
36	233	420	100	278	303	283
*64	-	1443	-	-	233	-
78	-	1350	-	-	3479	-
88	-	3743	-	-	4007	-
*101	70	4473	5	70	4277	60
108	225	4120	30	225	690	20
127	155	1100	25	155	2490	10
129	135	1665	65	135	3010	0
136	185	2525	30	185	3145	10
141	390	2420	10	390	4130	20
148	295	2880	970	295	6670	240
150	440	5000	280	440	4740	250
155	405	3730	335	405	2260	1460
157	415	4650	445	415	6330	480
162	350	5450	485	350	5749	400
164	570	5310	160	570	5660	155
166	445	5450	450	445	5830	345
AVG.	388	4157	352	388	4946	373

หมายเหตุ วันที่ 64 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 101 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-11 ค่าของแข็งแขวนลอย (MLSS) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
171	650	2360	400	650	4255	540
176	480	2011	360	480	4098	490
178	540	1590	520	540	3821	460
182	580	1180	560	580	3000	520
184	400	1090	580	400	1670	450
190	970	770	170	970	1440	353
193	890	498	130	890	1158	320
196	920	420	180	920	1205	330
199	960	472	150	960	1056	290
200	850	435	160	850	1035	260
AVG.	918	519	158	918	1179	311

ตารางที่ ก-12 ค่าของแข็งแขวนลอย (MLSS) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
171	680	5638	600	680	6972	780
176	440	4955	530	440	6384	680
178	520	4621	480	520	5401	300
182	670	3978	400	670	6890	240
184	460	3760	660	460	5610	220
190	880	4808	890	880	6330	1597
193	900	2641	940	900	5821	1590
196	920	2880	960	920	6035	1620
199	960	2845	890	960	6077	1600
200	850	3058	1020	850	6320	1580
AVG.	902	3246	940	902	6117	1597

ตารางที่ ก-13 ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) เข้า ถังเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
0	262	169	148	219	660	77
3	530	143	151	425	538	437
21	141	203	130	141	279	105
36	163	269	99	128	335	95
*64	-	402	-	-	311	-
78	-	2091	-	-	3153	-
88	-	4232	-	-	3982	-
*101	83	2639	68	85	3084	22
108	193	3224	193	193	3169	55
127	63	1324	15	63	211	13
129	131	2301	25	135	2870	15
136	158	1692	453	158	3437	19
141	738	2061	68	738	2134	4
148	241	2255	658	241	4881	51
150	371	3655	273	371	5395	108
155	710	1955	291	710	1401	304
157	374	1553	306	415	1628	380
162	306	1716	558	306	1835	217
164	635	3730	4881	635	5890	2567
166	580	1845	290	580	3005	345
AVG.	457	2273	864	457	3289	444

หมายเหตุ วันที่ 64 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 101 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-14 ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) เข้า ถังเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
0	182	277	82	191	390	93
3	409	489	77	331	334	267
21	214	390	84	227	270	246
36	146	370	57	258	296	224
*64	-	1399	-	-	205	-
78	-	1310	-	-	3390	-
88	-	3616	-	-	3843	-
*101	85	3737	20	85	3827	25
108	193	3093	12	193	190	200
127	129	962	20	129	2124	8
129	135	1607	34	135	2665	17
136	158	2260	9	158	2595	6
141	342	2144	9	342	3408	9
148	241	2567	661	241	6003	180
150	371	4474	188	371	3910	211
155	368	1623	273	368	1017	1293
157	415	2093	367	415	2595	422
162	331	363	437	331	2587	358
164	635	5070	335	635	2255	295
166	580	2630	480	580	2020	345
AVG.	382	2580	306	399	2932	346

หมายเหตุ วันที่ 64 Start up ระบบใหม่อีกครั้ง , วันที่ 101 เริ่มเดินระบบอีกครั้ง

ตารางที่ ก-15 ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
171	650	2006	400	650	3489	540
176	480	1649	360	480	3565	490
178	540	1383	520	540	3248	460
182	580	1003	560	580	2580	520
184	400	948	580	400	1336	450
190	970	631	170	970	1253	353
193	890	423	130	890	996	320
196	920	357	180	920	988	330
199	960	387	150	960	919	290
200	850	352	160	850	880	260
AVG.	918	430	158	918	1007	311

ตารางที่ ก-16 ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
171	680	5074	600	680	6275	780
176	440	4162	530	440	5746	680
178	520	4159	480	520	4807	300
182	670	3182	400	670	5857	240
184	460	3158	660	460	4993	220
190	880	4039	890	880	5697	1597
193	900	2113	940	900	4948	1590
196	920	2592	960	920	5432	1620
199	960	2390	890	960	5469	1600
200	850	2722	1020	850	5688	1580
AVG.	902	2771	940	902	5447	1597

ตารางที่ ก-17 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
168	8425	10610	6575	8425	11920	7320
171	8015	9070	6670	8015	13085	6855
174	7830	6400	9155	7830	7065	12175
177	10025	10360	7050	10025	12450	6305
AVG.	8574	9110	7362	8574	11130	8164

ตารางที่ ก-18 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
168	8425	12025	7505	8425	12265	7385
171	8015	11755	7225	8015	12565	7240
174	7830	7035	12050	7830	6550	12390
177	10025	11710	7260	10025	12135	7450
AVG.	8574	10631	8510	8574	10879	8616

ตารางที่ ก-19 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
202	19950	16675	15460	19950	16015	15155
205	20747	17543	16448	20747	17299	16480
208	19504	16336	15368	19504	16489	15903
210	19368	16063	15964	19368	16479	15260
AVG.	19892	16654	15810	19892	16571	15700

ตารางที่ ก-20 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
202	19505	19655	17205	19505	19910	15200
205	20724	20647	18368	20724	20615	16470
208	19639	19368	18578	19639	19532	15973
210	19527	19163	18258	19527	19425	15858
AVG.	19849	19708	18102	19849	19871	15875



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก-21 ค่าของแข็งระเหยได้ (Volatile Solid) เข้า ถึงเต็มอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
168	4370	6280	2475	4370	7685	3265
171	4025	4590	2400	4025	8490	2670
174	3590	2495	4805	3590	2775	7250
177	5145	5500	2225	5145	7700	2030
AVG.	4283	4716	2976	4283	6663	3804

ตารางที่ ก-22 ค่าของแข็งระเหยได้ (Volatile Solid) เข้า ถึงเต็มอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
168	4370	7345	3400	4370	6930	3135
171	4025	6980	3140	4025	7130	3165
174	3590	2540	7390	3590	2120	7380
177	5145	7120	2520	5145	7305	2830
AVG.	4283	5996	4112	4283	5871	4127

ตารางที่ ก-23 ค่าของแข็งระเหยได้ (Volatile Solid) เข้า ถึงเต็มอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
202	5015	4730	3610	5015	4590	3945
205	6539	6479	4689	6539	6368	4463
208	6740	6648	4853	6740	6690	4257
210	6942	6858	3690	6942	6832	3580
AVG.	6309	6179	4211	6309	6120	4061

ตารางที่ ก-24 ค่าของแข็งระเหยได้ (Volatile Solid) เข้า ถึงเต็มอากาศ และออกจากระบบที่อายุ สลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
202	4585	7965	5760	4585	8235	4250
205	6985	7953	5080	6985	8063	4704
208	6596	8579	5326	6596	8257	5923
210	6870	8532	5886	6870	8215	5768
AVG.	6259	8257	5513	6259	8193	5161



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก-25 ค่าของแข็งคงตัว (Fixed Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

SRT Day	6.1 day			10.4 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
168	4055	4330	4100	4055	4235	4055
171	3990	4480	4270	3990	4595	4185
174	4240	3905	4350	4240	4290	4925
177	4880	4860	4825	4880	4750	4275
AVG.	4291	4394	4386	4291	4467	4360

ตารางที่ ก-26 ค่าของแข็งคงตัว (Fixed Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

SRT Day	10.6 day			15.5 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
168	4055	4680	4105	4055	5335	4250
171	3990	4775	4085	3990	5435	4075
174	4240	4495	4660	4240	4430	5010
177	4880	4590	4740	4880	4830	4620
AVG.	4291	4635	4397	4291	5007	4489

ตารางที่ ก-27 ค่าของแข็งคงตัว (Fixed Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

SRT Day	0.4 day			0.7 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
202	14935	11945	11850	14935	11425	11210
205	14208	11064	11759	14208	10931	12017
208	12764	9688	10515	12764	9799	11646
210	12426	9205	12274	12426	9647	11680
AVG.	13583	10476	11600	13583	10451	11638

ตารางที่ ก-28 ค่าของแข็งคงตัว (Fixed Solid) เข้า ถึงเติมอากาศ และออกจากระบบที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

SRT Day	1.03 day			1.62 day		
	IN	AS	OUT	IN	AS	OUT
202	14920	11690	11445	14920	11675	10950
205	13739	12694	13288	13739	12552	11766
208	13043	10789	13252	13043	11275	10050
210	12657	10631	12372	12657	11210	10090
AVG.	13590	11451	12589	13590	11678	10714



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ได้แก่ อัตราการบำบัด ประสิทธิภาพการบำบัด ของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ สลัดจ์เฉื่อยในระบบ อายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบ

$$\text{อัตราการบำบัด (กก. ซีโอดี/ลบ. ม. วัน)} = \frac{\text{ซีโอดีเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีออกจากระบบ (มก./ล.)}}{\text{เวลาเก็บกักน้ำ (วัน)}}$$

อัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมดคิดจากช่วงที่ซีโอดีเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady Stage)

ตารางที่ ข-1 ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมด ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 0.4 วัน		อายุสลัดจ์ 0.7 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
7056	5556	2.40	5543	2.42
7102	5602	2.40	5559	2.47
6985	5485	2.40	5459	2.44
6992	5492	2.40	5434	2.49
ค่าเฉลี่ย		2.40		2.46

ตารางที่ ข-2 ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีทั้งหมด ที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 1.03 วัน		อายุสลัดจ์ 1.62 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
7145	4954	3.51	4421	4.36
7028	4832	3.51	4402	4.20
7022	4822	3.52	4421	4.16
6992	4832	3.46	4412	4.13
ค่าเฉลี่ย		3.50		4.21

ตารางที่ ข-3 ค่าอัตราการบำบัดซีไอดีทั้งหมด ที่อายุสัปดาห์ 6.1 และ 10.4 วัน

ซีไอดีเข้าระบบ	อายุสัปดาห์ 6.1 วัน		อายุสัปดาห์ 10.4 วัน	
	ซีไอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีไอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
4195	2432	1.41	2875	1.06
4365	2585	1.42	2974	1.11
4361	2466	1.52	2863	1.20
ค่าเฉลี่ย		1.45		1.12

ตารางที่ ข-4 ค่าอัตราการบำบัดซีไอดีทั้งหมด ที่อายุสัปดาห์ 10.6 และ 15.5 วัน

ซีไอดีเข้าระบบ	อายุสัปดาห์ 10.6 วัน		อายุสัปดาห์ 15.5 วัน	
	ซีไอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีไอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
4298	2842	1.16	2812	1.19
4365	2975	1.11	2925	1.15
4361	2924	1.15	2842	1.21
ค่าเฉลี่ย		1.14		1.18

อัตราการบำบัดซีโอดีที่ละลายคิดจากช่วงที่ซีโอดีเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady Stage)

ตารางที่ ข-5 ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีที่ละลาย ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 0.4 วัน		อายุสลัดจ์ 0.7 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
6430	4052	3.80	4620	2.90
6118	4813	2.09	4659	2.33
6260	4922	2.14	4500	2.82
6105	4855	2.00	4628	2.36
6205	4953	2.00	4688	2.43
ค่าเฉลี่ย		2.41		2.57

ตารางที่ ข-6 ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีที่ละลาย ที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 1.03 วัน		อายุสลัดจ์ 1.62 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
6681	3662	4.83	3245	5.50
6031	3610	3.87	3250	4.45
6260	3692	4.11	3280	4.77
6105	3542	4.10	3254	4.56
6205	3422	4.45	3106	4.96
ค่าเฉลี่ย		4.27		4.85

ตารางที่ ข-7 ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.3 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 6.1 วัน		อายุสลัดจ์ 10.3 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
4320	1625	2.16	2057	1.81
4240	1772	1.97	2054	1.75
4153	1716	1.95	2097	1.64
4347	1707	2.11	2036	1.85
4202	1834	1.89	2068	1.71
4185	1730	1.96	2035	1.72
4186	1682	2.00	2067	1.70
ค่าเฉลี่ย		2.01		1.74

ตารางที่ ข-8 ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 10.6 วัน		อายุสลัดจ์ 15.5 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด	ซีโอดีออกจากระบบ	อัตราการบำบัด
4337	2177	1.73	2267	1.66
4240	2223	1.61	2324	1.53
4153	2176	1.58	2213	1.55
4312	2203	1.69	2200	1.69
4202	2176	1.62	2183	1.62
4251	2184	1.65	2247	1.60
4186	2187	1.60	2134	1.64
ค่าเฉลี่ย		1.64		1.61

ประสิทธิภาพการบำบัด

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{\text{ซีโอดีเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีออกจากระบบ}}{\text{ซีโอดีเข้าระบบ}} \times 100$$

คิดจากซีโอดีละลายช่วงที่ซีโอดีเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady Stage)

ตารางที่ ข-9 ประสิทธิภาพการบำบัด ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 0.4 วัน		อายุสลัดจ์ 0.7 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ
6430	4052	37	4620	28
6118	4813	21	4659	24
6260	4922	21	4500	28
6105	4855	20	4628	24
6205	4953	20	4688	24
ค่าเฉลี่ย		24		26

ตารางที่ ข-10 ประสิทธิภาพการบำบัด ที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 1.03 วัน		อายุสลัดจ์ 1.62 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ
6681	3662	45	3245	51
6031	3610	40	3250	46
6260	3692	41	3280	48
6105	3542	42	3254	47
6205	3422	45	3106	50
ค่าเฉลี่ย		43		48

ตารางที่ ข-11 ประสิทธิภาพการบำบัด ที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 6.1 วัน		อายุสลัดจ์ 10.4 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ
4320	1625	62	2057	52
4240	1772	58	2054	52
4153	1716	59	2097	50
4347	1707	61	2036	53
4202	1834	56	2068	51
4185	1730	59	2035	51
4186	1682	60	2067	51
ค่าเฉลี่ย		59		51

ตารางที่ ข-12 ประสิทธิภาพการบำบัด ที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 10.6 วัน		อายุสลัดจ์ 15.5 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ	ซีโอดีออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ
4337	2177	50	2267	48
4240	2223	48	2324	45
4153	2176	48	2213	47
4312	2203	49	2200	49
4202	2176	48	2183	48
4251	2184	49	2247	47
4186	2187	48	2134	49
ค่าเฉลี่ย		48		48

การคำนวณของแข็งแขวนลอยจากซีโอดีละลาย

$$XV = \frac{Q\theta_c Y(S_0 - S)}{1 + k\theta_c} \quad ; \quad \tau = \frac{V}{Q}$$

X = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS) Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อวัน)

θ_c = อายุสลัดจ์ (วัน) Y = 0.4

S_0, S = ความเข้มข้นซีโอดี K = 0.146

คิดจากซีโอดีละลายช่วงที่ซีโอดีเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady Stage)

ตารางที่ ข-13 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 0.4 วัน		อายุสลัดจ์ 0.7 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS
6430	4052	770	4620	984
6118	4813	498	4659	793
6260	4922	420	4500	956
6105	4855	472	4628	803
6205	4953	435	4688	824
ค่าเฉลี่ย		519		872

ตารางที่ ข-14 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 1.03 วัน		อายุสลัดจ์ 1.62 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS
6681	3662	2851	3245	5823
6031	3610	2287	3250	4713
6260	3692	2425	3280	5050
6105	3542	2421	3254	4832
6205	3422	2628	3106	5252
ค่าเฉลี่ย		2523		5134

ตารางที่ ข-15 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 6.1 วัน		อายุสลัดจ์ 10.4 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS
4320	1625	2845	2057	2863
4240	1772	2809	2054	2693
4153	1716	3043	2097	3028
4347	1707	2730	2036	2796
4202	1834	2830	2068	2816
4185	1730	2886	2035	2776
4186	1682	2988	2067	2722
ค่าเฉลี่ย		2876		2813

ตารางที่ ข-16 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

ซีโอดีเข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 10.6 วัน		อายุสลัดจ์ 15.5 วัน	
	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS	ซีโอดีออกจากระบบ	MLSS
4337	2177	2835	2267	2906
4240	2223	2779	2324	2943
4153	2176	2965	2213	3204
4312	2203	2849	2200	3063
4202	2176	2905	2183	3039
4251	2184	2810	2247	3113
4186	2187	2443	2134	2891
ค่าเฉลี่ย		2798		3023

การคำนวณสลัดจ์เนื่อยในน้ำเสียที่เข้าระบบจากระบบไร้อากาศ

$$\text{Inert} = \frac{\left(\frac{\text{ซีโอดีทั้งหมดเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีละลายเข้าระบบ}}{1.2} \right) * \theta_c}{\tau}$$

ตารางที่ ข-17 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 0.4 และ 0.7 วัน

ซีโอดีทั้งหมด เข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 0.4 วัน		อายุสลัดจ์ 0.7 วัน	
	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert
7102	6430	448	6430	896
7056	6118	625	6118	1251
7102	6260	561	6260	1123
6985	6105	587	6105	1173
6992	6205	525	6205	1049
ค่าเฉลี่ย		549		1098

ตารางที่ ข-18 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 1.03 และ 1.62 วัน

ซีโอดีทั้งหมด เข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 1.03 วัน		อายุสลัดจ์ 1.62 วัน	
	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert
7251	6681	1520	6681	3800
7145	6031	2971	6031	7427
7028	6260	2048	6260	5120
7022	6105	2445	6105	6113
6992	6205	2099	6205	5247
ค่าเฉลี่ย		2217		5541

ตารางที่ ข-19 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 6.1 และ 10.4 วัน

ซีโอดีทั้งหมด เข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 6.1 วัน		อายุสลัดจ์ 10.4 วัน	
	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert
4195	4032	1087	4032	1630
4365	4240	831	4240	1247
4361	4202	1056	4202	1583
ค่าเฉลี่ย		991		1487

ตารางที่ ข-20 ค่าของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ ที่อายุสลัดจ์ 10.6 และ 15.5 วัน

ซีโอดีทั้งหมด เข้าระบบ	อายุสลัดจ์ 10.6 วัน		อายุสลัดจ์ 15.5 วัน	
	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert	ซีโอดีละลาย เข้าระบบ	Inert
4298	4165	1769	4165	2653
4365	4240	1662	4240	2493
4361	4202	2111	4202	3167
ค่าเฉลี่ย		1847		2771

การคำนวณอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบ

$$\theta_c = \frac{(V * MLSS)}{(F_w * MLSS) + (F * SS)}$$

V = ปริมาตรถัง (ลิตร)

MLSS, SS = ความเข้มข้นของจุลินทรีย์

F_w = อัตราการทิ้งสลัดจ์ (ลิตรต่อวัน)

F = อัตราการไหลของน้ำเสียออกจากระบบ

ตารางที่ ข-21 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 0.4 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
0.5	10	770	170	0.42
		498	130	0.41
		420	180	0.37
		472	150	0.40
		435	160	0.39
ค่าเฉลี่ย				0.40

ตารางที่ ข-22 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 0.7 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
1	5	1440	353	0.72
		1158	320	0.69
		1205	330	0.70
		1056	290	0.69
		1035	260	0.71
ค่าเฉลี่ย				0.70

ตารางที่ ข-23 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 1.03 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
2	2.5	4808	890	1.26
		2641	940	0.94
		2880	960	0.97
		2845	890	1.00
		3058	1020	0.97
ค่าเฉลี่ย				1.03

ตารางที่ ข-24 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 1.62 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
5	1	6330	1597	1.66
		5821	1590	1.57
		6035	1620	1.59
		6077	1600	1.61
		6320	1580	1.67
ค่าเฉลี่ย				1.62

ตารางที่ ข-25 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 6.1 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
10	1	2653	180	6.48
		2896	80	8.19
		3670	735	3.84
		4259	295	6.43
		4340	355	6.04
		3835	360	5.71
		3990	685	4.21
		3870	140	7.76
		3810	285	6.26
ค่าเฉลี่ย				6.10

ตารางที่ ข-26 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 10.4 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
15	0.66	2210	60	11.40
		2510	30	13.23
		5990	70	13.27
		6350	145	11.87
		3460	355	6.75
		3875	425	6.50
		6420	245	10.36
		6300	230	10.50
		6350	325	9.35
ค่าเฉลี่ย				10.36

ตารางที่ ข-27 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 10.6 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
20	0.5	2525	30	16.81
		2420	10	18.76
		2880	970	3.13
		5000	280	10.55
		3730	335	8.21
		4650	445	7.90
		5450	485	8.25
		5310	160	13.49
		5450	450	8.62
ค่าเฉลี่ย				10.63

ตารางที่ ข-28 ค่าอายุสลัดจ์จริงที่เกิดขึ้นในระบบของอายุสลัดจ์ 15.5 วัน

อายุสลัดจ์ที่ต้องการ	อัตราการทิ้งสลัดจ์	MLSS	SS	อายุสลัดจ์จริง
30	0.33	3145	10	28.13
		4130	20	27.12
		6670	240	16.18
		4740	250	13.30
		2260	1460	1.82
		6330	480	10.68
		5749	400	11.28
		5660	155	18.21
		5830	345	12.45
ค่าเฉลี่ย				15.46

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าจลนพลศาสตร์ของงานวิจัยนี้

$$\text{อัตราการบำบัด (กก. ซีโอดี/ลบ. ม. วัน)} = \frac{\text{ซีโอดีเข้าระบบ} - \text{ซีโอดีออกจากระบบ (มก./ล.)}}{\text{เวลาเก็บกักน้ำ (วัน)}}$$

อัตราการบำบัดซีโอดีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 0.4 เวลาเก็บกักน้ำ 0.625 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการบำบัด
6430	1415	5015	4052	1415	2637	2378	6.6150
6118	1346	4772	4813	1346	3467	1305	6.6150
6260	1377	4883	4922	1377	3545	1338	6.6150
6105	1343	4762	4855	1343	3512	1250	6.6150
6205	1365	4840	4953	1365	3588	1252	6.6150
ค่าเฉลี่ย						1505	6.61
SD						490	0

อัตราการบำบัดซีโอดีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 0.7 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 0.625 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการบำบัด
6430	1415	5015	4620	1415	3205	1810	3.94
6118	1346	4772	4659	1346	3313	1459	3.94
6260	1377	4883	4500	1377	3123	1760	3.94
6105	1343	4762	4628	1343	3285	1477	3.94
6205	1365	4840	4688	1365	3323	1517	3.94
ค่าเฉลี่ย						1605	3.94
SD						167	0

อัตราการบำบัดซีโอทีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 1.03 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 0.625 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการ บำบัด
6681	1470	5211	3662	1470	2192	3019	2.79
6031	1327	4704	3610	1327	2283	2421	2.79
6260	1377	4883	3692	1377	2315	2568	2.79
6105	1343	4762	3542	1343	2199	2563	2.79
6205	1365	4840	3422	1365	2057	2783	2.79
ค่าเฉลี่ย						2671	2.79
SD						234	0

อัตราการบำบัดซีโอทีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 1.62 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 0.625 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการ บำบัด
6681	1470	5211	3245	1470	1775	3436	1.91
6031	1327	4704	3250	1327	1923	2781	1.91
6260	1377	4883	3280	1377	1903	2980	1.91
6105	1343	4762	3254	1343	1911	2851	1.91
6205	1365	4840	3106	1365	1741	3099	1.91
ค่าเฉลี่ย						3029	1.91
SD						258	0

อัตราการบำบัดซีโอดีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 6.1 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 1.25 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการ บำบัด
4320	950	3369	1625	950	675	2694	0.77
4240	933	3307	1772	933	839	2468	0.77
4153	914	3239	1716	914	802	2437	0.77
4347	956	3391	1707	956	751	2640	0.77
4202	925	3278	1834	925	909	2368	0.77
4185	921	3264	1730	921	809	2455	0.77
4186	921	3265	1682	921	761	2504	0.77
ค่าเฉลี่ย						139	0.77
SD						2694	0

อัตราการบำบัดซีโอดีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 10.4 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 1.25 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการ บำบัด
4320	950	3369	2057	950	1107	2263	0.61
4240	933	3307	2054	933	1121	2186	0.61
4153	914	3239	2097	914	1183	2056	0.61
4347	956	3391	2036	956	1080	2311	0.61
4202	925	3278	2068	925	1143	2134	0.61
4185	921	3264	2035	921	1114	2150	0.61
4186	921	3265	2067	921	1146	2119	0.61
ค่าเฉลี่ย						2190	0.61
SD						101	0

อัตราการบำบัดซีโอทีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 10.6 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 1.25 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการ บำบัด
4337	954	3383	2177	954	1223	2160	0.60
4240	933	3307	2223	933	1291	2017	0.60
4153	914	3239	2176	914	1262	1977	0.60
4312	949	3363	2203	949	1254	2109	0.60
4202	925	3278	2176	925	1251	2026	0.60
4251	935	3316	2184	935	1249	2066	0.60
4186	921	3265	2187	921	1266	1999	0.60
ค่าเฉลี่ย						2058	0.60
SD						75	0

อัตราการบำบัดซีโอทีละลาย ที่อายุสลัดจ์ 15.5 วัน เวลาเก็บกักน้ำ 1.25 วัน

sCOD in	nbCOD in	bsCOD in	sCOD out	nbCOD out	bsCOD out	bsCOD in – bsCOD out	อัตราการ บำบัด
4337	954	3383	2267	954	1313	2070	0.53
4240	933	3307	2324	933	1392	1916	0.53
4153	914	3239	2213	914	1299	1940	0.53
4312	949	3363	2200	949	1251	2112	0.53
4202	925	3278	2183	925	1259	2019	0.53
4251	935	3316	2247	935	1312	2004	0.53
4186	921	3265	2134	921	1213	2052	0.53
ค่าเฉลี่ย						2011	0.53
SD						83	0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกัญญลักษณ์ จันทรัมย์ เกิดเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

กัญญลักษณ์ จันทรัมย์, ศรัณย์ เตชะเสน. 2557. การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการเอเอสแบบกวนสมบูรณ์. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 13, 26-28 มีนาคม 2557, จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร. (นำเสนอผลงานแบบบรรยาย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY