

ผลของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไรั้อากาศ

นางสาว สุภาวรรณ สุทธินรากร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF AMMONIA IN SYNTHETIC WASTEWATER
ON ANAEROBIC BAFFLED REACTOR PERFORMANCE



Miss Supawan Suttinarakorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของแอม โมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้น
ไร้อากาศ

โดย

นางสาว สุภาวรรณ สุทธินรากร

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

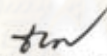
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

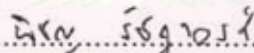


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



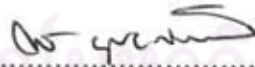
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

สุภาวรรณ สุทธินรากร : ผลของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ. (Effect of Ammonia in Synthetic Wastewater on Anaerobic Baffled Reactor Performance) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์, 205 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลของแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี โดยน้ำเสียที่ใช้คือน้ำเสียสังเคราะห์น้ำตาลทรายมีค่าชีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และแอมโมเนียที่ให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ซึ่งใช้ถึงปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศแบ่งภายในเป็น 5 ห้อง โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองหลัก คือ การทดลองที่ 1 เป็นการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยพิจารณาสภาวะคงตัวจากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดชีโอดีทั้งหมดของระบบ ค่าชีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบ และค่าชีโอดีของน้ำเสียในแต่ละห้องที่มีค่าก่อนข้างคงที่ การทดลองที่ 2 ป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน โดยทำการเก็บข้อมูลทั้ง 3 ช่วงมาเปรียบเทียบกัน และการทดลองที่ 3 ทำการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ และค่าสัดส่วนของชีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเพื่อทราบถึงสาเหตุที่แอมโมเนียส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ผลการทดลองที่ 1 พบว่าที่สภาวะคงตัวระบบกำจัดชีโอดีได้ทั้งหมดเฉลี่ย $98.46 \pm 0.53\%$ โดยห้อง 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าห้องอื่นๆ คือกำจัดชีโอดีได้เฉลี่ย $95.12 \pm 2.92\%$ และ $44.53 \pm 25.12\%$ ตามลำดับ ส่วนห้อง 4 และ 5 กำจัดชีโอดีได้น้อยมากโดยมีค่าเฉลี่ย $10.58 \pm 12.55\%$ และ $13.12 \pm 13.86\%$ ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองที่ 2 พบว่าแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ส่งผลให้ชีโอดีน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 30.92 ± 10.77 เป็น 136.11 ± 59.34 และ 138.60 ± 7.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ กรดไขมันระเหยน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 26.69 ± 6.03 เป็น 74.87 ± 24.60 และ 102.24 ± 8.61 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก ตามลำดับ แต่การเพิ่มของแอมโมเนียในน้ำเสียไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของก๊าซชีวภาพ และผลการทดลองที่ 3 พบว่าความเป็นพิษจากความเข้มข้นของแอมโมเนียเป็นสาเหตุที่เกิดผลกระทบต่อการทำงานของจุลชีพกลุ่มสร้างมีเทนในระบบโดยพิจารณาจากค่าเอสเอ็มเอที่ลดลง ส่วนการเกิดสตรูไวท์และค่าสัดส่วนของชีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ไม่เหมาะสมไม่น่าจะเป็นสาเหตุที่ลดประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากในน้ำเสียยังมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียงพออยู่

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต น.ศ. สุภาวรรณ สุทธินรากร.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... ศศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์.....

ปีการศึกษา 2551

4970654921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: ANAEROBIC / AMMONIA / COD

SUPAWAN SUTTINARAKORN : EFFECT OF AMMONIA IN SYNTHETIC WASTEWATER ON ANAEROBIC BAFFLED REACTOR PERFORMANCE.

ADVISOR : ASST.PROF.PICHAYA RACHDAWONG,Ph.D., 205 pp.

This study was aimed at the effect of ammonia that was fed to Anaerobic Baffled Reactor (ABR) on efficiency of COD removal. The wastewater used in this research was sucrose-synthesized wastewater with COD of 2,200 mg/L. The organic loading rate was 1.29 kg/m³.day and the form of ammonia was ammonium chloride with 3,500 and 4,500 mg/L as nitrogen. The type of reactor was an ABR with 5 chambers. The research was divided into 3 experiments. The first experiment was the starting up of the ABR system. The steady-state condition was considered from steady values of percentage of COD removal, COD of effluent and COD of liquid in each chamber. The second experiment was the feeding of wastewater without ammonia and with ammonia at 3,500 and 4,500 mg/L as nitrogen, and then comparing the data from each ammonia concentration. The third experiment was the analysis of Specific Methanogenic Activity (SMA), investigation of struvite formation and COD : N : P ratio in order to find out the cause of ammonia toxicity to the ABR efficiency.

The average COD removal of ABR at steady-state was 98.46±0.53%. The efficiency of the first and the second chamber were better than other chambers with the average COD removal at 95.12±2.92% and 44.53±25.12%, respectively. At the same time, the fourth and the fifth chamber were only 10.58±12.55% and 13.12±13.86%, respectively. The second experiment found that the ammonia concentration at 3,500 and 4,500 mg/L as nitrogen caused the COD of effluent to increase from 30.92±10.77 to 136.11±59.34 and to 138.60±7.93 mg/L, respectively. And the volatile fatty acid to increase from 26.69±6.03 to 74.87±24.60 and to 102.24±8.61 mg/L as acetic acid, respectively. But the quantity of biogas was not changed. The third experiment found that the ammonia toxicity affect methanogenic bacteria and can be inferred from decreasing SMA values. The occurrence of struvite and unsuitable COD : N : P ratio were not causes of ABR inefficiency because nitrogen and phosphorus in wastewater were found to be adequate.

Department :Environmental Engineering.....Student's Signature.....*Supawan Suttinarakorn*.....

Field of Study :Environmental Engineering.....Advisor's Signature.....*Pichaya Rachdawong*.....

Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็น
อย่างสูง ที่กรุณาให้โอกาส ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ที่ดีตลอดมา จนกระทั่งงานวิจัย
สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ ดร.วิบูลย์
ศรีเจริญชัยกุล และดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ ที่ได้กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบ
วิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยให้คำแนะนำ ชี้แนะปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย เพื่อให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์
ประสาทความรู้ทางด้านวิชาการต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการที่คอยให้คำแนะนำ
และเอื้ออำนวยความสะดวกต่างๆ ตลอดเวลาในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนอุดหนุนการ
วิจัยครั้งนี้ จนสามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.มันสิน ดันทุลเวศม์ บริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์
จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้วเชื้อระบบ ไร้อากาศเพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่
และเครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนายวิษณุนนท์ ธรานนท์ และนายนพพล รัตนโกวิน รวมทั้งเพื่อนๆ
พี่ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ เป็นอย่าง
ดีตลอดเวลา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย เป็นอย่างยิ่ง ที่คอยให้
คำแนะนำและคำปรึกษา คอยให้ความสนับสนุนในสิ่งต่างๆ ที่ดีในชีวิตตลอดมาโดยเฉพาะทางด้าน
การศึกษา และคอยเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดในทุกๆ เรื่องตลอดเวลา ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้วิจัย
สามารถทำงานวิจัย และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ฟาร์มสุกร.....	5
2.2 ของเสียจากฟาร์มสุกร.....	6
2.3 การเกิดแอมโมเนียในน้ำเสียฟาร์มสุกร.....	9
2.4 แอมโมเนีย.....	12
2.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียกับพีเอช.....	12
2.4.2 แอมโมเนียในระบบไร้อากาศ.....	13
2.4.3 การลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย.....	14
2.5 กระบวนการไร้อากาศ.....	15
2.5.1 ลักษณะทั่วไปของปฏิกิริยาในกระบวนการไร้อากาศ.....	16
2.5.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการย่อยแบบไร้อากาศ.....	17
2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบไร้อากาศ.....	19
2.6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor หรือ ABR).....	19
2.6.1 ชนิดของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	20
2.6.2 การพัฒนาของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	20
2.6.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	24

2.7	ความเป็นพิษต่อระบบไร้อากาศ.....	25
2.7.1	สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสารพิษในระบบไร้อากาศ.....	25
2.7.2	ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเป็นพิษของระบบและ การควบคุมผลที่เกิดจากความเป็นพิษ.....	26
2.7.3	การควบคุมการเกิดการยับยั้งของสารพิษ.....	28
2.8	การเกิดผลึกสตรูไวท์.....	28
2.8.1	การควบคุมการเกิดสตรูไวท์.....	29
2.8.2	ประโยชน์ของสตรูไวท์.....	30
2.8.3	การสูญเสียองค์ประกอบของผลึกสตรูไวท์.....	31
2.9	การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA).....	31
2.10	ค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสของระบบชีวภาพ.....	32
2.11	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1	แผนการทดลอง.....	36
3.2	การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัย.....	37
3.3	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัย.....	39
3.4	การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	42
3.5	หัวเชื้อ.....	43
3.6	จุดเก็บตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสีย.....	44
3.7	วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
3.7.1	การทดลองที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว.....	44
3.7.2	การทดลองที่ 2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย ให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	48
3.7.3	การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบ สตรูไวท์ (struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อ ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio).....	52
3.8	การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	56

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....58

4.1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว.....58

4.1.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์
ที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ
จนเข้าสู่สภาวะคงตัว.....59

4.1.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียที่ออกจากระบบ
ในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว.....61

4.1.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียในแต่ละห้อง
ของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ
จนเข้าสู่สภาวะคงตัว.....74

4.2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....93

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์
ที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงของการป้อนน้ำเสีย
ที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....93

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียที่ออกจากระบบ
ในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย
ให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....95

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียในแต่ละห้อง
ของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในช่วงของการป้อนน้ำเสีย
ที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....108

4.3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA)
การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite)
การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)..129

4.3.1 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA)
ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....129

4.3.2 การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite)
ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....133

4.3.3 ตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส
(COD:N:P ratio) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....136

4.3.4 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ เมื่อหักลบปริมาณของแข็ง ระเหยในรูปของสตรูไวท์ออกจากตะกอนจุลชีพ.....	139
4.4 ข้อสังเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่ น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน.....	142
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	143
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	143
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	145
รายการอ้างอิง.....	146
ภาคผนวก.....	150
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	205



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	รายละเอียดด้านมลพิษน้ำของฟาร์มสุกรในประเทศ.....5
2.2	ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร.....7
2.3	ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร.....7
2.4	ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร.....8
2.5	การแปรสภาพของไนโตรเจนที่กินเข้าไปกับอาหารโดยสัตว์เลี้ยงต่างๆ.....9
2.6	ผลของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบไร่อากาศ.....13
2.7	การพัฒนาของระบบไร่อากาศ.....23
2.8	ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร่อากาศ.....24
3.1	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีไอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร.....42
3.2	แสดงความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์.....43
3.3	แสดงค่าเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของระบบและค่าอัตราการไหล.....45
3.4	แสดงตัวแปรในการทดลองที่ 1.....47
3.5	แสดงจุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองที่ 1.....47
3.6	แสดงตัวแปรในการทดลองที่ 2.....50
3.7	แสดงจุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองที่ 2.....51
3.8	แสดงตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ.....54
3.9	แสดงจุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ของการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ.....54
3.10	แสดงวิธีที่ใช้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตาม standard methods.....56
4.1	แสดงค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ ที่แต่ละอัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย.....60
4.2	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีและที่เกิดขึ้นจริง ณ ค่าต่างๆ ของอัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย.....71

ตารางที่	หน้า
4.3	แสดงเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ สภาวะก่อนและหลังที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว.....72
4.4	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้น จากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ (61.24%) ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....73
4.5	แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....74
4.6	แสดงการเพิ่มขึ้นของค่าซีโอดีในแต่ละห้องเมื่อมีการเพิ่มค่า อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และ จาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน.....75
4.7	แสดงค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....76
4.8	แสดงการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันระเหยในแต่ละห้องเมื่อมีการเพิ่มค่า อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และ จาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน.....77
4.9	แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....78
4.10	แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้องในช่วง 32 วันแรก และในช่วงวันที่ 46 ถึง 60.....79
4.11	แสดงค่าสัดส่วนเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....83
4.12	แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....84
4.13	แสดงการลดลงของค่าพีเอชในแต่ละห้องเมื่อมีการเพิ่มค่า อัตราการบรรทุก สารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และ จาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน.....85
4.14	แสดงค่าไออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....87
4.15	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ย ที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%)ในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว.....88

ตารางที่	หน้า
4.16	แสดงค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เข้าสู่ระบบภายใต้สภาวะต่างๆ.....94
4.17	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีและที่เกิดขึ้นจริง ณ เวลาต่างๆ.....104
4.18	แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ ช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....105
4.19	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น ที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%)ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....107
4.20	แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....109
4.21	แสดงค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและ มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....110
4.22	แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....114
4.23	แสดงค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสีย ไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....115
4.24	แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....119
4.25	แสดงค่าไออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....120
4.26	แสดงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและ มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....121
4.27	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ย ที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%)ในแต่ละห้อง ณ สภาวะ ที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....127
4.28	แสดงค่าเอสเอ็มเอเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน.....131
4.29	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเอสเอ็มเอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะในระบบ.....132

4.30	แสดงการลดลงของค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน แมกนีเซียม และฟอสเฟตจากวันที่ 249 ไปเป็นวันที่ 255.....	136
4.31	แสดงค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน.....	138
4.32	แสดงค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่ในแต่ละห้องของช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน.....	139
4.33	แสดงค่าเอสเอ็มเอที่วิเคราะห์ได้จริงในแต่ละห้องของช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน.....	140
4.34	แสดงค่าแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียอิสระในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน.....	141

สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	วัฏจักรของไนโตรเจน.....	11
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียและเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียมไอออน.....	12
2.3	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้อากาศ.....	17
2.4	ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	20
2.5	รูปแบบต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ชนิดระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ โดย W คือน้ำเสีย, B คือก๊าซชีวภาพ และ E คือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว.....	21
2.6	ผลที่เกิดจากเกลือหรือสารอื่นๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาทางชีวภาพ.....	27
2.7	รูปทรงของผลึกสตรูไวท์.....	29
2.8	สตรูไวท์ที่เกิดขึ้นภายในท่อ.....	30
2.9	ตัวอย่างกราฟที่ใช้ในการหาค่าเอสเอ็มเอ.....	31
3.1	แผนภาพการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย.....	37
3.2	ภาพถ่ายของการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย.....	38
3.3	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัย.....	39
3.4	ถังปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	41
3.5	ขั้นตอนของการทดลองที่ 1.....	46
3.6	ขั้นตอนของการทดลองที่ 2.....	49
3.7	ขั้นตอนของการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ.....	53
4.1	ค่าซีไอดีของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยกับเวลา.....	62
4.2	ค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีไอดีของน้ำออกจากระบบและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยกับเวลา.....	63
4.3	ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยกับเวลา.....	64
4.4	ค่าสภาพค่างของน้ำออกจากระบบและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....	65
4.5	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพค่างของน้ำออกจากระบบและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....	66

รูปที่	หน้า
4.6	ค่าพีเอช สภาพต่างของน้ำออกจากระบบและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....67
4.7	ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....69
4.8	ค่าซีโอดีของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....80
4.9	ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....81
4.10	ค่าสภาพต่างของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....82
4.11	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพต่าง ของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....89
4.12	ค่าพีเอชของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....90
4.13	ค่าไออาร์พีของน้ำเสียห้อง 1-5 กับเวลา.....91
4.14	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็ง ทั้งหมดในห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา.....92
4.15	ค่าซีโอดีน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....96
4.16	ค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....97
4.17	ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....98
4.18	ค่าสภาพต่างของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....99
4.19	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพต่างของ น้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....100
4.20	ค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....101
4.21	ค่าแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มี และมีแอมโมเนีย กับเวลา.....102
4.22	ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ ที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....103
4.23	ค่าซีโอดีของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....112
4.24	ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....113
4.25	ค่าสภาพต่างของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....117
4.26	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพต่างของ น้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....118

4.27	ค่าพีเอชของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....	123
4.28	ค่าไออาร์พีของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....	124
4.29	ค่าแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....	125
4.30	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดในห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา.....	128
4.31	ค่าเอสเอ็มเอของห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา.....	130
4.32	ค่าแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา.....	134
4.33	ค่าแมกนีเซียมของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา.....	134
4.34	ค่าฟอสเฟตของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา.....	135



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลพิษทางน้ำของประเทศไทยในปัจจุบันนอกจากจะเกิดจากชุมชน และอุตสาหกรรมแล้ว ปศุสัตว์ก็เป็นแหล่งน้ำเสียที่สำคัญอย่างหนึ่ง อันเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้องการในการบริโภคเนื้อสัตว์มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้การเลี้ยงสัตว์เป็นอาชีพที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการเลี้ยงสุกร ซึ่งปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ แต่ด้วยข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ทำให้การเลี้ยงสุกรมีความหนาแน่นต่อหน่วยพื้นที่มากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาด้านต่างๆ เช่น มีมูลสุกรสะสมเป็นปริมาณมาก น้ำเสียขาดการบำบัดและไหลปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ดังนั้นฟาร์มสุกรเหล่านี้จึงควรมีวิธีการจัดการของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม

ลักษณะของสิ่งขับถ่ายและน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสัตว์มักขึ้นอยู่กับวิธีการทำความสะอาด ลักษณะโรงเรือนและระบบการจัดการของเสีย ซึ่งสิ่งปฏิกูลเหล่านี้จะมีลักษณะแตกต่างกันไป โดยทั่วไปน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์มักจะมีแอมโมเนียที่ส่วนใหญ่ขับออกมาทางปัสสาวะเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรที่มาจาก การล้างทำความสะอาดคอกด้วยน้ำและจากปัสสาวะของสุกรเป็นหลักจึงมีส่วนประกอบของแอมโมเนียที่เกิดจากการสลายตัวของธาตุไนโตรเจนในโปรตีนและอาหารที่สุกรกิน (น้ำเสียแอมโมเนียสามารถเกิดได้จากหลายแหล่ง เช่น โรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานอาหาร โรงงานปุ๋ย และการทำเกษตรกรรม เป็นต้น) โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะถูกขับถ่ายออกไปทางมูลและปัสสาวะ

ในปัจจุบันปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรมีมากจึงต้องหาวิธีในการจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไร้อากาศเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม ด้วยข้อได้เปรียบต่างๆ เมื่อเทียบกับระบบใช้อากาศ คือ หลังการบำบัดเกิดตะกอนขึ้นน้อยจึงไม่เป็นภาระในการจัดการค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ และที่สำคัญระบบนี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ ระบบไร้อากาศที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ เนื่องด้วยข้อดีของระบบที่มีอยู่หลายอย่าง เช่น สามารถกำจัดน้ำเสียที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ ไม่เกิดปัญหาการตันเนื่องจากระบบมีพื้นที่ส่วนที่ว่างมาก และสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารที่เป็นพิษซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงได้ และเนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียมีพิษต่อจุลชีพจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบได้โดยรูปที่เป็นพิษ คือ แอมโมเนีย

อิสระหรือ NH_3 ซึ่งแอมโมเนียอาจรบกวนระบบได้จากความเป็นพิษของความเข้มข้นแอมโมเนียเอง จากสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ไม่เหมาะสม หรือส่งผลให้เกิดการตกตะกอนสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ออกมาจากน้ำเสีย แต่ไม่ว่าผลกระทบจากแอมโมเนียที่เกิดขึ้นกับระบบจะมาจากสาเหตุใดก็ตามย่อมส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบในด้านการกำจัดซีโอดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีแอมโมเนียโดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับสถานะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียด้วย ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีและมีแอมโมเนียความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นซีโอดีเป็นส่วนประกอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการน้ำเสียภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำเสียสังเคราะห์ (ส่วนประกอบแสดงดังตารางที่ 3.1) ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 2 ประเภท คือ น้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบ ดังนี้

1.3.1.1 น้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนีย คือ น้ำเสียสังเคราะห์น้ำตาลทรายที่มีค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าประมาณ 6.8-7.2 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไบคาร์บอเนต

1.3.1.2 น้ำเสียที่มีแอมโมเนีย คือ น้ำเสียสังเคราะห์น้ำตาลทรายที่มีค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนีย (แอมโมเนียมคลอไรด์) 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าประมาณ 6.8-7.2 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไบคาร์บอเนต

1.3.2 หัวเชื้อ (seed) ที่ใช้ในระบบนำมาจากถังหมักผักแบบไร้อากาศของ บริษัท แซน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์หัวเชื้อแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

1.3.3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (ABR) วัสดุทำจากอะคริลิก มีขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงเป็น 11.00 49.60 และ 32.60 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีระยะความสูงเหนือผิวน้ำ (freeboard) 12.60 เซนติเมตร ดังนั้นมีปริมาตรของเหลวภายใน 10 ลิตร ภายในถังปฏิกรณ์แบ่งออกเป็น 5 ห้อง

1.3.4 งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองหลัก ดังนี้

การทดลองที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการบ่งบอกว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ (โดยเทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้ากับซีโอดีน้ำออก) ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ และพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบและซีโอดีของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีค่าค่อนข้างคงที่ร่วมด้วย โดยในระหว่างนี้ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

การทดลองที่ 2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ โดยทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว และน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเช่นกัน ซึ่งเก็บข้อมูลทั้งในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนียเปรียบเทียบข้อมูลกัน

การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio) โดยทำการเก็บตัวอย่างเฉพาะในแต่ละห้องมาวิเคราะห์เท่านั้น

1.3.5 ตัวแปรที่วิเคราะห์ในการทดลอง ได้แก่ ซีโอดี(COD) กรดไขมันระเหย(volatile fatty acid) สภาพด่าง(alkalinity) พีเอช(pH) ความต่างศักย์โออาร์พี(ORP) ของแข็งทั้งหมด(total solids) ของแข็งระเหยได้(volatile solids) ปริมาณก๊าซชีวภาพ(biogas) เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน(methane) แอมโมเนียไนโตรเจน(ammonia nitrogen) ทีเคเอ็น(TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด(total phosphorus) ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate) และแมกนีเซียม(magnesium) โดยทำการวิเคราะห์ตามวิธีใน Standard Methods

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการลดมลภาวะที่เกิดจากน้ำเสียที่มีแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

1.4.2 ทราบถึงผลของแอมโมเนียที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชนิดระบบแผ่นกั้น ไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor, ABR)

1.4.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในการปรับระบบให้เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียได้มากขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟาร์มสุกร (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

ฟาร์มสุกรหรือที่เรียกกันว่า “โรงหมู” มีอยู่มากและหนาแน่นในบางจังหวัด เช่น นครปฐม ซึ่งการเลี้ยงสุกรนอกจากจะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ยังทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น และแมลงวันรบกวน ซึ่งก่อให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนใกล้เคียงได้ เนื่องจากปัจจุบันฟาร์มสุกรในประเทศไทยมีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยข้อมูลของจำนวนสุกรและฟาร์มสุกรแต่ละขนาดในประเทศไทยได้แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งข้อมูลในตารางได้แสดงค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีของฟาร์มสุกรแต่ละขนาดไว้ด้วย

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดด้านมลพิษน้ำของฟาร์มสุกรในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

	ฟาร์มสุกร			
	เล็ก	(ร้อยละ)	กลางและใหญ่	(ร้อยละ)
จำนวนฟาร์ม	6,246	(85)	1,042	(15)
จำนวนสุกร	-	(18)	-	(82)
ความสกปรก (กิโกรัมบีโอดีต่อวัน)	21,909	(20)	78,945	(80)

หมายเหตุ : ฟาร์มสุกรขนาดเล็ก 6 – น้อยกว่า 60 นปส.

(เทียบเท่าสุกรประมาณ 50 – 500 ตัว)

ฟาร์มสุกรขนาดกลาง 60 - 600 นปส.

(เทียบเท่าสุกรประมาณ 500 – 5,000 ตัว)

ฟาร์มสุกรขนาดใหญ่มากกว่า 600 นปส.

(เทียบเท่าสุกรมากกว่า 5,000 ตัว)

โดย นปส. คือ หน่วยปศุสัตว์เทียบเท่าน้ำหนักสุกรรวม 500 กิโลกรัม

โดยน้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ = 170 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยสุกรขุน = 60 กิโลกรัม

น้ำหนักเฉลี่ยลูกสุกร = 12 กิโลกรัม

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีอยู่เป็นจำนวนมาก เพราะดำเนินกิจการโดยประชาชนทั่วไป ส่วนฟาร์มสุกรขนาดกลางและใหญ่มีจำนวนไม่มาก เพราะประกอบกิจการเป็นอุตสาหกรรมเต็มรูปแบบ แต่ปริมาณความสกปรก(ในรูปบีโอดี)ของฟาร์มสุกรขนาดกลางและใหญ่กลับมีสัดส่วนถึงร้อยละ 80 ซึ่งมากกว่าปริมาณความสกปรกที่เกิดจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก

2.2 ของเสียจากฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, <http://www.pcd.go.th.>, [2006,December 21])

ของเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรมี 2 ประเภท

- 1.ของเสียที่เกิดจากมูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในคอก
 - 2.ของเสียที่เกิดจากการล้างคอกด้วยน้ำ และปัสสาวะสุกรซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย
- ซึ่งลักษณะของของเสียทั้ง 2 ประเภทสามารถถ่วงรายละเอียดได้ดังนี้

มูลสุกร

การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมูลสุกรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะบนพื้นคอกที่มีการหมักหมมของมูลสุกรและใต้พื้นคอกที่มีการตกค้างของมูลสุกรปัสสาวะ และน้ำจากการล้างคอก นอกจากนี้มูลสุกรที่เก็บกวาดออกจากพื้นคอก แล้วนำมาตากแห้ง จะต้องมีการควบคุมดูแลโดยไม่ควรกองทิ้งมูลไว้เป็นเวลานาน เพราะความชื้นในอากาศและอุณหภูมิอาจมีความเหมาะสมที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาจนเกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นได้

น้ำเสียฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ซึ่งในการทำความสะอาดคอกด้วยน้ำควรเก็บกวาดมูลสุกรออกก่อน จะได้ไม่เพิ่มปริมาณความสกปรกให้กับน้ำเสีย จากการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกรพบว่าน้ำเสียฟาร์มสุกรมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2.2 2.3 และ 2.4 ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร (กรมปศุสัตว์ จังหวัดนครพนม, 2549)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยโดยรวม (หน่วย)
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	8.35 (ไม่มีหน่วย)
สี (Color)	88.56 (โคบอลต์ ยูนิท)
ความขุ่น (Turbidity)	374.50 (ซีติกาสเกล)
บีโอดี (BOD)	742.30 (พีพีเอ็ม)
ซีโอดี (COD)	1269.60 (พีพีเอ็ม)
ผลรวมของสารอินทรีย์ในโตรเจนและ แอมโมเนียในโตรเจน (TKN)	86.20 (พีพีเอ็ม)
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	600.60 (พีพีเอ็ม)
ทองแดง (Cu)	0.02 (พีพีเอ็ม)
สังกะสี (Zn)	0.13 (พีพีเอ็ม)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร (Yamamoto และคณะ, 2006)

พารามิเตอร์	ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	8.3 (ไม่มีหน่วย)
ของแข็งแขวนลอย (suspended solids)	5,000 – 10,000 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ซีโอดีทั้งหมด (total COD)	5,000 – 11,000 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ซีโอดีละลายได้ (soluble COD)	3,000 – 5,000 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
บีโอดี 5 วัน (BOD ₅)	2,000 – 4,000 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แอมโมเนียในโตรเจน (NH ₄ ⁺ -N)	3,000 – 5,000 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร (Ahn และคณะ, 2006)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	6.37
ของแข็งทั้งหมด (Total solids)	61.8
ของแข็งระเหยได้ (Volatile solids)	44.5
ซีโอดี (COD)	130.8
ซีโอดีละลายได้ (Soluble COD)	59.7
ผลรวมของสารอินทรีย์ในโตรเจนและ แอมโมเนียในโตรเจน (TKN)	7.3
แอมโมเนียในโตรเจน (Ammonium nitrogen)	4.8
โปรตีน (* Protein)	15.8
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	9.1
ไขมัน (Lipid)	20.1
อะซิเตท (Acetate)	11.1
โพรไพโอเนท (Propionate)	4.2
เอ็น-บิวไทเรท (<i>n</i> -Butyrate)	6.4
กรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดคิดเทียบจาก อะซิเตท (Total VFA as acetate)	36.7
แคลเซียม (Calcium)	0.67
โพแทสเซียม (Potassium)	3.4

* Protein content = (TKN – ammonium nitrogen) × 6.25

ของเสียอื่นๆ

ของเสียอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกรต้องมีการกำจัดที่ถูกต้อง เช่น ขวดยา ขวดน้ำเสีย เข็ม ฉีดยา รก และซากสุกรที่ตายต้องมีการฝังกลบให้เรียบร้อย สำหรับถุงใส่อาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสุกรสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือใช้เป็นถุงบรรจุมูลสุกรขายเป็นปุ๋ย เป็นต้น

2.3 การเกิดแอมโมเนียในน้ำเสียฟาร์มสุกร (สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, <http://www.biogastech-cmu.com>, [2006, January 13])

สัตว์ต่างๆได้รับธาตุไนโตรเจนส่วนใหญ่จากโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนในอาหารที่กินเข้าไป ส่วนน้อยที่จะกักเก็บไว้ใช้ในร่างกายหรือเปลี่ยนเป็นน้ำนม ส่วนใหญ่จะขับถ่ายออกไปทางมูลและปัสสาวะ ซึ่งข้อมูลการแปรสภาพของธาตุไนโตรเจนที่กินเข้าไปกับอาหาร โดยสัตว์เลี้ยงต่างๆแสดงได้ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งไนโตรเจนในมูลมาจากอาหารโปรตีนและจากอาหารที่ย่อยไม่หมด จากการขับหลังเอนไซม์และเชื้อบล่าไส้ที่หลุดจากทางเดินอาหาร รวมทั้งจากจุลชีพที่สร้างตัวขึ้นในลำไส้ใหญ่ โดยไนโตรเจนในจุลชีพเป็นทั้งโปรตีนและกรดนิวคลีอิก(15-20%) ส่วนไนโตรเจนในปัสสาวะส่วนใหญ่เป็นยูเรีย(ในโค แกะและสุกร) ส่วนในสัตว์ปีกไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของกรดยูริก

ตารางที่ 2.5 การแปรสภาพของไนโตรเจนที่กินเข้าไปกับอาหารโดยสัตว์เลี้ยงต่างๆ
(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
<http://www.biogastech-cmu.com>, [2006, January 13])

ชนิดสัตว์	โปรตีนในอาหาร(กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง)	กักเก็บในร่างกาย (%)	นม(%)	มูล(%)	ปัสสาวะ(%)
โคนม-เลี้ยงปล่อย	250	2	7	35	56
-เลี้ยงในคอก	175	2	25	34	39
โคนเนื้อ	150	22	-	30	48
แม่สุกรเลี้ยงลูก	160	5	20	20	55

ตารางที่ 2.5 การแปรสภาพของไนโตรเจนที่กินเข้าไปกับอาหารโดยสัตว์เลี้ยงต่างๆ (ต่อ)

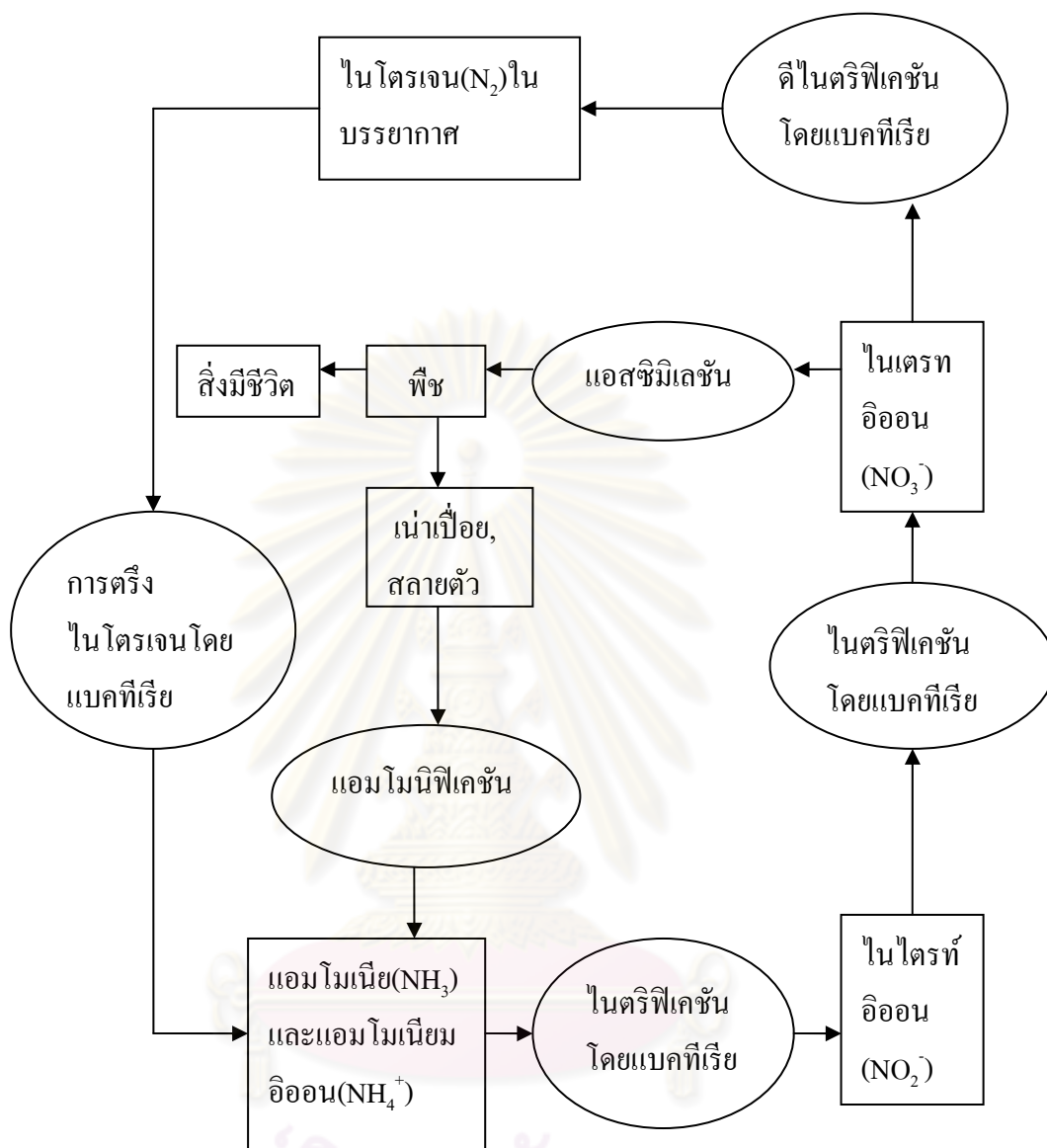
(สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

<http://www.biogastech-cmu.com>, [2006, January 13])

ชนิดสัตว์	โปรตีนใน อาหาร(กรัม ต่อกิโลกรัม วัตถุแห้ง)	กักเก็บใน ร่างกาย (%)	นม(%)	มูล(%)	ปัสสาวะ(%)
ลูกสุกร	184	40	-	10	50
สุกรขุน	170	32	-	15	53
ไก่ไข่	170	32	-	12	56
ไก่เนื้อ	217	42	-	10	48

ที่มา: ดัดแปลงจาก Coppoolse และคณะ (1990) โดย Tamminga(1992)

ไนโตรเจนบางส่วนในสิ่งขับถ่ายสลายตัวโดยการทำงานของจุลชีพไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออน (NH_3 และ NH_4^+ ตามลำดับ) เรียกปฏิกิริยานี้ว่าแอมโมนิฟิเคชัน(Ammonification) จากนั้นแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออนจะถูกเปลี่ยนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย(nitrifying bacteria)ผ่านกระบวนการที่เรียกว่าไนตริฟิเคชัน(Nitrification)กลายเป็นไนเตรท(NO_3^-) แล้วไนเตรทจะไปอยู่ในดินและในน้ำหรือถูกใช้ประโยชน์ได้โดยพืชเรียกว่าแอสซิมิเลชัน(Assimilation) นอกจากนี้ไนเตรทสามารถถูกเปลี่ยนโดยดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย(denitrifying bacteria)ผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน(Denitrification) กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน(N_2)กลับคืนสู่บรรยากาศได้ต่อไป ซึ่งก๊าซไนโตรเจนอาจถูกจุลชีพเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออนได้อีกเรียกว่าการตรึงไนโตรเจน(Nitrogen fixation) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในธรรมชาติธาตุไนโตรเจนมีอยู่ได้ในหลายรูปของสารประกอบ ซึ่งการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนต้องอาศัยการทำงานของจุลชีพ โดยสามารถสรุปกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนได้ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของไนโตรเจน
(<http://www.lenntech.com/nitrogen-cycle.htm>)

Cited in <http://www.google.com>, [2007, January 29]

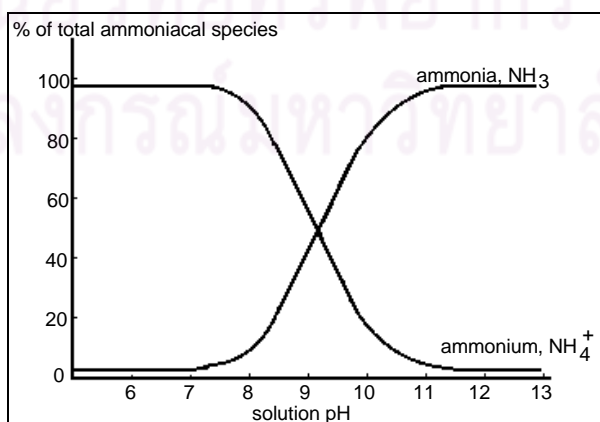
2.4 แอมโมเนีย (มันดิน ตัณทูลเวศม์ และ มันรักษ์ ตัณทูลเวศม์,2547)

แอมโมเนียในน้ำอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ(NH_3)หรือแอมโมเนียมไอออน(NH_4^+) ซึ่งโดยปกติถ้ามีค่าพีเอชเป็นกลางแอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน แต่ถ้าพีเอชของน้ำเสียนีค่าสูงขึ้นก็จะพบแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียอิสระมากขึ้นส่วนรูปของแอมโมเนียมไอออนก็จะม่น้อยลง แต่แอมโมเนียอิสระสามารถหนีออกจากน้ำเสียนขึ้นไปสู่บรรยากาศได้ ซึ่งแอมโมเนียที่วิเคราะห์ได้จากน้ำเสียนจะเป็นค่าของแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียอิสระรวมกับแอมโมเนียมไอออนเสมอ

2.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียกับพีเอช



จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณของแอมโมเนียอิสระ(NH_3)และแอมโมเนียมไอออน(NH_4^+) มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียและเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียมไอออน โดยเมื่อน้ำมีพีเอชสูงขึ้นระบบจะปรับสมดุลโดยการแตกไฮโดรเจนไอออน(H^+)ออกมาเพื่อทำให้น้ำมีความเป็นด่างน้อยลง ก็จะพบแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียอิสระหรือก๊าซแอมโมเนียมากขึ้น แต่ในทางตรงข้ามถ้าพีเอชมีค่าลดลงซึ่งก็คือระบบมีไฮโดรเจนไอออนมากขึ้น ก็จะเกิดการปรับสมดุลให้มีแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียมไอออนมากกว่า ดังนั้นปริมาณของสารประกอบทั้งสองจะขึ้นอยู่กับค่าของพีเอช โดยค่าพีเอชที่มีแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียมไอออนอย่างละ 50%(pKa) มีค่าเท่ากับ 9.3



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียและเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียมไอออน

2.4.2 แอมโมเนียในระบบไร้อากาศ

สารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในระบบไร้อากาศมาจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบ หรือเกิดจากการย่อยสลายพวกโปรตีนหรือยูเรียซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการหมักของตะกอนอินทรีย์ในระบบซึ่งมักประกอบด้วยโปรตีนก็สามารถย่อยสลายเป็นแอมโมเนียได้เช่นกัน

2.4.2.1 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียในโตรเจนที่มีต่อระบบไร้อากาศ

ปริมาณของแอมโมเนียในโตรเจนที่ต่างกันจะส่งผลต่อระบบไร้อากาศต่างกัน โดยช่วงต่างๆ ของค่าความเข้มข้นแอมโมเนียส่งผลต่อระบบไร้อากาศดังแสดงในตารางที่ 2.6 และดังนี้

ตารางที่ 2.6 ผลของปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนที่มีต่อระบบไร้อากาศ (Mignone, 2005)

ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน (มก./ล.)	ผลที่มีต่อระบบไร้อากาศ
50 – 200	มีประโยชน์
200 – 300	ไม่มีผลกระทบ
1,500 – 3,000	เกิดการยับยั้งที่ค่าพีเอชสูงๆ (มากกว่า 7.4 – 7.6)
3,000 ขึ้นไป	เป็นพิษต่อระบบ

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนมีประโยชน์ต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องต่อการกำจัดคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบจากน้ำเสียจะมีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญเติบโตและการผลิตเซลล์ใหม่ โดยภายในเซลล์จุลินทรีย์ (แบคทีเรีย) มีไนโตรเจนประมาณ 10.5%

2.4.2.2 พืชของแอมโมเนียต่อระบบไร้อากาศ

แอมโมเนียมีพืชต่อจุลชีพและสัตว์น้ำ รูปที่เป็นพืชคือแอมโมเนียอิสระ(NH_3) ส่วนแอมโมเนียมไอออน(NH_4^+)ไม่มีพืช จากหัวข้อที่ 2.4.1 จะพบว่าความเป็นพืชของแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชโดยถ้าน้ำมีค่าพีเอชเป็นกลางหรือค่าพีเอชต่ำๆจะแทบไม่ปรากฏความเป็นพืชเลย เพราะแอมโมเนียส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน แต่เมื่อพีเอชสูงขึ้นจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระทำให้ความเป็นพืชของระบบมีมากขึ้น

จากการศึกษาของ McCarty และ McKinney (1961) พบว่าแอมโมเนียมีพืชต่อจุลชีพสร้างมีเทนมากกว่าจุลชีพสร้างกรด เพราะเมื่อแอมโมเนียเป็นพืชจะมีการสะสมของกรดไขมันระเหยเกิดขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทน

2.4.3 การลดความเป็นพืชของแอมโมเนีย (McCarty, 1964)

วิธีการลดความเป็นพืชของแอมโมเนียมีวิธีต่างๆ ดังนี้

2.4.3.1 การกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีชีวสังเคราะห์

จุลชีพมีความจำเป็นต้องใช้ในโตรเจนเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของเซลล์ ในระหว่างที่จุลชีพทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นในโตรเจนในรูปของแอมโมเนียจึงใช้เป็นสารอาหารของจุลชีพได้ส่งผลให้แอมโมเนียในน้ำเสียมีปริมาณลดลง แต่การกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีชีวสังเคราะห์จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย วิธีนี้จึงไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียได้อย่างสมบูรณ์

2.4.3.2 การกำจัดแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ไนตริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีวภาพที่ทำให้แอมโมเนียกลายเป็นไนเตรตและไนเตรทตามลำดับ แต่ปฏิกิริยานี้ต้องการออกซิเจนทำให้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีนี้ได้ ดังนั้นจึงไม่ควรปล่อยน้ำเสียที่มีแอมโมเนียลงในแหล่งน้ำเพราะจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง นอกจากนั้นไนเตรทที่เกิดขึ้นยังเป็นอาหารของพวกพืชน้ำจึงอาจก่อให้เกิดปัญหาโทรฟิเคชัน (Eutrophication คือ ปรากฏการณ์ที่มีแพลงก์ตอนเจริญเติบโตมากเกินไปในน้ำ)

2.4.3.3 การกำจัดแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

กรณีที่เป็นระบบใช้อากาศจะมีออกซิเจนอยู่ในระบบ ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีวภาพเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนโตรต์และไนเตรทได้ตามลำดับ เรียกว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน จากนั้นไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน(N_2) เรียกว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งก๊าซไนโตรเจนสามารถหนีออกจากรูน้ำเสียไปได้ ดังนั้นวิธีนี้สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสียลงได้

2.4.3.4 การเจือจางความเข้มข้นของกากตะกอนที่จะเข้าสู่ระบบ เช่น การเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเข้าสู่ระบบเพื่อลดความเข้มข้นของกากตะกอนลง

2.4.3.5 การเติมกรดเพื่อรักษาระดับของพีเอชให้เป็นกลาง เช่น การเติมกรดไฮโดรคลอริกจนน้ำเสียมีค่าพีเอชในช่วง 7 – 7.2 วิธีนี้เป็นการควบคุมไม่ให้ค่าพีเอชมีค่าสูงซึ่งทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียมีมากขึ้น

2.4.3.6 การลดความเข้มข้นของแอมโมเนียโดยการตกผลึกออกมาเป็นสตรูไวท์ เนื่องจากสตรูไวท์เป็นผลึกที่มีแอมโมเนียมไอออนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการช่วยเสริมให้ภายในระบบมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดสตรูไวท์ก็สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียลงได้ ซึ่งกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 2.8

2.5 กระบวนการไร้อากาศ (มันลิน ตัณกุลเวศม์, 2542)

กระบวนการไร้อากาศมีหน้าที่ 2 ประการคือ บำบัดสลัดจ์หรือสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ (อาจเป็นจุลชีพหรือสารอินทรีย์ใดๆก็ได้) และบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาในด้านการบำบัดสลัดจ์พบว่ากระบวนการไร้อากาศมักเป็นส่วนหนึ่งที่เป็นของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลชีพ เมื่อพิจารณาในด้านการบำบัดน้ำเสียพบว่ากระบวนการไร้อากาศมักเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ใช้ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลงก่อนที่จะส่งต่อไปให้กระบวนการใช้อากาศทำการกำจัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ ซึ่งกระบวนการไร้อากาศสามารถช่วยประหยัดพลังงานและสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มากและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของปฏิกิริยาในกระบวนการไร้อากาศ

ภายในถังปฏิกรณ์ของกระบวนการไร้อากาศพบว่าสารประกอบอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์เมมเบรนของจุลชีพได้เลย ส่วนสารประกอบที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะต้องถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กจนสามารถส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ เมื่อสารอินทรีย์อยู่ในเซลล์แล้วจะถูกออกซิไดซ์หลายครั้งจนในที่สุดกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ก๊าซมีเทนนั้นอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลชีพ 2 กลุ่ม ได้แก่

2.5.1.1 จุลชีพที่ไม่สร้างมีเทน

จุลชีพประเภทนี้ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่ต้องการอากาศ(ออกซิเจน)อย่างเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) และพวกที่ใช้อากาศ(ออกซิเจน)ได้บ้าง(Facultative Anaerobes) เนื่องจากเมตาบอลิซึมของจุลชีพประเภทไม่สร้างมีเทนมีได้หลายแบบ ผลของปฏิกิริยาที่ได้จึงมีอยู่หลายอย่าง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และเมทานอลซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทนโดยจุลชีพสร้างมีเทน ส่วนผลของปฏิกิริยาอย่างอื่นที่เกิดขึ้นจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นการอะซิติกหรือไฮโดรเจนหรือสารโมเลกุลอย่างง่ายตัวอื่นก่อนจึงจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้

2.5.1.2 จุลชีพที่สร้างมีเทน

จากการวิจัยต่างๆพบว่าจุลชีพที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้ามาก และยังเป็นเซลล์ที่เลือกใช้อาหารในการเจริญเติบโตและมีความบอบบางมาก เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย หรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่อค่าพีเอชอยู่นอก 6.8-7.2 เป็นต้น ซึ่งสารอาหาร(substrate)ที่จุลชีพสร้างมีเทนสามารถใช้ได้มีเพียงไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก เมทานอล และกรดฟอร์มิก แต่จุลชีพที่ไม่สร้างมีเทนจะสร้างกรดอินทรีย์ได้หลายชนิดและสารอินทรีย์อื่นๆด้วย ส่วนจุลชีพที่สร้างมีเทนต้องการสารอินทรีย์บางชนิดจำเพาะเจาะจง ทำให้ต้องมีสารอีกจำนวนมากที่ยังคงตกค้างอยู่ในระบบ

จุลชีพที่สร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

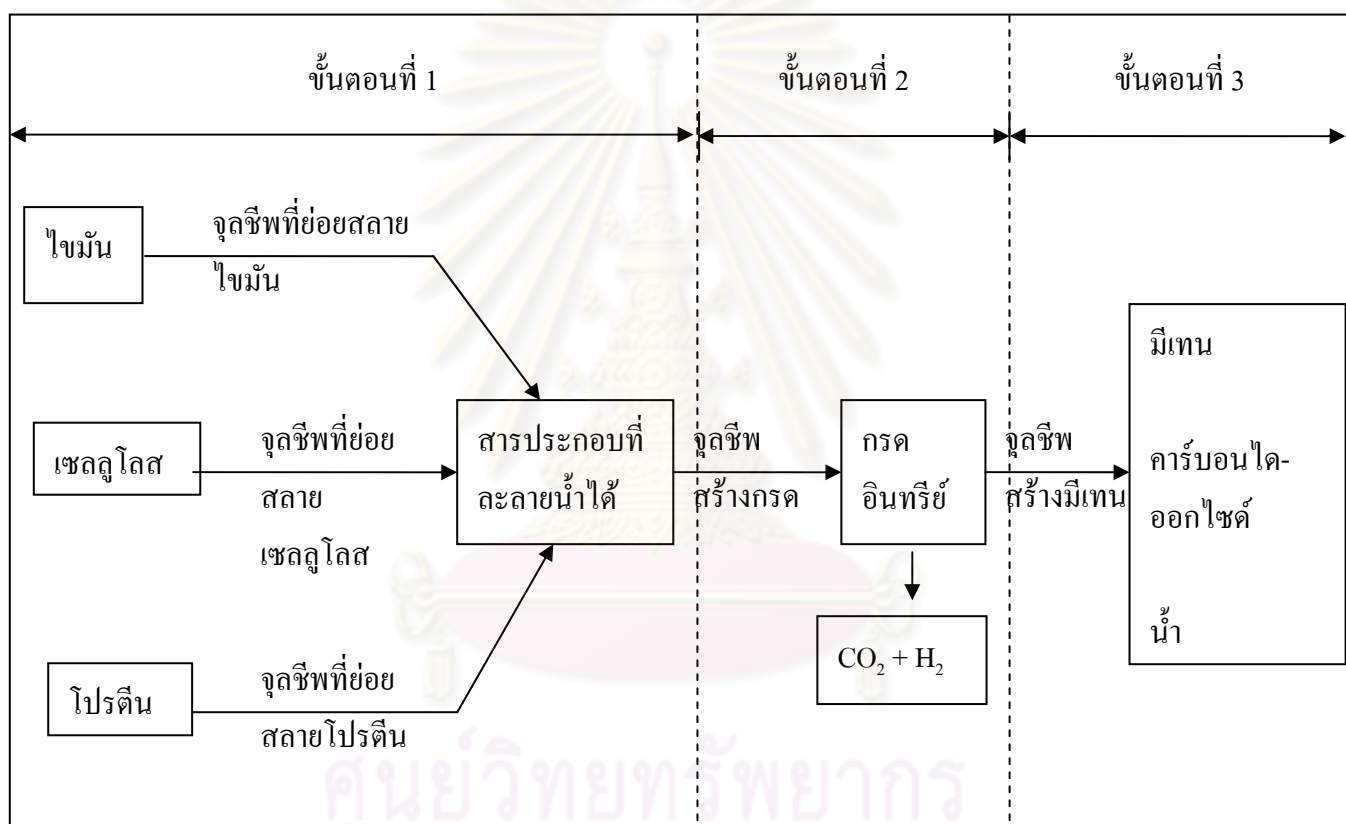
- 1.Obligate Acetoclastic Methanogens สามารถใช้กรดอะซิติกเป็นสารอาหารได้เพียงอย่างเดียว
- 2.Obligate Hydrogenotrophic Methanogens เป็นจุลชีพที่สามารถผลิตมีเทนโดยใช้สารอาหารจากไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว ในกรณีนี้ไฮโดรเจนจะเป็นแหล่งพลังงาน และมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน
- 3.Hydrogenotrophic / Acetoclastic Methanogens เป็นจุลชีพที่สามารถสร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจนก็ได้ แต่มักใช้ไฮโดรเจนมากกว่า

2.5.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการย่อยแบบไร้อากาศ

ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการแบบไร้อากาศประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)
2. การสร้างกรด (Acidogenesis)
3. การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนทั้ง 3 ต้องอาศัยจุลชีพ 3 ประเภท ได้แก่ จุลชีพสร้างกรด จุลชีพสร้างอะซิเตท และจุลชีพสร้างมีเทน



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้อากาศ

(<http://www.eere.energy.gov/de/biomass-power.html>).

Cited in <http://www.google.com>, [2007, February 11]

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส

ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ชนิดยาว ตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์จุลชีพโดยอาศัยเอนไซม์ที่จุลชีพ ปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายสารดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกจุลชีพสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นอาหาร และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และ กรดโพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย

จากนั้นกรดไขมันระเหยอื่นๆจะถูกสร้างเป็นกรดอะซิติกโดยจุลชีพกลุ่มอะซิโตเจนิก (จุลชีพสร้างกรดอะซิติก) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและ ขั้นตอนการสร้างมีเทน เพราะการผลิตมีเทนโดยจุลชีพสร้างมีเทนนั้นต้องการสับสเตรท (สารอาหาร) เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เมทานอล และเมทิลามีน สำหรับกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็น สับสเตรทในการผลิตมีเทนได้โดยตรง ดังนั้นจะถูกจุลชีพกลุ่มอะซิโตเจนิกย่อยสลายกรดไขมัน ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างมีเทน

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยจุลชีพกลุ่มที่สร้างมีเทนภายใต้ สภาวะไร้อากาศอย่างเด็ดขาด ส่วนกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่สามารถถูก เปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง จึงต้องมีจุลชีพกลุ่มอะซิโตเจนิกมาเปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้ เป็นกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนก่อนตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในขั้นตอนของการสร้างกรด อะซิติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบไร้อากาศ

ระบบไร้อากาศที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดีและข้อเสียต่างๆ ดังนี้

ข้อดีของระบบไร้อากาศ

- ลดค่าใช้จ่ายในการจัดการกับกากตะกอน
- ลดค่าใช้จ่ายของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ให้กับระบบ
- เป็นระบบที่ช่วยอนุรักษ์พลังงานเนื่องจากเกิดก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้เป็นพลังงานได้
- ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ

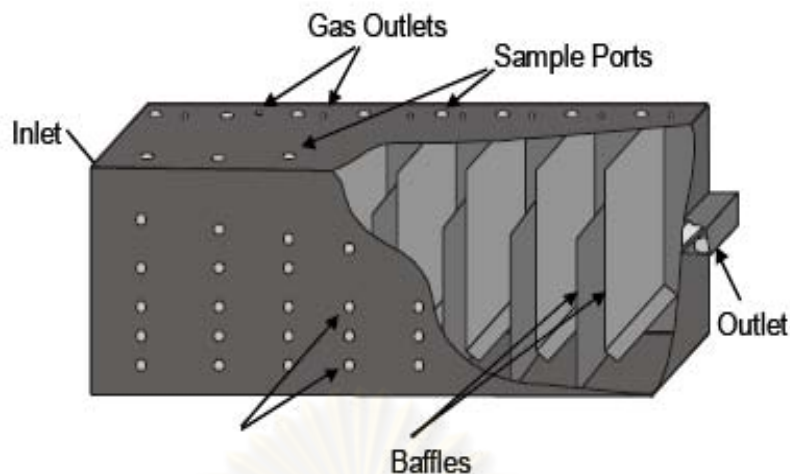
ข้อเสียของระบบไร้อากาศ

- ใช้เวลาในการเริ่มเดินระบบนาน
- คุณภาพน้ำหลังการบำบัดยังไม่ดีพอ
- เกิดกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ถ้าน้ำเสียที่เข้าระบบมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ
- ปฏิกริยาจะเกิดได้ช้าถ้าอุณหภูมิต่ำ
- ไม่เกิดปฏิกริยาในตรีฟิเคชันทำให้ไม่สามารถลดความเป็นพิษของแอมโมเนียในระบบได้

2.6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor หรือ ABR) (Barber และ Stuckey,1999)

ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเป็นถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบโดยมีการใช้ชุดของแผ่นกั้น(baffles) เพื่อบังคับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ให้ไหลขึ้นและลงผ่านแผ่นกั้นจากทางที่น้ำเข้า(inlet) ไปสู่ทางที่น้ำออก(outlet) ถังปฏิกรณ์จึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนระบบไร้อากาศอื่นๆ ซึ่งลักษณะของถังปฏิกรณ์ชนิดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 โดยจุลชีพที่อยู่ในระบบจะลอยขึ้นและตกตะกอนลงเนื่องจากลักษณะการไหลของน้ำเสียและการเกิดขึ้นของก๊าซ ซึ่งน้ำเสียจะเคลื่อนที่ไปตามความยาวของถังปฏิกรณ์อย่างช้าๆ ดังนั้นน้ำเสียกับจุลชีพสามารถสัมผัสกันได้อย่างเต็มที่ในขณะที่น้ำเสียเคลื่อนที่ผ่านระบบ น้ำเสียที่ออกจากระบบก็มีปริมาณของแข็งทางชีวภาพปนออกมาน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



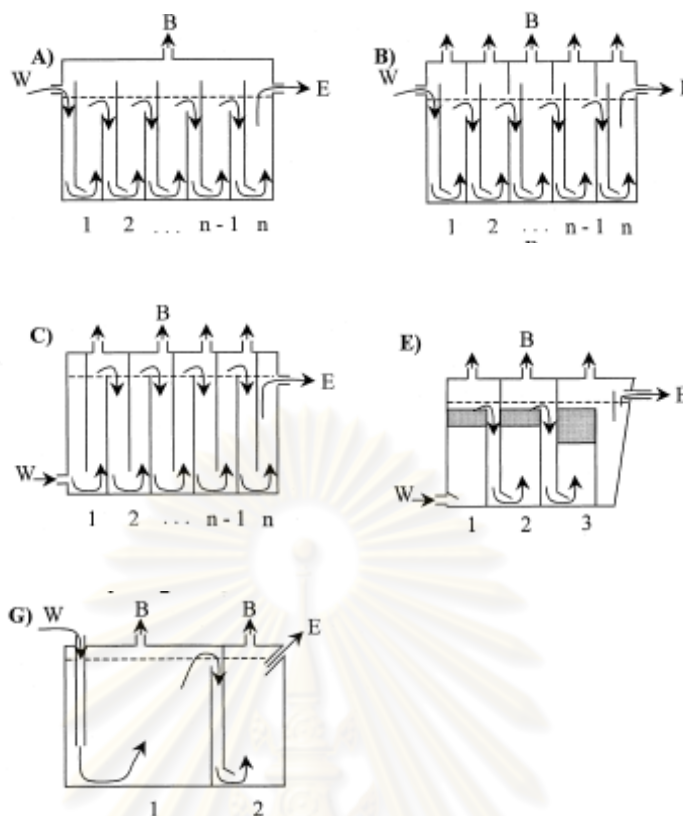
รูปที่ 2.4 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Foxon และคณะ, 2004)

2.6.1 ชนิดของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ มี 3 ชนิด ดังนี้

1. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่ไม่มีตัวกลาง
2. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีตัวกลางอยู่ที่ด้านบนของแต่ละห้อง หรืออยู่ที่ห้องสุดท้ายอย่างเดียวย เรียกว่า hybridized anaerobic baffled reactor (HABR)
3. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีตัวกลางที่เรียกว่า ตัวกรองแบบไร้อากาศ(anaerobic filter หรือ AN/F) โดยตัวกลางจะอยู่ในถังปฏิกรณ์แต่ไม่ได้ลอยอยู่ที่ผิวด้านบนเหมือนกับ hybridized anaerobic baffled reactor (HABR)

2.6.2 การพัฒนาของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ในช่วงเวลาใกล้เคียงกับที่ Lettinga (1980) ทำการพัฒนากระบวนการยูเอสบี McCarty และทีมงานที่ Stanford ได้สังเกตเห็นว่ามวลจุลชีพที่อยู่ในระบบงานหมุนชีวภาพไร้อากาศ (Anaerobic Rotating Biological Contactor หรือ AnRBC) (Tait และFreidman,1980) ส่วนใหญ่จะแขวนลอยอยู่ในระบบ ดังนั้นเมื่อนำงานหมุนออกจึงทำการพัฒนารูปแบบเป็นระบบแผ่นกั้นไร้อากาศขึ้นมา (McCarty,1981) อย่างไรก็ตามระบบนี้เคยถูกใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพให้มีส่วนประกอบของมีเทนในสัดส่วนที่สูงมาแล้วเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Chynoweth และคณะ, 1980) ถึงแม้ว่าระบบนี้ไม่ค่อยพบว่ามีขนาดใหญ่ แต่ก็ยังเป็นระบบที่มีข้อดีมากกว่าระบบอื่นๆ ซึ่งรูปแบบต่างๆของถังปฏิกรณ์ชนิดระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ได้แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแบบต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ชนิดระบบแผ่นกั้นไรรออากาศ โดย W คือน้ำเสีย, B คือก๊าซชีวภาพ และ E คือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Barber และ Stuckey,1999)

รูปแบบของถังปฏิกรณ์เริ่มแรกเป็นดังรูปที่ 2.5(A) ซึ่งเป็นแบบธรรมดา แต่เพื่อที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของระบบจึงมีการปรับปรุงรูปแบบถังปฏิกรณ์ขึ้นดังรูปที่ 2.5(B), (C), (E) และ (G) ตามลำดับ โดยปัจจัยหลักในการออกแบบคือเพิ่มความสามารถของเวลาในการกักเก็บของแข็ง และเพื่อบำบัดน้ำเสียที่บำบัดได้ยาก (เช่น น้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งสูง, Boopathy และ Sievers,1991) หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ในปี 1981 Fannin และคณะ ได้เพิ่มแผ่นกั้นในแนวตั้งให้กับระบบไหลตามยาวเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีของแข็งจากกากตะกอนอาหารทะเลสูง ดังรูปที่ 2.5(C) เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบในการเก็บจุลชีพที่สร้างมีเทนซึ่งเติบโตได้ช้าที่อาจถูกแทนที่ด้วยของแข็งที่เข้ามาพร้อมกับน้ำเสียด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์คงที่ที่ 1.6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณของมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็นมากกว่า 55% โดยมีค่ามีเทนยลด์เป็น 0.34 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมวีเอสเอสหลังจากมีการเพิ่มแผ่นกั้นให้กับระบบแล้ว นอกจากนี้การศึกษาของ Bachmann และคณะ (1983) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบก่อนและหลังที่มีการทำให้ห้องที่น้ำไหลลงมีความ

แคบมากขึ้นและขอบของแผ่นกั้นถูกทำให้เอียง (รูปที่ 2.5 (A)) พบว่าประสิทธิภาพของทั้งสองรูปแบบยังน้อยกว่าระบบตัวกรองแบบไร้อากาศ (anaerobic filter) และระบบจานหมุนชีวภาพ (rotating biological disc) ที่เดินระบบภายใต้สภาวะเดียวกัน ซึ่งค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 82, 92 และ 90% สำหรับระบบแผ่นกั้นที่พัฒนาแล้ว, ระบบตัวกรองไร้อากาศ และระบบจานหมุนชีวภาพตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อมาอาศัยการผสมผสานหลายรูปแบบที่เกิดขึ้นในช่วงแรก (Tilche และ Yang, 1987, รูปที่ 2.5 (E)) โดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการเพิ่มเวลาในการกักเก็บของแข็งสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้น (strength) สูง ทำให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่ขึ้นและรวมห้องตกตะกอนของแข็งไว้หลังห้องสุดท้าย ของแข็งที่หลุดออกจากระบบจะถูกเก็บไว้ในห้องตกตะกอนนี้แล้วทำการเวียนมาที่ห้องแรก การรวบรวมตะกอนมีอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวในแต่ละห้อง โดยที่สองห้องแรกจะใช้ตัวกลาง (media) ชนิด packed pall ring ส่วนในห้องที่สามจะมีความลึกและพื้นที่ส่วนที่ว่างมากกว่า ระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกที่สูงได้เพราะโครงสร้างนี้มีการหลุดออกของของแข็งที่น้อยในระหว่างการเกิดก๊าซ ห้องเก็บก๊าซแต่ละห้องจะถูกแยกออกมาเพื่อที่จะได้วัดส่วนประกอบของก๊าซและปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละห้องได้

การใช้ถังปฏิกรณ์ชนิดนี้เพื่อบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรที่มีอนุภาคของแข็งเล็กน้อยอยู่ในปริมาณที่มาก Boopathy และ Sievers (1991) ได้ทำการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกรณ์ ซึ่งปัญหาที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร คือไม่มีความสามารถในการสร้างชั้นของตะกอนลอยที่จะช่วยเพิ่มค่าการกักเก็บของแข็งและความเร็วที่เกิดขึ้นมากจะทำให้เกิดการหลุดออกของของแข็งได้ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงรูปแบบเพื่อลดความเร็วในการไหลขึ้นของของเหลว โดยในส่วนแรกของระบบที่มี 2 ห้องจะเพิ่มขนาดขึ้นอีกเท่าตัวเป็น 10 ลิตร แล้วตามด้วยส่วนที่สองที่มีขนาด 5 ลิตร (รูปที่ 2.5(G)) ลักษณะของประสิทธิภาพและความสามารถในการกักเก็บของแข็งจะถูกเปรียบเทียบกับระบบที่มี 3 ห้อง โดยที่ปริมาตรของแต่ละห้องเท่ากัน พบว่าห้องที่เพิ่มเข้ามาในระบบ 3 ห้องจะช่วยเพิ่มเวลาในการกักเก็บของแข็งและมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่มี 2 ห้อง ซึ่งตรงข้ามกับผลที่เกิดขึ้นจากการศึกษาในตอนแรก (Sievers, 1988) พบว่าห้องที่มีขนาดใหญ่กว่าของระบบที่มี 2 ห้องจะทำหน้าที่เหมือนตัวกรองตามธรรมชาติและมีการกักเก็บของแข็งที่มีขนาดอนุภาคเล็กๆ ได้มากกว่า โดยถังปฏิกรณ์กักเก็บของแข็งได้มากขึ้นเป็น 2 เท่า (20 กรัม/ลิตร) ซึ่งมากกว่าระบบที่มี 3 ห้อง โดยสามารถยืนยันได้โดยข้อมูลของปริมาณของแข็งที่หลุดออกจากระบบ ซึ่งระบบที่มี 2 ห้องมีปริมาณของแข็งที่หลุดออกจากระบบน้อยกว่า จากการวิเคราะห์ที่มากขึ้นพบว่าแม้จะมีการสูญเสียของแข็งมากกว่า แต่ระบบที่มี 3 ห้องมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนของแข็งที่ถูกจับไว้ให้กลายเป็นมีเทนได้มากกว่า

การพัฒนา รูปแบบของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 การพัฒนาของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Barber และ Stuckey,1999)

รูปที่	การปรับปรุง	วัตถุประสงค์	อ้างอิง
2.4 (C)	เพิ่มแผ่นกั้นให้กับระบบไหลตามยาว (plug flow)	เพิ่มเวลาในการกักเก็บของแข็งเพื่อให้สารอาหารเข้าถึงจุลชีพที่สร้างมีเทนได้ดีขึ้น	Fannin และคณะ, 1981
2.4 (A)	1. ห้องที่น้ำไหลลงมีความแคบมากขึ้น 2. ให้แผ่นกั้นมีขอบเอียง (40-45°)	1. เพื่อเพิ่มการกักเก็บเซลล์ในห้องที่น้ำมีการไหลขึ้น 2. ให้มีเส้นทางการไหลไปที่กึ่งกลางของห้องเพื่อเพิ่มการผสม	Bachmann และคณะ, 1983
2.4 (E)	1. ห้องตกตะกอน 2. ใส่ตัวกลางที่ด้านบนของแต่ละห้อง 3. แยกที่เก็บก๊าซของแต่ละห้อง	1. เพิ่มการกักเก็บของแข็ง 2. ป้องกันการหลุดออกของของแข็ง 3. ง่ายและควบคุมการวัดก๊าซได้ เพิ่มเสถียรภาพของถังปฏิกรณ์	Tilche และ Yang, 1987
2.4 (G)	ทำให้ห้องแรกมีขนาดใหญ่ขึ้น	มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งสูงได้ดีขึ้น	Boopathy และ Siever, 1991

2.6.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ มีข้อดีทั้งในด้านการก่อสร้าง ด้านมลจุลชีพ และด้านการเดินระบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Barber และStuckey,1999)

ข้อดี
<p><u>ด้านการก่อสร้าง</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ออกแบบง่าย 2. ไม่มีชิ้นส่วนที่ต้องเคลื่อนที่ 3. ไม่ต้องมีเครื่องจักรในการกวนผสม 4. ค่าก่อสร้างไม่แพง 5. มีปริมาตรช่องว่างสูง 6. ลดการเกิดการอุดตัน 7. ค่าการดำเนินระบบต่ำ
<p><u>ด้านมลจุลชีพ</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดตะกอนน้อย 2. มีเวลาในการกักเก็บของแข็งสูง 3. การกักเก็บได้ของมลจุลชีพไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางหรือห้องสำหรับตกตะกอนของแข็ง 4. ไม่ต้องการระบบการแยกตะกอนหรือก๊าซที่เกิดขึ้น
<p><u>ด้านการเดินระบบ</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถทำงานได้ที่ค่ากักเก็บทางชลศาสตร์ต่ำ 2. สามารถเดินระบบเป็นระยะๆ ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเดินระบบอย่างต่อเนื่อง 3. มีความคงทนต่อการรับภาระทางชลศาสตร์ที่สูงขึ้นอย่างกะทันหันได้ 4. ระบบสามารถรับน้ำเสียที่มีสารที่เป็นพิษได้ 5. เดินระบบในระยะเวลานานได้โดยไม่มีการสูญเสียตะกอน 6. มีความคงทนสูงต่อการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นอย่างกะทันหันได้

นอกจากนี้ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีมากกว่าระบบอื่น คือ มีความสามารถในการแยกขั้นตอนการสร้างกรด (acidogenesis) และขั้นตอนการสร้างมีเทน (methanogenesis) ตามความยาวของถังปฏิกรณ์ได้ ทำให้ระบบดำเนินไปในลักษณะของสองเฟส ซึ่งการดำเนินระบบในแบบสองเฟสจะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของจุลชีพที่สร้างกรด (acidogenic) และจุลชีพที่สร้างมีเทน (methanogenic) โดยทำให้จุลชีพมีความสามารถในการรับสารที่เป็นพิษได้มากขึ้นและทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น พีเอช และอุณหภูมิได้มากขึ้น

นอกจากข้อดีในด้านต่างๆของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ระบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่เช่นกัน คือ ต้องการสร้างถังปฏิกรณ์ที่ตื่นเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำ และมีปัญหาในการกระจายน้ำเสียให้มีความสม่ำเสมอ (Tilche และ Vieira, 1991)

2.7 ความเป็นพิษต่อระบบไร้อากาศ (Speece, 1996)

น้ำเสียหลายประเภทมีความเหมาะสมที่จะบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แต่ในน้ำเสียเหล่านี้อาจมีสารที่เป็นพิษกับจุลชีพที่ไม่ใช้ออกซิเจน แต่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศจะยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ต่างๆในน้ำเสียที่มีสารที่เป็นพิษกับจุลชีพได้ ถ้าระบบดำเนินอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศสามารถกระทำได้ ถ้ามีการป้องกันอย่างระมัดระวังให้กับมวลจุลชีพก่อนอย่างเหมาะสม เช่น การเพิ่มความเข้มข้นของสารพิษขึ้นอย่างช้าๆ และการป้องกันการสูญเสียมวลจุลชีพออกจากระบบจนกระทั่งจะเริ่มมีการย่อยสลายได้ทางชีวภาพหรือเริ่มมีการปรับชินสภาพได้

ตัวอย่างของสารที่มีความเป็นพิษกับจุลชีพ เช่น สารอินทรีย์ที่มีพันธะคู่หรือมีหมู่ของอัลดีไฮด์จะเป็นพิษกับจุลชีพที่ไม่มีการปรับชินสภาพ แต่ก็สามารถถูกย่อยสลายได้ถ้าระบบมีค่าระยะเวลาในการกักเก็บของแข็งที่เหมาะสม นอกจากนั้นพวกโลหะหนักที่ทำให้เกิดความเป็นพิษกับระบบก็สามารถทำให้ตกตะกอนเพื่อลดความเป็นพิษลงได้

2.7.1 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารพิษในระบบไร้อากาศ

หลักการสำคัญในการกำจัดสารพิษออกจากระบบไร้อากาศ คือ ระบบต้องมีความคงตัวและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษได้ โดยอาจใช้การปรับชินสภาพหรือเดินระบบด้วยปัจจัยที่มีความเหมาะสม ในที่นี้หมายถึงให้ระบบมีค่าเวลากักเก็บของแข็งที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากความมีประสิทธิภาพของจุลชีพชนิดอิมมوبิไลซ์เซชัน (immobilization คือ กลุ่มของจุลชีพที่เกิดการรวมตัวกัน เช่น เม็ดตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย หรือการที่กลุ่มของจุลชีพเกิดการยึดเกาะบนตัวกลาง) ดังนั้นจุลชีพชนิดนี้คือสิ่งสำคัญในการออกแบบและเดินระบบ

ในบางครั้งสารพิษที่อยู่ในน้ำเสียอาจทำให้การทำหน้าที่ของเซลล์หยุดลงหรืออาจทำให้เซลล์ตาย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบต้องได้รับการฟื้นฟู เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบ (inoculum) ยังคงมีชีวิตอยู่ มวลจุลินทรีย์ยังคงถูกเก็บอยู่ในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสามารถกลับคืนมาได้หลังจากที่สารพิษได้ออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่การฟื้นฟูระบบจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบกลับคืนมา ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรมีการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดความเป็นพิษขึ้นกับระบบ

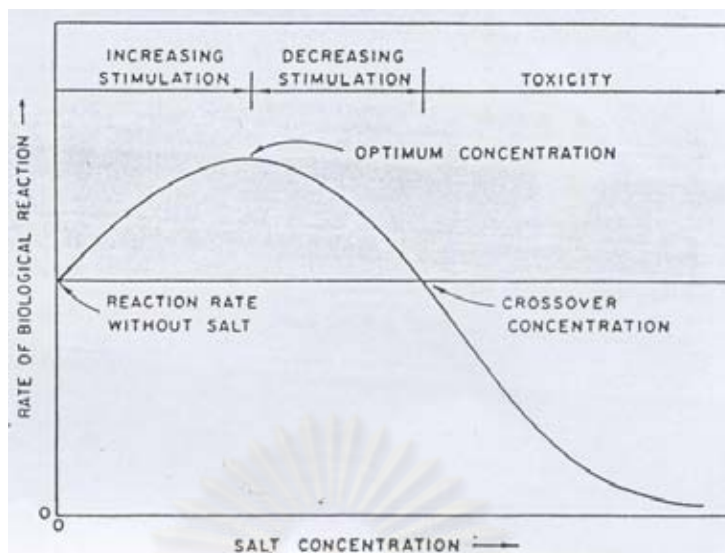
สถานะที่เอื้ออำนวยต่อการกำจัดสารพิษออกจากระบบ มีดังนี้

- ความเข้มข้นของสารพิษต้องน้อยกว่าค่า IC_{50} (Inhibiting Concentration 50% คือ ค่าความเข้มข้นที่ทำให้จุลินทรีย์เกิดการยับยั้งขึ้น 50%) ของสารนั้นๆ
- สารพิษนั้นต้องสามารถย่อยสลายทางชีวภาพหรือสามารถแยกออกได้ภายใต้สภาวะการบำบัดนั้นๆ
- จุลินทรีย์สามารถที่จะทำการปรับชินสภาพกับสารพิษที่มีอยู่ได้

2.7.2 ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเป็นพิษของระบบและการควบคุมผลที่เกิดจากความเป็พิษ มีดังนี้

2.7.2.1 ความเข้มข้นของสารพิษ

ความเข้มข้นของสารพิษที่ต่างกันจะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ต่างกัน จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารพิษในช่วงแรกจะช่วยทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นสูงมากขึ้นจนเกินค่าๆหนึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารพิษที่มากขึ้นจะขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ซึ่งมีความทนต่อความเป็นพิษในระบบได้น้อย แต่ในบางครั้งความเป็นพิษในระบบไม่ทำให้จุลินทรีย์ตาย แต่หยุดการทำงานของจุลินทรีย์เท่านั้น ทำให้จุลินทรีย์สามารถทำหน้าที่ได้อีกเมื่อมีการลดความเป็นพิษในระบบ หรือมีการปรับชินสภาพให้กับจุลินทรีย์



รูปที่ 2.6 ผลที่เกิดจากเกลือหรือสารอื่นๆที่มีต่อปฏิกิริยาทางชีวภาพ (McCarty,1964)

2.7.2.2 เวลาในการกักเก็บของแข็ง (Solids Retention Time หรือ SRT)

ค่าเวลาในการกักเก็บของแข็งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบ ซึ่งค่าเวลาในการกักเก็บของแข็งที่มากขึ้นจะช่วยป้องกันการล้นเหลวของระบบได้เมื่อมีสารที่เป็นพิษต่อจุลชีพ ถ้าค่าเวลาในการกักเก็บของแข็งยิ่งมากจะช่วยทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากตามไปด้วยเมื่อมีสารพิษ

2.7.2.3 ความเข้มข้นของมวลจุลชีพ

ผลจากสารพิษที่มีต่อจุลชีพสามารถมองได้ 2 กรณี คือ สัดส่วนของสารพิษต่อมวลจุลชีพ และสัดส่วนของสารพิษ (โดยที่สารพิษมีความเข้มข้นเท่ากัน) ที่ให้กับถังปฏิกรณ์ที่บรรจุความเข้มข้นของมวลจุลชีพต่างกัน ในกรณีหลังสัดส่วนของสารพิษต่อจุลชีพควรมีค่าน้อยเนื่องจากแสดงได้ว่าในระบบมีจุลชีพมาก ซึ่งทำให้การกระจายตัวของสารพิษต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของจุลชีพมีค่าที่ลดลง เช่น ให้ไซยาไนด์ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ 3 ถังปฏิกรณ์ที่มีความเข้มข้นมวลจุลชีพแตกต่างกัน พบว่าถังปฏิกรณ์ที่มีความเข้มข้นมวลจุลชีพมากที่สุด ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เร็วที่สุด

2.7.2.4 ระยะเวลาในการสัมผัสกับสารพิษ

การคืนสภาพของระบบหลังจากได้รับสารพิษเกิดได้เร็วเมื่อจุลชีพสัมผัสกับสารพิษในระยะเวลาที่น้อย หรือรีบกำจัดสารพิษออกไป ซึ่งในบางกรณีจะสามารถทำให้จุลชีพคืนสภาพได้เร็วกว่าการเริ่มต้นด้วยการเจือจางความเข้มข้นของสารพิษจากนั้นปล่อยให้สารพิษค่อยๆ ออกจากระบบไปพร้อมกับการไหลออกของของเหลว

2.7.2.5 อายุของเซลล์

อายุของเซลล์จุลชีพแสดงได้ด้วยค่าเวลากักเก็บของแข็ง (SRT) ที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของจุลชีพ และมีผลต่อการเกิดการยับยั้งของสารพิษ โดยจุลชีพจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อค่าเวลากักเก็บของแข็งเพิ่มขึ้น(คือเซลล์มีอายุมาก) ดังนั้นเซลล์ที่อายุน้อยจะได้รับผลกระทบจากสารพิษน้อยกว่าเซลล์ที่มีอายุมากเมื่อความเข้มข้นของเซลล์เท่ากัน

2.7.3 การควบคุมการเกิดการยับยั้งของสารพิษ

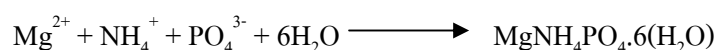
วิธีในการที่จะควบคุมการเกิดการยับยั้งจากสารพิษ มีอยู่หลายวิธีด้วยกันดังต่อไปนี้

- การกำจัดสารพิษออกจากน้ำเสียก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบบำบัด
- การเจือจางสารพิษให้มีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ (toxic threshold)
- ทำให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble complex) หรือทำให้เกิดการตกตะกอน เช่น กรณีที่น้ำเสียมีโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการทำให้โลหะหนักตกตะกอนในรูปของโลหะซัลไฟด์ โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์
- ลดความเป็นพิษของสารลงโดยใช้สารตัวอื่น(antagonism) วิธีนี้ต้องเติมสารที่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารพิษแล้วทำให้ความเป็นพิษลดลง เช่น แมกนีเซียมมีโซเดียมและโพแทสเซียมเป็นสารที่ช่วยลดความเป็นพิษเมื่อทำปฏิกิริยากัน

2.8 การเกิดผลึกสตรูไวท์ (struvite) (<http://www.cranfield.ac.uk/sas/water/scale/struvite.htm>.

และ<http://en.wikipedia.org/wiki/struvite>. Cited in <http://www.google.com>, [2007, March 17])

สตรูไวท์(struvite)เป็นผลึกของสารประกอบที่เกิดจากแอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟต ด้วยสูตรโมเลกุล $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งผลึกจะมีสีขาวจนถึงค่อนข้างเหลืองหรือค่อนข้างเป็นสีน้ำตาล มีรูปร่างของผลึกเป็นพีระมิด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 มีค่าความแข็ง(Mohs hardness) เท่ากับ 1.5 ถึง 2 ค่าความถ่วงจำเพาะ(specific gravity) 1.7 โดยความสามารถในการละลายจะถูกจำกัดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง แต่สามารถละลายได้มากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด การเกิดของสตรูไวท์เป็นไปตามสมการดังนี้

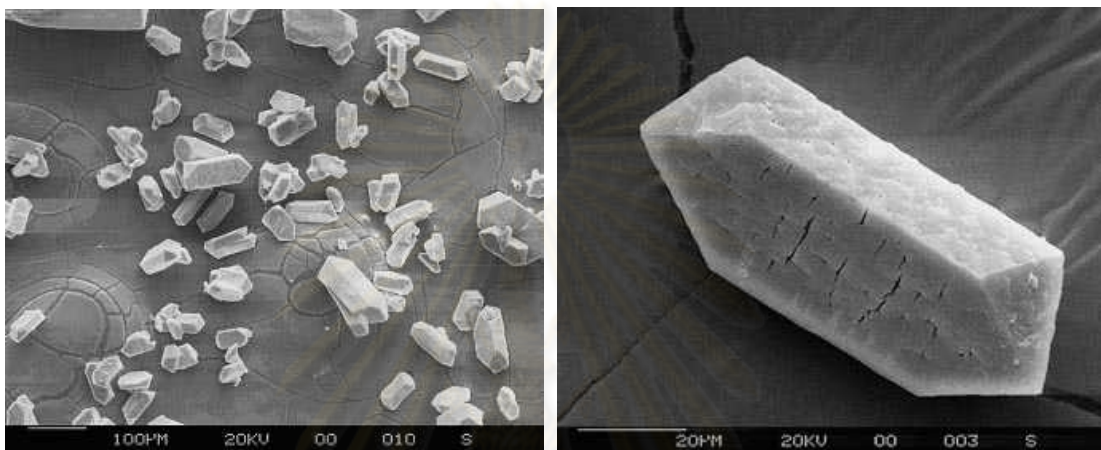


การตกตะกอนของผลึกสตรูไวท์ควบคุมได้ด้วยค่าพีเอช ระดับความอิ่มตัวของสารละลาย อุณหภูมิ และไอออนของสารอื่นที่มีอยู่ เช่น แคลเซียม ซึ่งผลึกจะเกิดได้เมื่อความเข้มข้นของไอออน

แอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟตมีมากเกินความสามารถที่จะละลายได้ แสดงได้ด้วยค่า K_{sp} (solubility product constant คือ ค่าคงที่ที่แสดงถึงความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์) ดังนี้

$$K_{sp} = [Mg^{2+}] [NH_4^+] [PO_4^{3-}] = 3 \times 10^{-13} \text{ โมล/ลิตร ที่ } 25^\circ C$$

หมายเหตุ : ค่า K_{sp} คำนวณได้จากความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ของไอออนในสารละลาย



รูปที่ 2.7 รูปทรงของผลึกสตรูไวท์ (<http://www.cranfield.ac.uk/sas/water/scale/struvite.htm>.

Cited in <http://www.google.com>, [2007, March 17])

2.8.1 การควบคุมการเกิดสตรูไวท์

สตรูไวท์มักเกี่ยวข้องกับระบบไร้อากาศและมักเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการย่อยตะกอนเนื่องจากทำให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งทำให้เครื่องมือเกิดความเสียหายและการดำเนินงานของระบบที่อึดอัด เช่น เกิดปัญหาการอุดตันภายในท่อเนื่องจากการเกิดผลึกของสตรูไวท์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ทำให้การป้องกันการเกิดสตรูไวท์กลายเป็นประเด็นสำคัญในการจัดการและบำบัดตะกอน ซึ่งการควบคุมการเกิดสตรูไวท์สามารถทำได้โดยวิธีต่อไปนี้

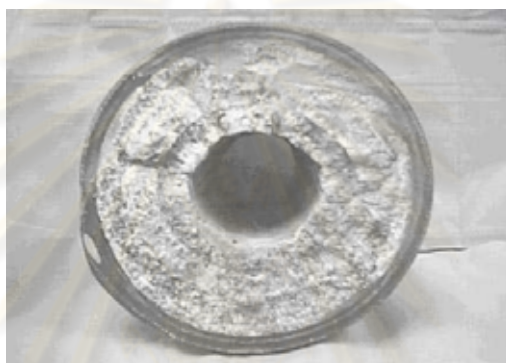
1. การลดค่าพีเอชเพื่อทำให้เกิดผลึกได้น้อยลง

จากการศึกษาของ Nelson และคณะ (2003) พบว่าการตกตะกอนของสตรูไวท์ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชเพราะปริมาณของทั้งแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชทั้งคู่ เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 7 ถึง 9 จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียมไอออนลดลงจาก 99% เป็น 64% (Stumm และ Morgan, 1970) แต่ทำให้ฟอสเฟตเพิ่มขึ้น 250 เท่า ทำให้เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจึงตกตะกอนของผลึกสตรูไวท์ได้มากขึ้น และเนื่องจากค่าพีเอชที่มีผลต่อฟอสเฟตจะส่งผลต่อ

การเกิดผลึกสตรูไวท์ได้มากกว่าค่าพีเอชที่มีผลต่อแอมโมเนียมไอออน ดังนั้นค่าพีเอชที่ทำให้ปริมาณของฟอสเฟตมากขึ้นจะทำให้เกิดผลึกสตรูไวท์ได้มากขึ้นด้วย ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าผลึกสตรูไวท์ที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดที่พีเอช 8.9-9.25

2. การเติมเกลือของเหล็ก(Fe^{3+})

การเติมเกลือของเหล็ก(Fe^{3+})เพื่อให้เหล็กไปจับกับฟอสเฟตกลายเป็น $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ แทน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน แม้ทำให้เกิดตะกอนในปริมาณที่มาก หรือสามารถกำจัดฟอสเฟตออกได้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณสารเคมีที่เติมเข้าไปก็ตาม โดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 0.38-0.48 โมลของฟอสเฟตที่ถูกกำจัดต่อโมลของเหล็กที่เติม



รูปที่ 2.8 สตรูไวท์ที่เกิดขึ้นภายในท่อ (<http://www.cranfield.ac.uk/sas/water/scale/struvite.htm>.

Cited in <http://www.google.com>, [2007, March 17])

2.8.2 ประโยชน์ของสตรูไวท์

สตรูไวท์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้เป็นปุ๋ยได้อย่างดี โดยแหล่งธรรมชาติของสตรูไวท์จะรวมถึงการสะสมทับถมกันของปุ๋ยธรรมชาติที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยมูลจากนก หรือปุ๋ยที่เกิดจากมูลวัวด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าเป็นแหล่งของไนโตรเจน แมกนีเซียม และฟอสเฟตสำหรับดินและพืชได้เป็นอย่างดี

การเกิดสตรูไวท์ไม่ได้ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบเพียงด้านเดียว ในบางครั้งก็เป็นผลดีต่อระบบเช่นกัน เนื่องจากการเกิดสตรูไวท์ต้องใช้แอมโมเนียมไอออนเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นบางระบบที่มีแอมโมเนียอยู่มาก สามารถลดระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียลงได้โดยการตกผลึกออกมาเป็นสตรูไวท์ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดไนโตรเจนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เพราะความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์มีน้อยลง

2.8.3 การสูญเสียองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ไวท์

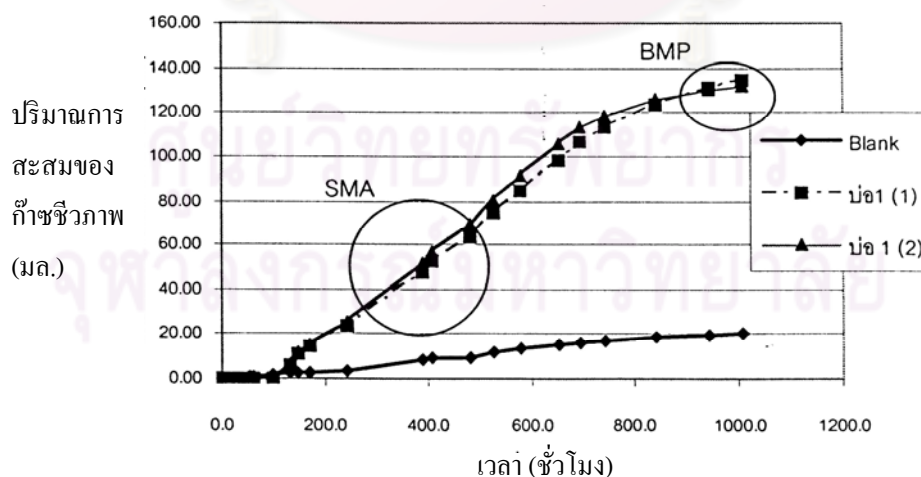
Sarkar (1991) พบว่าผลึกของสารประกอบสตรูไวท์จะมีความไม่คงตัวเมื่ออยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส โดยผลึกสตรูไวท์สามารถสูญเสียแอมโมเนียและโมเลกุลของน้ำไปบางส่วนหรือทั้งหมดได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ผลึกได้รับ

2.9 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) (คู่มือปฏิบัติการวิชา MIC 452, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

เอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) คือ การวัดอัตราการผลิตมีเทนของจุลชีพที่ใช้สารอินทรีย์ประเภทต่างๆ เป็นอาหาร ซึ่งกรดอะซิติกมักถูกนำมาใช้เป็นอาหารในการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ เพราะเป็นสารตัวกลาง(intermediate)ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ และยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของขั้นตอนการสร้างมีเทน โดยการคำนวณค่าเอสเอ็มเอ มีสูตรดังนี้

$$\text{เอสเอ็มเอ} = \frac{\text{อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซทั้งหมด (มล./วัน)} \times \text{เปอร์เซ็นต์มีเทน}}{\text{น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (กรัม)}}$$

หมายเหตุ : อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซทั้งหมดหาได้จากค่าความชัน(slope)ของกราฟดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างกราฟที่ใช้ในการหาค่าเอสเอ็มเอ

2.10 ค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสของระบบชีวภาพ (Ammary, 2004)

จุลชีพที่เกี่ยวข้องต่อการกำจัดคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบจากน้ำเสียจะมีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญเติบโตและการผลิตเซลล์ใหม่ โดยจุลชีพต้องการไนโตรเจนในการสร้างโปรตีน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) และกรดนิวคลีอิก (Maier, 1999a) ซึ่งสูตรทางเคมีของมวลจุลชีพชนิดไร้อากาศ คือ $C_5H_7O_2NP_{0.06}S_{0.1}$ (Speece, 1996)

การบำบัดน้ำเสียค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P) ของน้ำเสียที่จะนำมาบำบัดควรมีค่าประมาณ 100:5:1 สำหรับการบำบัดแบบใช้อากาศ และมีค่าประมาณ 100:2:0.4 สำหรับการบำบัดแบบไร้อากาศ (Metcalf และ Eddy, 1991 ; USEPA, 1995 ; Henze และคณะ, 1997 ; Maier, 1999a) โดยในการบำบัดแบบไร้อากาศจะมีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยกว่าการบำบัดแบบใช้อากาศ เพราะในความเป็นจริงการบำบัดแบบไร้อากาศจะผลิตสลัดจ์ (sludge) ได้แค่ 20% ของการบำบัดแบบใช้อากาศ

เนื่องจากการเจริญเติบโตและการผลิตเซลล์ใหม่ของจุลชีพมีความต้องการไนโตรเจนในการสร้างโปรตีน และเป็นส่วนประกอบต่างๆของเซลล์ อีกทั้งสารบางชนิดที่มีอยู่ในเซลล์ก็มีส่วนประกอบของโปรตีน เช่น กรดนิวคลีอิก โปรตีนพลาสซึม ดังนั้นในบางระบบที่จุลชีพเกิดการย่อยสลายตัวเอง (cell lysis) ย่อมส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียมีมากขึ้น

2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Boopathy และ Sievers (1991) ทำการพัฒนาถังปฏิกรณ์ที่มีแผ่นกั้นเพื่อบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกรที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งมีค่าของแข็งทั้งหมด 51.7 กรัมต่อลิตร มีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่เวลากักเก็บ 15 วัน ได้ค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 70% และ 80% กับค่าการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 60% และ 74% สำหรับระบบที่มี 2 และ 3 ห้องตามลำดับ จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีจำนวนห้องมากขึ้นจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้มากขึ้น

Fang และ Chan (1997) ศึกษาความเป็นพิษจากฟินอลที่มีต่อเม็ดตะกอนจุลชีพในชั้นสลัดจ์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) ที่ใช้บำบัดน้ำเสียที่มีอาหารต่างชนิดกัน พบว่าภายใต้สภาวะที่รับอัตราการระบรทุกอย่างกระตุ้นหันหันทำให้ค่าเอสเอ็มเอของเม็ดตะกอนจุลชีพลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของฟินอลเพิ่มขึ้น โดยทดสอบกับเม็ดตะกอนจุลชีพที่ใช้ย่อยอาหาร 3 ชนิด คือ อะซิเตท (acetate) โพรไพโอเนท (propionate) และเบนโซเอท (benzoate) ซึ่ง

ถ้าได้รับฟีนอลต่ำกว่าระดับความเข้มข้นที่ทนได้ก็จะไม่เกิดการยับยั้งต่อการทำงานของจุลชีพ (ระดับความเข้มข้นของฟีนอลที่ทนได้ต่อตะกอนจุลชีพที่ย่อยสลายอะซิเตท โพรไฟโอเนท และเบนโซเอท คือ 1,100–1,700 มากกว่า 85 และ 1,050–1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) แต่ถ้าได้รับมากกว่านี้จะเกิดการยับยั้งเกือบ 100% จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าถ้าระบบบำบัดน้ำเสียมีสารที่มีความเป็นพิษต่อจุลชีพเกินกว่าระดับความเข้มข้นที่ทนได้ จะทำให้เกิดการยับยั้งต่อการทำงานของจุลชีพที่สร้างมีเทนได้

Boyle และคณะ (1985) พบว่าระบบที่รับน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์ปีกที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 4,000 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ค่าเวลาดักเก็บซลศาสตร์ เท่ากับ 20 และ 30 วัน ไม่เกิดการยับยั้งการสร้างมีเทน แต่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย 6,280 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ค่าเวลาดักเก็บซลศาสตร์ เท่ากับ 30 วันพบว่าเกิดการเกิดมีเทนลดลง และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 6,500 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ที่เวลาดักเก็บซลศาสตร์ 20 วัน พบว่าการทำลายของแข็งระเหยได้ลดลง เกิดกรดมากขึ้น จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียให้มากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อระบบ คือทำให้เกิดมีเทนได้น้อยลง กรดเกิดการสะสมตัวมากขึ้น การทำลายของแข็งระเหยได้ลดลง ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงลดลงตามไปด้วย

Wang และ Banks (2003) ทำการศึกษาการบำบัดของเสียจากโรงฆ่าสัตว์พบว่าการใช้ถังย่อยแบบธรรมดาจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบต่ำ เนื่องจากเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid, VFA) และมีแอมโมเนียในปริมาณที่มาก ทำให้ค่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าต่ำ ระบบจึงไม่มีเสถียรภาพ นอกจากนี้การสะสมของแอมโมเนียในโตรเจนจะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนโดยส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลชีพที่สร้างมีเทน ทำให้ปริมาณของกรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้น จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการที่ระบบมีแอมโมเนียในปริมาณที่มากจะทำให้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลงจึงไม่เหมาะต่อการทำงานของจุลชีพในระบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง

Ince, Anderson และ Kasapgil (1995) พบว่าค่าเอสเอ็มเอเป็นค่าที่ใช้วิเคราะห์เพื่อดูอัตราการสลายอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเริ่มต้นเดินระบบของการกรองอัลตราเมมเบรนแบบไหลตามขวางชนิดใ้ร้อากาศ (Crossflow Ultrafiltration Membrane Anaerobic Reactor System, CUMAR) โดยในสัปดาห์แรกการวิเคราะห์พบว่าค่าอัตราการสลายอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้การกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นน้อยมาก คือ 14% ดังนั้นจึงใช้ค่าอัตราการสลายอินทรีย์ 0.7 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าการกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 65% แต่ที่ค่าอัตราการสลายอินทรีย์มากกว่า 1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้กำจัดซีโอดีได้มากกว่า 98% หรือกำจัดบีโอดีได้เกือบ 100% แสดงว่าระบบ CUMAR สามารถรับอัตรา

ภาระบรรทุสารอินทรีย์สูงๆได้ จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอสามารถจะบ่งบอกถึงค่าอัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อระบบที่ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี โดยใช้การทำงานของจุลชีพสร้างมีเทนเป็นตัวชี้วัด

Maqueda, Perez Rodriguez และ Lebrato (1994) ทำการศึกษาถึงรูปแบบการสร้างผลึกและลักษณะของผลึกสตรูไวท์ในถังย่อยแบบไร้อากาศภายใต้สภาวะการป้อนสารต่างชนิดกัน ซึ่งสตรูไวท์สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีไอออนของแมกนีเซียม แอมโมเนียม และฟอสเฟต โดยแอมโมเนียมอาจมาจากการย่อยสลายโปรตีน ฟอสเฟตมาจากจุลชีพ และแมกนีเซียมอาจมาจากการเติมลงไปในถังปฏิกรณ์ จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าถ้าน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์มีไอออนของแมกนีเซียม แอมโมเนียม และฟอสเฟตอยู่ ก็สามารถเกิดผลึกสตรูไวท์ได้

Sarkar (1991) ทำการศึกษาลักษณะผลึกของสารประกอบต่างๆ สตรูไวท์ (struvite : hexahydrate) เป็นสารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ การกำจัดน้ำออกจากผลึกทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากนั้นจะรวมกับโมเลกุลของน้ำอีกทีเมื่อปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งการทดลองที่ใช้ความร้อนพบว่าสตรูไวท์จะมีความไม่คงตัวเมื่ออยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส โดยผลึกสตรูไวท์สามารถสูญเสียแอมโมเนียมและโมเลกุลของน้ำไปบางส่วนหรือทั้งหมดได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ได้รับ ผลผลิตที่เกิดขึ้นหลังจากมีการสลายตัวของผลึกไปบางส่วนแล้วเรียกว่านิวเบอร์ไท์ (newberyite : trihydrate) อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนกับผลึกสตรูไวท์สามารถเกิดสารประกอบได้อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่าดิทมาร์ไท์ (dittmarite : monohydrate) ซึ่งมีความคงตัวมากกว่าสตรูไวท์ การศึกษางานวิจัยนี้พบว่าการให้ความร้อนกับของแข็งที่เกิดขึ้นจากระบบที่มีสารประกอบสตรูไวท์ โดยมีความต้องการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด หรือของแข็งระเหยได้ ซึ่งวิธีในการวิเคราะห์ต้องมีการให้ความร้อนกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 103-105 และ 550 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขั้นตอนของการนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักที่หายไป อาจพบว่าน้ำหนักที่หายไปส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการสลายตัวของผลึกสตรูไวท์ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวิเคราะห์ได้

Uludag-Demirer และคณะ (2006) พบว่าถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศที่ใช้ย่อยปุ๋ยที่ทำจากมูลสัตว์สามารถกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนในระบบได้น้อย จึงส่งผลเสียต่อระบบการย่อยแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion, AD) ทำให้มีการพัฒนาระบบไร้อากาศเพื่อให้สามารถลดระดับของแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำทิ้ง (effluent) ได้ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น วิธีหนึ่งในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำทิ้ง คือ การทำให้เกิดการตกตะกอนของผลึกแอมโมเนียมแมกนีเซียม และฟอสเฟต ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) ที่เรียกว่าสตรูไวท์ ซึ่งสตรูไวท์มีประโยชน์ต่อพืชอย่างมากเพราะเป็นแหล่งของสารอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัส การศึกษางานวิจัยนี้พบว่า

การทำให้เกิดศัตรูไวที่จะลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดไนโตรเจนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เพราะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ส่งผลกระทบต่อจุลชีพลดลง ผลที่ได้คือระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้น 19% และกำจัดแอมโมเนีย(NH₃)ได้เพิ่มขึ้น 11% โดยการเติมผลึกแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl₂.6H₂O) 1,750 มิลลิกรัมต่อลิตรให้กับถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ

Soo-Jung Jung และคณะ (2004) ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีในการลดปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าการละลายน้ำของสลัดจ์สามารถปล่อยสารประกอบคาร์บอน และสารประกอบไนโตรเจนออกมา ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ถูกใช้ได้อย่างรวดเร็วโดยจุลชีพเนื่องจากมีความต้องการพลังงาน โดยสารประกอบพวกไนโตรเจนที่อยู่ภายในเซลล์จะถูกปล่อยออกมาด้วยวิธีไลซิส สุดท้ายสารประกอบเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากระบบอย่างสมบูรณ์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม แต่ถ้าสภาวะของระบบไม่เหมาะสมสารเหล่านี้ก็จะสะสมอยู่ในระบบ การสะสมของแอมโมเนียพบว่าเป็นผลมาจากการทำงานของน้ำย่อยโปรตีนซึ่งทำการไฮโดรไลซิสโปรตีนที่เกิดจากเซลล์ไลซิส จากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการที่ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดมีค่ามากกว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ อาจเกิดเนื่องจากเซลล์จุลชีพในระบบเกิดการไลซิสขึ้น จึงปล่อยสารประกอบไนโตรเจนออกมาในน้ำเสีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในด้านการกำจัดซีโอดี โดยทำการทดลองเปรียบเทียบข้อมูลที่ไ้ระหว่างสถานะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียกับสถานะที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้งในแต่ละห้องของระบบและน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยถ้าผลที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบก็จะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองหลัก ดังนี้

การทดลองที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ทำการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ(โดยเทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้ากับซีโอดีน้ำออก)ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ และพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบและซีโอดีของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีค่าค่อนข้างคงที่ร่วมด้วย เพื่อให้ระบบมีความคงตัวพร้อมที่จะใช้ศึกษาผลที่เกิดจากสถานะต่างๆที่กำหนดขึ้นในงานวิจัย โดยระหว่างนี้ทำการเก็บน้ำเสียในแต่ละห้องและน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

การทดลองที่ 2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

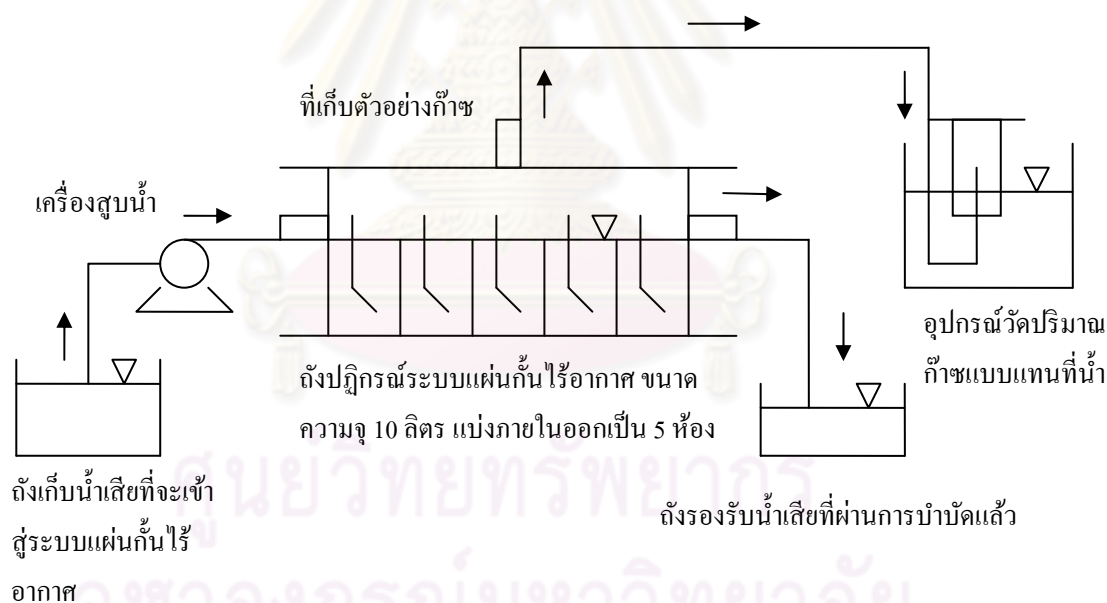
หลังจากระบบได้เข้าสู่สภาวะคงตัวจากการทดลองที่ 1 แล้ว ได้มีการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียให้กับระบบอีกเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน จากนั้นจึงป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน และสุดท้ายทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนเป็นระยะเวลาประมาณ 15 วัน ซึ่งในระหว่างการดำเนินระบบของแต่ละช่วงทำการเก็บน้ำเสียในแต่ละห้องและน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเมื่อป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย

การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ(Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์ การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์(struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีไอดีต่อไนโตรเจน ต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูล 3 พารามิเตอร์ข้างต้นทั้งในช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย แล้วทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 สภาวะ เพื่อหาสาเหตุของผลกระทบต่อการทำงานของระบบ แผ่นกั้นไร้อากาศจากการป้อนแอมโมเนีย

3.2 การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการน้ำเสีย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการติดตั้งระบบ บำบัดน้ำเสียของงานวิจัยนี้มีแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 3.1 และดังภาพถ่ายที่แสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งมี ส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายของการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย

ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัย

จากแผนภาพการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่แสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (รูปที่ 3.3(ก) และรูปที่ 3.4) ทำจากอะครีลิกขนาดความจุ 10 ลิตร แบ่งภายในออกเป็น 5 ห้อง จำนวน 1 ถัง ที่มีจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและของแข็งในแต่ละห้อง (รูปที่ 3.3(ข)) และจุดเก็บตัวอย่างก๊าซ (รูปที่ 3.3(ค)) อยู่ที่ด้านบนของฝาถังปฏิกรณ์
2. เครื่องสูบน้ำชนิด peristaltic (รูปที่ 3.3(ง)) จำนวน 1 เครื่อง
3. อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ (รูปที่ 3.3(จ)) จำนวน 1 ชุด
4. ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (รูปที่ 3.3(ฉ)) จำนวน 1 ถัง
5. ถังรองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (รูปที่ 3.3(ช)) จำนวน 1 ถัง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

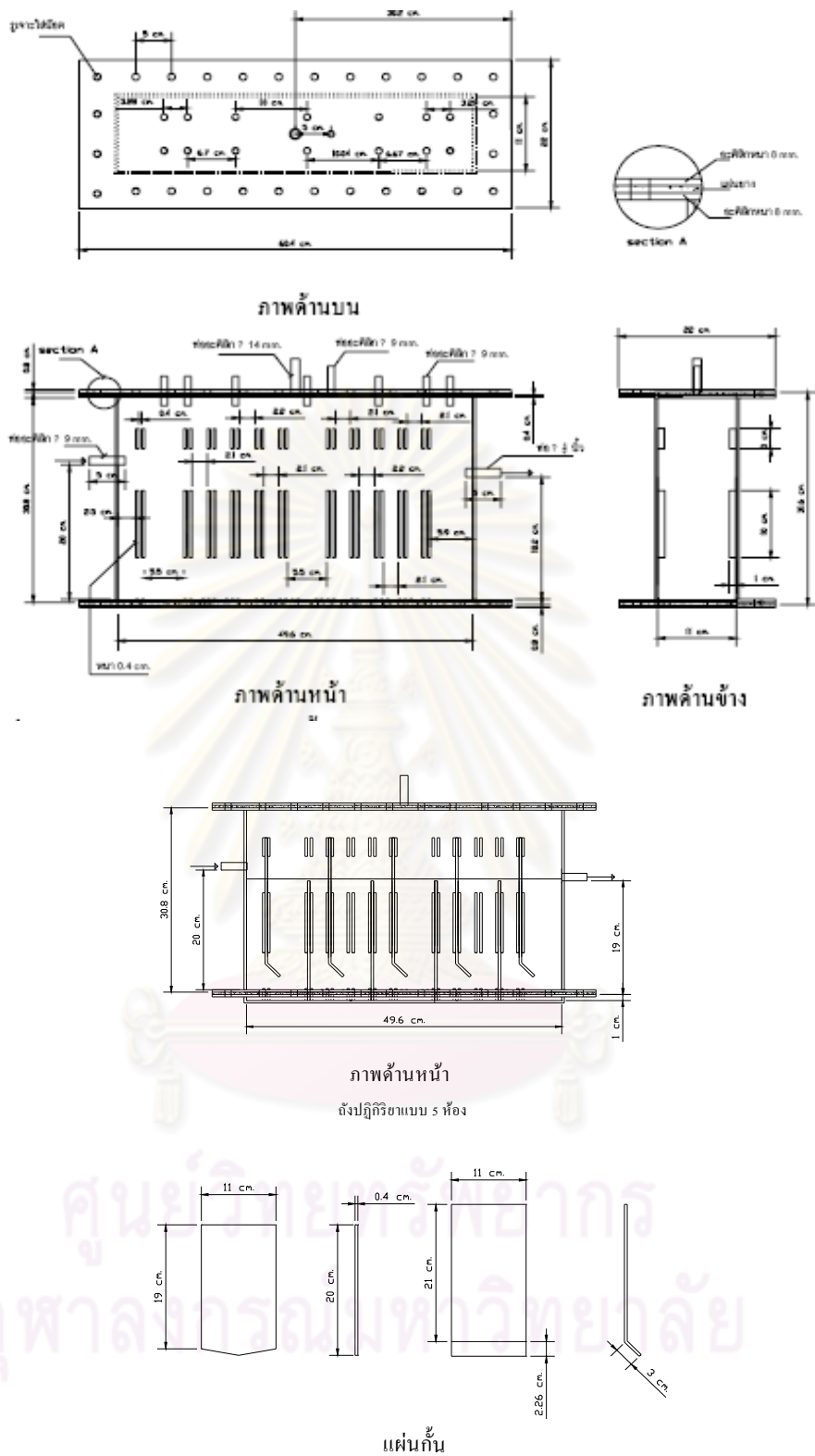


(ฉ)



(ช)

- รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในงานวิจัย ดังนี้
- (ก) ถังปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศทำจากอะครีลิก ความจุ 10 ลิตร แบ่งภายในเป็น 5 ห้อง
 - (ข) จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและของแข็งในแต่ละห้องอยู่ที่ด้านบนของฝาถังปฏิกรณ์
 - (ค) จุดเก็บตัวอย่างก๊าซอยู่ที่ด้านบนของฝาถังปฏิกรณ์
 - (ง) เครื่องสูบน้ำชนิด peristaltic
 - (จ) อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ
 - (ฉ) ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ
 - (ช) ถังรองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว



รูปที่ 3.4 ตั้งปฏิกรณ์ระบบแผ่นกันไร้อากาศ

3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งสารอินทรีย์จากน้ำตาลทราย โดยมีค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนีย ส่วนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียก็ใช้ค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตรเช่นกันและมีค่าแอมโมเนียในโตรเจน 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(แอมโมเนียมคลอไรด์) ส่วนสารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส คือ ยูเรีย และ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เพื่อให้มีค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 2 : 0.4 ซึ่งทำการปรับค่าพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบให้มีค่าประมาณ 6.8-7.2 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไบคาร์บอเนต (ค่าพีเอชที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 6.8-7.2 ซึ่งอ้างอิงมาจากค่าพีเอชที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ ส่วนค่าพีเอชที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ คือ 6.6-7.6 ซึ่งอ้างอิงมาจากค่าพีเอชที่ใช้ในการควบคุมระบบขนาดใหญ่) ส่วนประกอบต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Speece, 1996)

สารเคมี	ความเข้มข้น (มก./ลิตร)
$C_{12}H_{22}O_{11}$	2,000
$(NH_2)_2CO$	94.28
KH_2PO_4	38.66
$NaHCO_3$	ปริมาณที่ใส่ตามการปรับให้ มีค่าพีเอช 6.8-7.2
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	46.92
$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	0.066
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.0066
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	0.0088
NH_4Cl	*

หมายเหตุ : *ความเข้มข้นแอมโมเนียมคลอไรด์ในช่วงมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน คือ 13,362.67 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแอมโมเนียมคลอไรด์

ความเข้มข้นแอมโมเนียมคลอไรด์ในช่วงมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน คือ 17,180.67 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแอมโมเนียมคลอไรด์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นแต่ละครั้งจะนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าซีโอดี สภาพต่าง พีเอช และไออาร์พีสำหรับในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย ส่วนช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียจะวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของแอมโมเนีย ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมเพิ่มเติมเข้ามา โดยทำการวิเคราะห์ทุกครั้งที่มีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่ ซึ่งทำการเตรียมใหม่ในทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์ (ยกเว้นค่าพีเอชที่ต้องทำการวัดทุกวันเพื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเข้าระบบให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2) ความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์

พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ซีโอดี	วันจันทร์ พุธ และศุกร์
สภาพต่าง	วันจันทร์ พุธ และศุกร์
พีเอช	ทุกวัน
ไออาร์พี	วันจันทร์ พุธ และศุกร์
แอมโมเนีย	วันจันทร์ พุธ และศุกร์
ทีเคเอ็น	วันจันทร์ พุธ และศุกร์
ฟอสฟอรัส	วันจันทร์ พุธ และศุกร์
แมกนีเซียม	วันจันทร์ พุธ และศุกร์

3.5 หัวเชื้อ

หัวเชื้อที่ใช้ในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศของงานวิจัยนี้ นำมาจากถังหมักผักแบบไร้อากาศของบริษัท แชน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหัวเชื้อก่อนนำไปใช้ในระบบ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ซีโอดีไม่กรอง ซีโอดีกรองของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ และพีเอช โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หัวเชื้อแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

3.6 จุดเก็บตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสีย

ในงานวิจัยนี้ต้องการเก็บข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย ตะกอนจุลชีพ และ ก๊าซ ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสียมียังต่อไปนี้

1. เก็บน้ำเสียในถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ
2. เก็บน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ
3. เก็บตะกอนจุลชีพในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ
4. เก็บน้ำเสียในถังรองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว
5. เก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบจากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซ ซึ่งอยู่ด้านบนของฝาลังปฏิกรณ์

3.7 วิธีดำเนินการวิจัย

3.7.1 การทดลองที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบมีความคงตัวพร้อมที่จะใช้ศึกษาผลที่เกิดจากสภาวะต่างๆที่กำหนดขึ้นในงานวิจัย ซึ่งพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการบ่งบอกว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ (โดยเทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้ากับซีโอดีน้ำออก) ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ และพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบและซีโอดีของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีค่าค่อนข้างคงที่ร่วมด้วย โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.5 และตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เริ่มต้นเดินระบบด้วยการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีส่วนประกอบดังตารางที่ 3.1 เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่มีหัวเชื้อ 1 ลิตรผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตรในแต่ละห้อง โดยเริ่มป้อนด้วยอัตราการไหล 1.728 ลิตรต่อวัน (อัตราการไหลต่ำสุดของเครื่องสูบน้ำ)

2. ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ซึ่งในระหว่างนี้ต้องการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

- วิเคราะห์น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบโดยมีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.2
- วิเคราะห์น้ำเสียและตะกอนจุลชีพในแต่ละห้อง
- วิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว
- วิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ

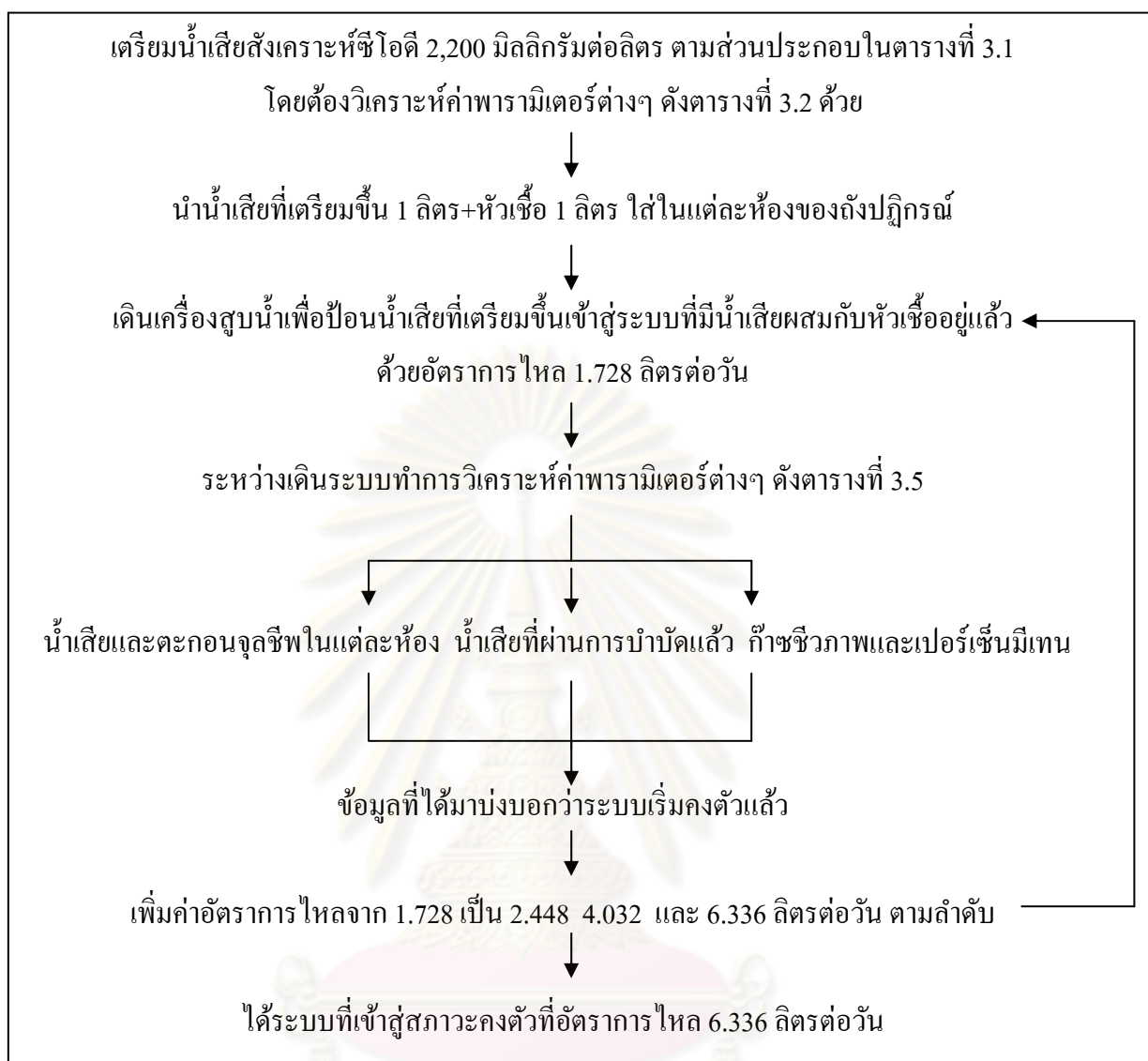
} มีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.5

3.เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาแล้วพบว่าระบบเริ่มมีความคงตัวแล้วให้ทำการเพิ่มค่าอัตราการไหลขึ้นจาก 1.728 เป็น 2.448 4.032 และ 6.336 ลิตรต่อวัน ตามลำดับไปเรื่อยๆ ซึ่งค่าเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของระบบที่แต่ละค่าอัตราการไหล แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของระบบและค่าอัตราการไหล

อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อวัน)	เวลากักเก็บทางชลศาสตร์ (วัน)
1.728	5.79
2.448	4.08
4.032	2.48
6.336	1.58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของการทดลองที่ 1
 ศูนย์วิจัยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวแปรในการทดลองที่ 1

ตัวแปรควบคุม	ช่วงที่ทำการควบคุม
1.ซีโอดีของน้ำเสียดังเคราะห์ 2.พีเอชของน้ำเสียดังเคราะห์	2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร 6.8-7.2
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1.ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแผ่นกั้น ไร้อากาศ	ซีโอดี กรดไขมันระเหย สภาพต่าง พีเอช ความต่างศักย์โออาร์พี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ ปริมาณก๊าซชีวภาพ เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

ตารางที่ 3.5 แสดงจุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	ในแต่ละห้อง	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว
ซีโอดี	F _๗	F _๗
กรดไขมันระเหย	F _๗	F _๗
สภาพต่าง	F _๗	F _๗
พีเอช	ก	ก
ความต่างศักย์โออาร์พี	ก	ก
ของแข็งทั้งหมด	ก	-
ของแข็งระเหยได้	ค	-
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	*ก	-
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	*ง	-

หมายเหตุ : ก หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวัน

*ก หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวัน โดยเป็นตัวอย่างรวมของทั้งระบบ ไม่เก็บแยกเป็นของแต่ละห้อง

F_๗ หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่กรองแล้ว

ค หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุก 2 สัปดาห์

*ง หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าในช่วงก่อนระบบคงตัว 1 ครั้ง และหลังระบบคงตัว 1 ครั้ง โดยเป็นตัวอย่างรวมของทั้งระบบ ไม่เก็บแยกเป็นของแต่ละห้อง

3.7.2 การทดลองที่ 2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเมื่อป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย มีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.6 และตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เมื่อได้ระบบที่เข้าสู่สภาวะคงตัวที่อัตราการไหล 6.336 ลิตรต่อวันจากการทดลองที่ 1 แล้ว ให้ทำการป้อนน้ำเสียลักษณะเดิม (น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย) เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศอย่างต่อเนื่องอีกประมาณ 3 เดือน

2. ในระหว่างทำการทดลองข้อที่ 1 ให้ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

- วิเคราะห์น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบโดยมีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.2
 - วิเคราะห์น้ำเสียและตะกอนจุลชีพในแต่ละห้อง
 - วิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว
 - วิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ
 - วิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA)
- } มีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.7
- } วิเคราะห์จากตัวอย่างในแต่ละห้อง
- } ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.7.3
- การเกิดผลึกของสารประกอบ สตรูไวท์ (struvite)
ตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

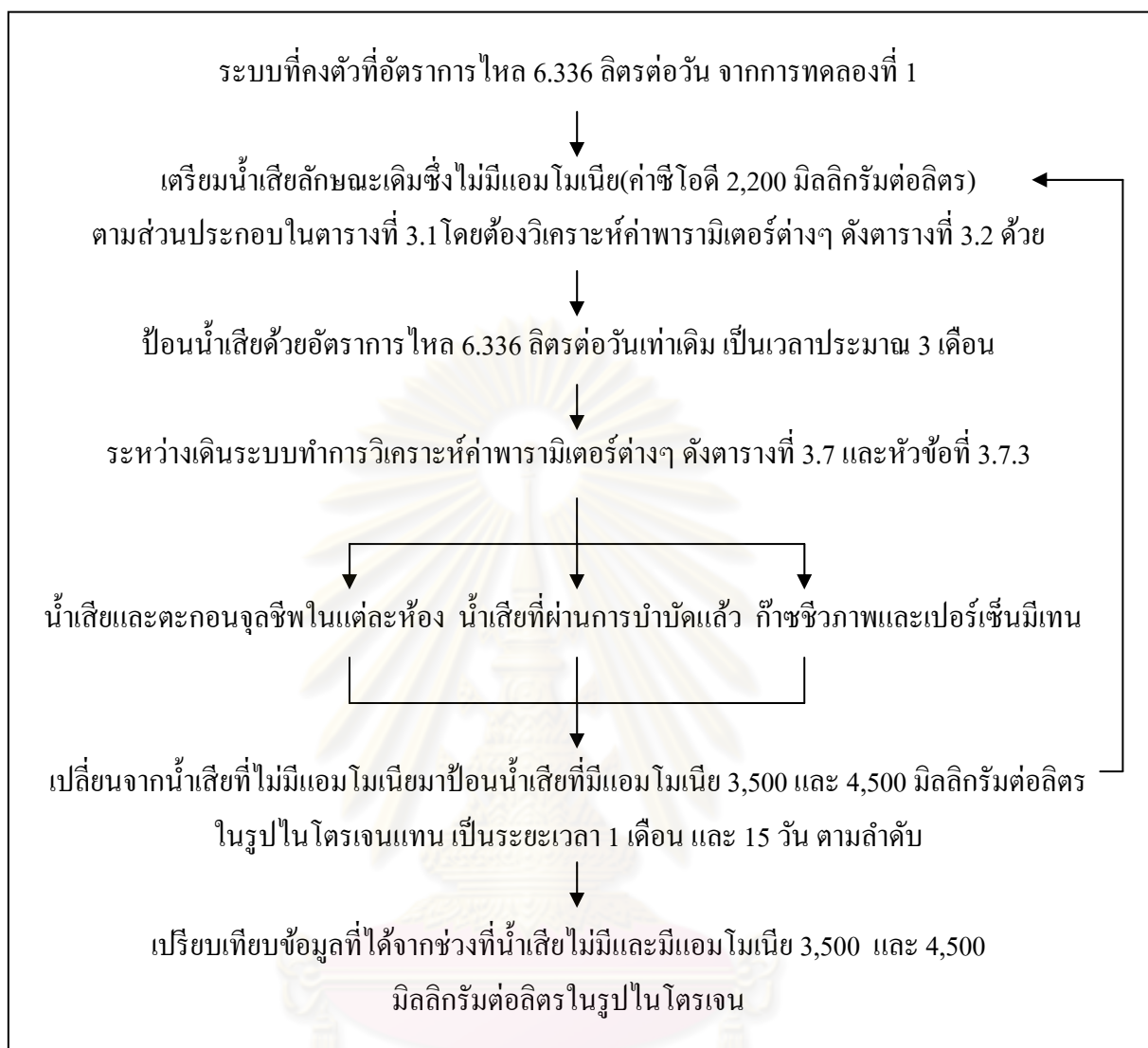
3. เมื่อป้อนน้ำเสียไม่มีแอมโมเนียครบ 3 เดือน ให้เปลี่ยนมาป้อนน้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจนแทน โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตรเหมือนเดิม ส่วนประกอบดังตารางที่ 3.1 อัตราการไหลใช้ค่าเท่าเดิมคือ 6.336 ลิตรต่อวัน

4. ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ประมาณ 1 เดือน ซึ่งในระหว่างนี้ต้องทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เหมือนในข้อที่ 2

5. เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจนครบ 1 เดือน ให้เปลี่ยนมาป้อนน้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจนแทน โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าซีโอดี 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตรเหมือนเดิม ส่วนประกอบดังตารางที่ 3.1 อัตราการไหลใช้ค่าเท่าเดิมคือ 6.336 ลิตรต่อวัน

6. ทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ประมาณ 15 วัน ซึ่งในระหว่างนี้ต้องทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เหมือนในข้อที่ 2

7. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนของการทดลองที่ 2

ตารางที่ 3.6 แสดงตัวแปรในการทดลองที่ 2

ตัวแปรควบคุม	ช่วงที่ทำการควบคุม
1.ซีโอดีของน้ำเสียดังเคราะห์ 2.พีเอชของน้ำเสียดังเคราะห์	2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร 6.8-7.2
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	ช่วงที่ทำการเปลี่ยนแปลง
1.ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน	0 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจน
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1.ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแผ่นกั้น ไว้อากาศ	ซีโอดี กรดไขมันระเหย สภาพต่าง พีเอช ความต่างศักย์ไออาร์พี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ ปริมาณก๊าซชีวภาพ เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน แอมโมเนียในโตรเจน ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด ออร์โธฟอสเฟต และแมกนีเซียม
2. ผลกระทบที่เกิดจากแอมโมเนีย	ค่าเอสเอ็มเอ การเกิดผลึกของสารประกอบ สตรูไวท์ และสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อ ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส

ตารางที่ 3.7 แสดงจุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	ในแต่ละห้อง	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว
ซีโอดี	F _จ	F _จ
กรดไขมันระเหย	F _จ	F _จ
สภาพด่าง	F _จ	F _จ
พีเอช	ก	ก
ความต่างศักย์โออาร์พี	ก	ก
ของแข็งทั้งหมด	ก	-
ของแข็งระเหยได้	ก	-
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	*ก	-
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	*ง	-
แอมโมเนียไนโตรเจน	F _จ	F _จ
ทีเคเอ็น	F _จ	F _จ
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	F _จ	F _จ
ออร์โทฟอสเฟต	F _จ	F _จ
แมกนีเซียม	F _จ	F _จ

หมายเหตุ : ก หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวัน

*ก หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวัน โดยเป็นตัวอย่างรวมของทั้งระบบ ไม่เก็บแยกเป็นของแต่ละห้อง

F_จ หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่กรองแล้ว

ค หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุก 2 สัปดาห์

*ง หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าในช่วงก่อนระบบคงตัว 1 ครั้ง และหลังระบบคงตัว 1 ครั้ง โดยเป็นตัวอย่างรวมของทั้งระบบ ไม่เก็บแยกเป็นของแต่ละห้อง

F_จ หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่กรองแล้ว

3.7.3 การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีไอดี ต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้แอมโมเนียส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ซึ่งทั้ง 3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และขั้นตอนในการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

3.7.3.1 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนของจุลชีพสร้างมีเทนหลังจากได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียเทียบกับช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.8 จุดเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.9 ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีไอดีจากกรดอะซิติก 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร พร้อมทำการปรับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าประมาณ 7-7.2 โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต

2. นำตะกอนจุลชีพจาก 5 ห้องของถังปฏิกรณ์ ใส่ในขวดซีรัม (serum bottle) ขนาด 100 มล. โดยใส่ตะกอนจุลชีพขวดละ 20 มิลลิลิตร

3. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นในข้อที่ 1 ใส่ในขวดซีรัมขวดละ 40 มิลลิลิตร

4. ไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากขวดโดยการพ่นก๊าซผสมของไนโตรเจน(N_2) กับคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) ในสัดส่วน 70 : 30 ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

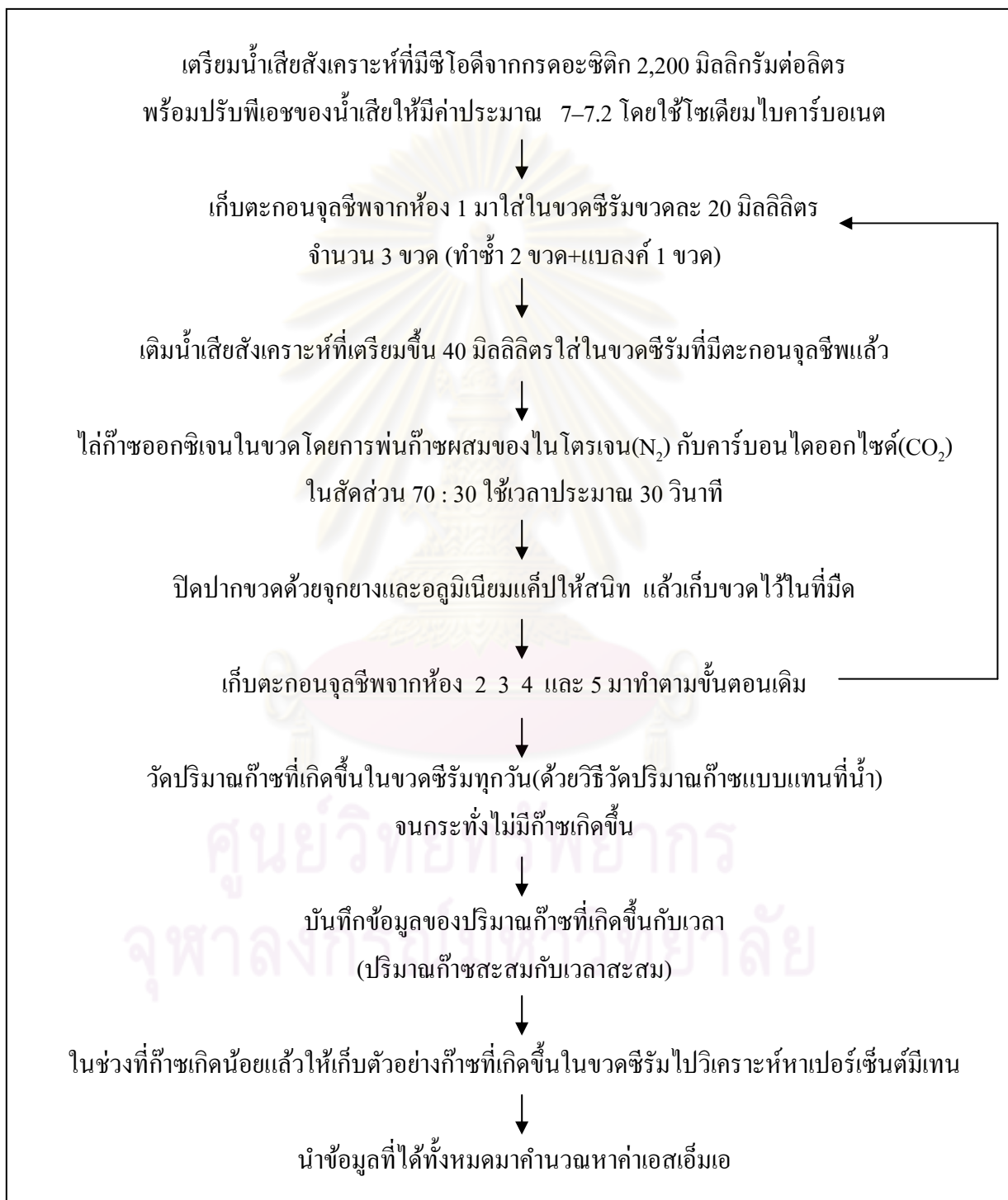
5. ทำการปิดปากขวดด้วยจุกยางและอลูมิเนียมเค็ปให้สนิทเพื่อป้องกันอากาศเข้าไปในขวด

6. นำขวดซีรัมไปเก็บไว้ในที่มืด แล้วนำออกมาวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในขวดซีรัมทุกวัน(ด้วยวิธีวัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ) จนกระทั่งไม่มีก๊าซเกิดขึ้น

7. บันทึกข้อมูลของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น(บันทึกเป็นปริมาณก๊าซสะสม) กับเวลา(บันทึกเป็นเวลาสะสม)

8. ในระหว่างขั้นตอนการวัดปริมาณก๊าซให้เก็บตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นในขวดซีรัมไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์มีเทน(CH_4) ด้วย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าเอสเอ็มเอ

- หมายเหตุ : 1. ตะกอนจุลชีพในแต่ละห้องทำการวิเคราะห์ 2 ชั่วโมง
2. ตะกอนจุลชีพในแต่ละห้องทำขวดแบลงค์ด้วย 1 ขวด
3. ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซในขวดซีรัมไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์มีเทน(CH_4) คือ ช่วงที่มีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นในขวดซีรัมน้อยแล้ว



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนของการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ

ตารางที่ 3.8 แสดงตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ

ตัวแปรควบคุม	ช่วงที่ทำการควบคุม
1.ซีไอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดทดลอง 2.ซีไอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดเบลนค์ 3.พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์	2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร 0 มิลลิกรัมต่อลิตร 7-7.2
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	ช่วงที่ทำการเปลี่ยนแปลง
1.ค่าเอสเอ็มเอของตะกอนจุลชีพในแต่ละห้อง	ห้อง 1 2 3 4 และ 5
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1.ความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนของจุลชีพสร้างมีเทน	ปริมาณก๊าซชีวภาพ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

ตารางที่ 3.9 แสดงจุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ

พารามิเตอร์	ในขวดซีรัม
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ก
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	ข

หมายเหตุ : ก หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทุกวัน

ข หมายถึง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าเฉพาะในช่วงที่ก๊าซชีวภาพเกิดน้อยแล้ว โดยวิเคราะห์เพียง 1 ครั้ง

3.7.3.2 การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดูแนวโน้มของการสร้างผลึกของสารประกอบสตรูไวท์หลังจากรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไปแล้ว โดยการวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงแนวโน้มของการเกิดผลึกเท่านั้น ไม่สามารถบอกถึงปริมาณที่เกิดได้ เนื่องจากตะกอนที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศมีลักษณะเป็นของเหลวข้นซึ่งจะทำให้ตัวอย่างสูญเสียความเป็นผลึกไป ส่งผลให้ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณการเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ด้วยเครื่องมือ X-Ray Diffractometer (XRD) ได้ เพราะตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือชนิดนี้ต้องมีความเป็นผลึก ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังต่อไปนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอมโมเนีย แมกนีเซียม และฟอสเฟต (วิเคราะห์ไว้แล้วในการทดลองที่ 2) ในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน มาเปรียบเทียบกัน

2. กรณีที่พบว่าในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียความเข้มข้นของอิออนทั้ง 3 ชนิดลดลงในเวลาเดียวกันจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย แสดงว่ามีแนวโน้มที่เกิดการสร้างผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ขึ้นหลังจากป้อนแอมโมเนียเข้าสู่ระบบแล้ว

3. กรณีที่มีแนวโน้มของการสร้างผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ ให้ตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เหลือในน้ำเสียหลังจากเกิดการสร้างผลึกสตรูไวท์แล้ว เพื่อดูว่ามีสารอาหารเหลือในน้ำเสียเพียงพอหรือไม่ ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลอยู่ในหัวข้อที่ 3.7.3.3

3.7.3.3 การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าน้ำเสียในระบบมีค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเหมาะสมกับการบำบัดแบบไร้อากาศหรือไม่หลังจากป้อนแอมโมเนียเข้าสู่ระบบไปแล้ว และตรวจสอบว่าหลังจากมีแนวโน้มของการสร้างผลึกสารประกอบสตรูไวท์ (หัวข้อที่ 3.7.3.2) แล้วในน้ำเสียมีสารอาหารเหลือเพียงพอหรือไม่ ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นซีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด (วิเคราะห์ไว้แล้วในการทดลองที่ 2) ในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน มาคำนวณเป็นสัดส่วนของซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส

2. นำค่าสัดส่วนของซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ได้ในข้อที่ 1 มาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี 100 : 2 : 0.4 เพื่อดูว่าค่าสัดส่วนที่ได้ในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียเหมาะสมกับการบำบัดแบบไร้อากาศหรือไม่

3. นำค่าสัดส่วนของซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ได้ในข้อที่ 1 มาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี 100 : 2 : 0.4 เพื่อดูว่าในน้ำเสียเหลือสารอาหาร (ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส) เพียงพอหรือไม่ หลังจากมีการใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียไปสร้างสารประกอบสตรูไวท์แล้ว

3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ตามวิธีใน Standard Methods ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ของแต่ละค่าพารามิเตอร์ ได้แสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงวิธีที่ใช้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตาม standard methods

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ซีโอดี	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.5220C (Closed Reflux, Titrimetric Method)
กรดไขมันระเหย	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.5560
สภาพด่าง	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.2320B (Titration Method)
พีเอช	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.4500-H ⁺ B (Electrometric Method)
ความต่างศักย์โออาร์พี	ORP Meter
ของแข็งทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.2540B (Dried at 103-105°C)
ของแข็งระเหยได้	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.2540E (Ignited at 550°C)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	Liquid Volume Displacement
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.2720C (Gas Chromatographic Method)
แอมโมเนียไนโตรเจน	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.4500-NH ₃ B (Preliminary Distillation Step) and then No.4500- NH ₃ E (Titrimetric Method)
ทีเคเอ็น	Digestion Distillation and then Titrimetric Method
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.4500-P C (Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method)
ออร์โทฟอสเฟต	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.4500-P C (Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method)
แมกนีเซียม	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater No.3111 (Metals by Atomic Absorption)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองหลัก คือ

- 4.1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว
- 4.2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ
- 4.3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

โดยในการทดลองช่วงที่ 4.1 และ 4.2 จะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ น้ำเสียที่ออกจากระบบ และน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ส่วนการทดลองช่วงที่ 4.3 จะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ดังกล่าวไว้ข้างต้นในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ใน 3 การทดลองมีดังต่อไปนี้

4.1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเริ่มต้นเดินระบบเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวพร้อมที่จะใช้ศึกษาผลที่เกิดจากสภาวะต่างๆที่กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการบ่งบอกว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ (โดยเทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้ากับซีโอดีน้ำออก) ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ และพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบและซีโอดีของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีค่าค่อนข้างคงที่ไปด้วย โดยเริ่มต้นที่อัตราการไหลที่ต่ำสุดของเครื่องสูบน้ำ จากนั้นจะเพิ่มอัตราการไหลขึ้นทีละน้อยเรื่อยๆ ซึ่งอัตราการไหลที่ใช้ในการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ คือ 1.728 2.448 4.032 และ 6.336 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยคือ 0.37 0.59 0.87 และ 1.29 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำเข้า น้ำออก และน้ำเสียในห้อง 1-5 มีผลดังต่อไปนี้

4.1.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

น้ำเสียที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวของงานวิจัยนี้ คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำคาลทรายเป็นสารอินทรีย์ โดยส่วนประกอบต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นแต่ละครั้งจะนำมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดี สภาพต่างพีเอช และไออาร์พีด้วยทุกครั้ง โดยแต่ละค่าพารามิเตอร์ของการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละครั้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จะแสดงด้วยค่าเฉลี่ย ดังตาราง ที่ 4.1



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่แต่ละอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย

วันที่เดินระบบ	ระยะเวลา (วัน)	อัตราการไหลของระบบ (ลิตรต่อวัน)	เวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของระบบ (วัน)	ซีโอดี (มก.ต่อลิตร)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย (กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน)	สภาพค่า (มก.ต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)	พีเอช	โออาร์พี (มิลลิโวลต์)
1 ถึง 27	26	1.728	5.79	2,153.46	0.37	213.72	6.69	-220.63
28 ถึง 59	31	2.448	4.08	2,389.40	0.59	285.23	7.40	-258.72
60 ถึง 76	16	4.032	2.48	2,165.17	0.87	137.50	7.11	-253.15
77 ถึง 132	55	6.336	1.58	2,035.91	1.29	118.30	7.16	-270.64
133 ถึง 210	77	ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว	1.58	2,038.93	1.29	128.65	7.10	-259.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

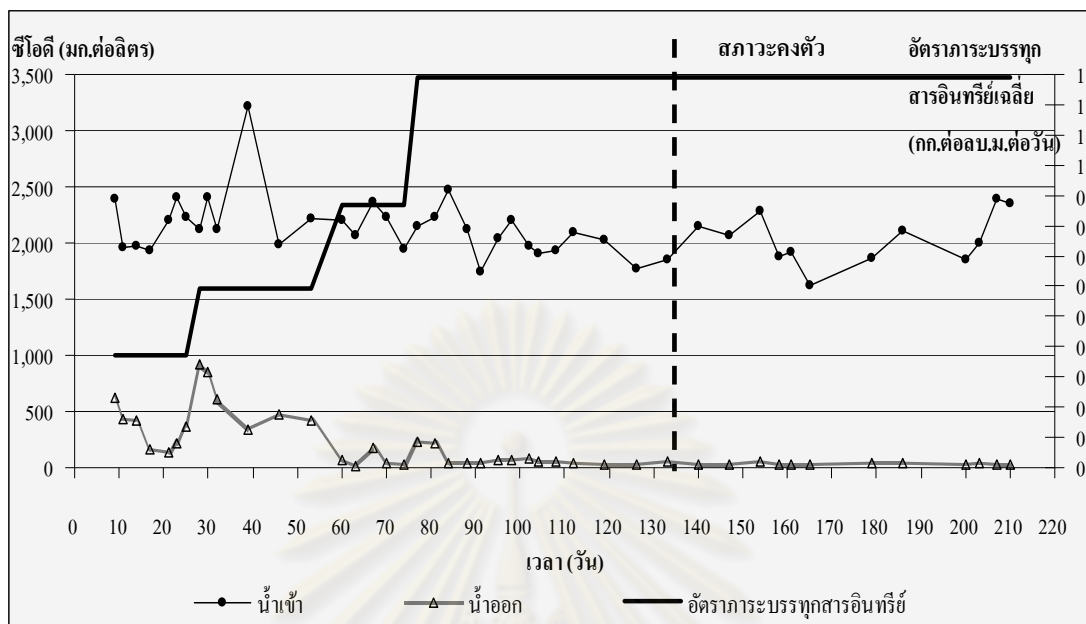
จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นที่อัตราการไหลต่างๆ มีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 2,035.91-2,389.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าซีโอดีที่กำหนดไว้ (2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร)มากนัก ส่วนค่าสภาพต่างมีปริมาณไม่มาก เนื่องจากค่าจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณต่าง (โซเดียมไบคาร์บอเนต) ที่เติมให้กับน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อปรับให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.80-7.20(ซึ่งจากค่าที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในช่วง 6.69-7.40) และค่าไออาร์พีที่ได้มีค่าเป็นลบอยู่ในช่วง -220.63 ถึง -270.64 มิลลิโวลท์

4.1.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่ออกจากระบบในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ทำการเก็บน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับเวลา และพิจารณาว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ(โดยเทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้ากับซีโอดีน้ำออก) และค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบเช่นกัน ไร้อากาศที่มีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆยังใช้เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบ ณ เวลานั้นๆ ว่าระบบยังสามารถทำงานได้อย่างปกติหรือระบบกำลังเสียสมดุล เช่น วัดจากค่าพีเอช สภาพต่าง และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.1 ซีไอดี



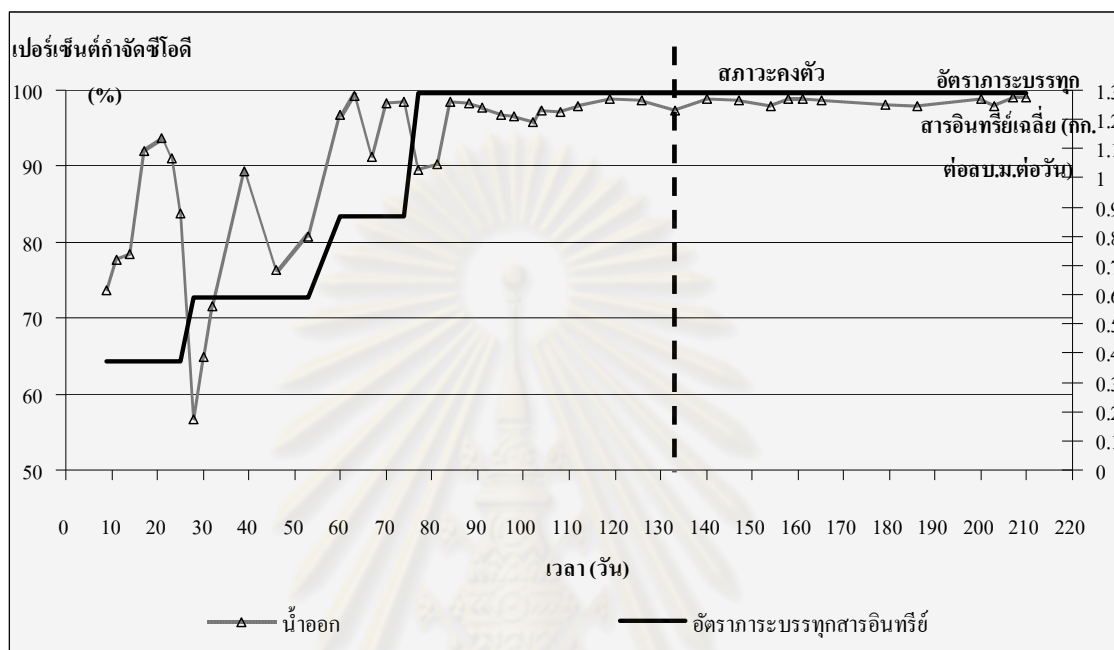
รูปที่ 4.1 ค่าซีไอดีของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบในช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ระยะเวลา 88 วันแรกยังมีความแปรปรวนมาก (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.85) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 309.91 ± 263.31 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 28 และ 77 ของการเดินระบบ มีผลทำให้ซีไอดีน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 361.90 เป็น 920.00 และจาก 30.72 เป็น 226.59 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่หลังจากวันที่ 88 ไปจนถึงวันที่ 126 ซึ่งค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยมีค่า 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าค่าซีไอดีน้ำออกมีค่าเฉลี่ย 50.86 ± 21.28 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าซีไอดีน้ำออกในช่วงก่อนหน้า (ช่วงของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.37 0.59 และ 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) แม้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจะมีค่ามากกว่าก็ตาม นอกจากนั้นค่าซีไอดีน้ำออกยังมีความแปรปรวนน้อยลง (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.42) แสดงว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้มากขึ้นแม้จะมีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยก็ตาม

สำหรับช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) พบว่าน้ำออกมีค่าซีไอดีเฉลี่ย 30.92 ± 10.77 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว แสดงว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดซีไอดีมากขึ้น และพบว่าค่าซีไอดีน้ำออกมี

ความแปรปรวนน้อยลงกว่าเดิมอีก(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.35) แสดงว่าวันที่ 133 เป็นวันที่ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว

4.1.2.2 เเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี



รูปที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีของน้ำออกจากระบบ

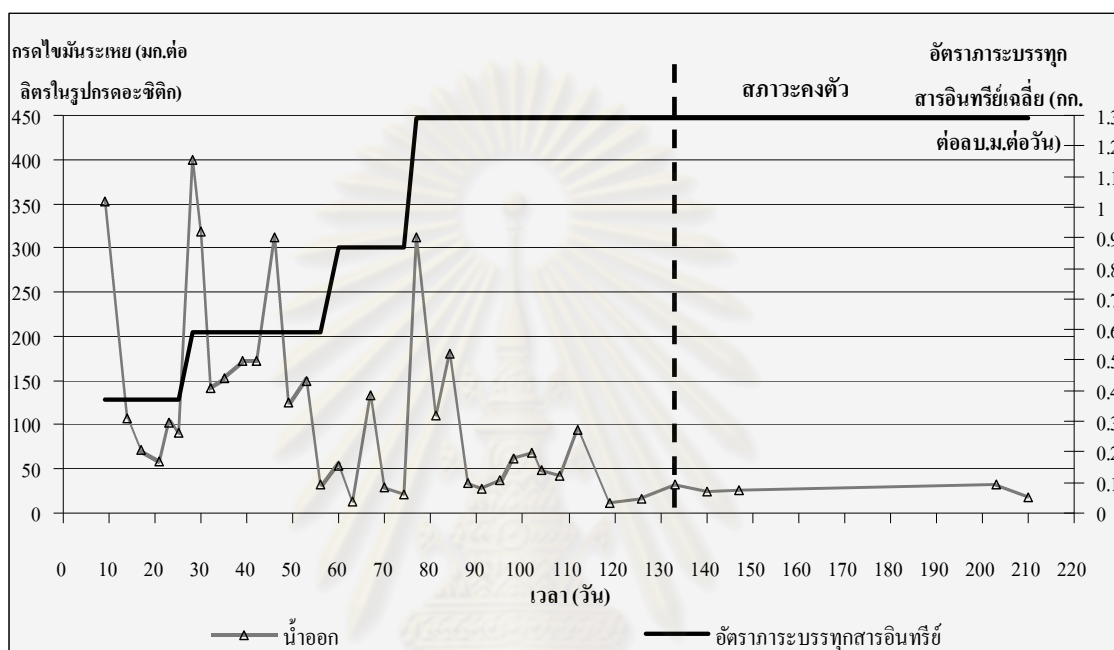
และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกจากระบบ (เทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้ากับซีโอดีน้ำออกจากระบบ) ในช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ระยะเวลา 88 วันแรกยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.14) มีค่าเฉลี่ย $85.92 \pm 11.99\%$ โดยการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 28 และ 77 ของการเดินระบบ ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีลดลงจาก 83.74% เป็น 56.60% และจาก 98.43% เป็น 89.46% ตามลำดับ แต่หลังจากวันที่ 88 ไปจนถึงวันที่ 126 ซึ่งค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยมีค่า 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีมีค่าเฉลี่ย $97.43 \pm 1.01\%$ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีในช่วงของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.37 0.59 และ 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีความแปรปรวนน้อยลงด้วย(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.01) แสดงว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้มากขึ้น

สำหรับช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกจากระบบมีค่าค่อนข้างคงที่(สัมประสิทธิ์ของส่วน

เบี่ยงเบนมีค่า 0.005) มีค่าเฉลี่ย $98.46 \pm 0.53\%$ ดังนั้นวันแรกที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวคือวันที่ 133 ของการเดินระบบ เนื่องจากจะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีหลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป จะมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นและมีค่าค่อนข้างคงที่

4.1.2.3 กรดไขมันระเหย



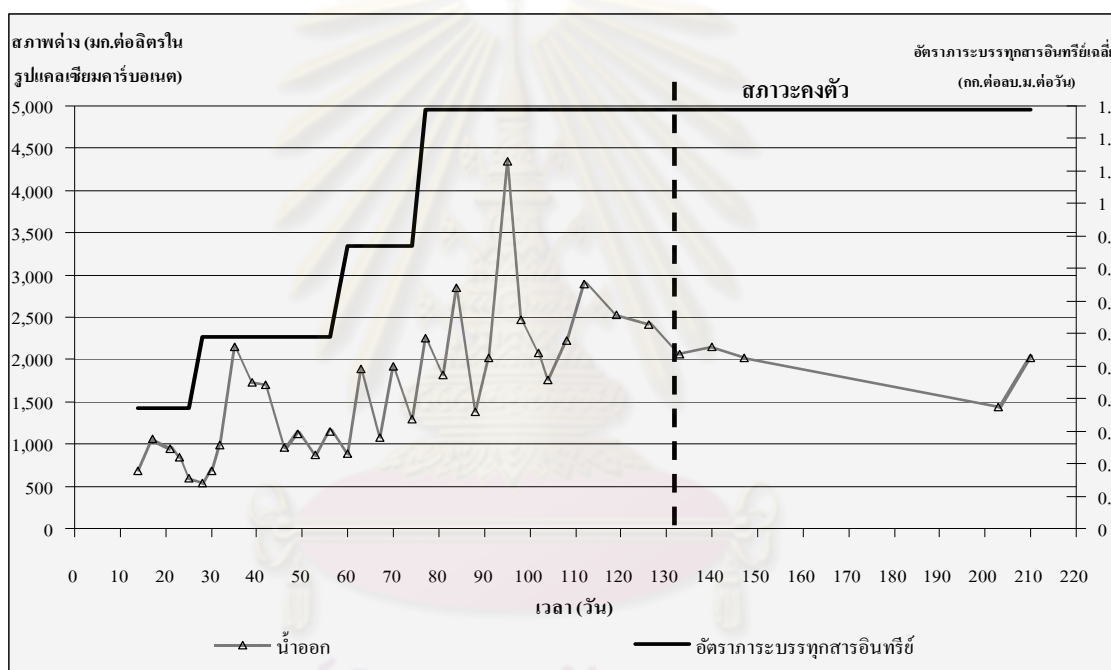
รูปที่ 4.3 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบ และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

จากรูปที่ 4.3 พบว่าในช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกในช่วง 88 วันแรกมีความแปรปรวนมาก(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.76) มีค่าเฉลี่ย 145.85 ± 111.30 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก โดยการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 28 และ 77 ของการเดินระบบ ส่งผลให้กรดไขมันระเหยมีค่ามากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนจาก 90.91 เป็น 400.01 และจาก 21.85 เป็น 312.39 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติกตามลำดับ แต่ในช่วงหลังจากวันที่ 88 ไปจนถึงวันที่ 126 ซึ่งค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยมีค่า 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำออก 45.19 ± 26.16 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากรดไขมันระเหยมีความแปรปรวนน้อยลง(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.58) และมีค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยของในช่วง 88 วันแรกแม้ค่าอัตราภาระบรรทุก

สารอินทรีย์เฉลี่ยจะมีความมากกว่าก็ตาม แสดงว่ากรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในระบบสามารถถูกนำไปใช้ได้มากขึ้นกว่าเดิม

สำหรับช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว(หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป)พบว่าค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกมีค่าเฉลี่ย 26.69 ± 6.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปกรดอะซิติก ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแปรปรวนน้อยลงกว่าเดิมอีก(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.23) และมีค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแสดงว่าช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วมีการนำกรดไขมันระเหยไปใช้ได้มากขึ้นกว่าเดิมอีก

4.1.2.4 สภาพต่าง



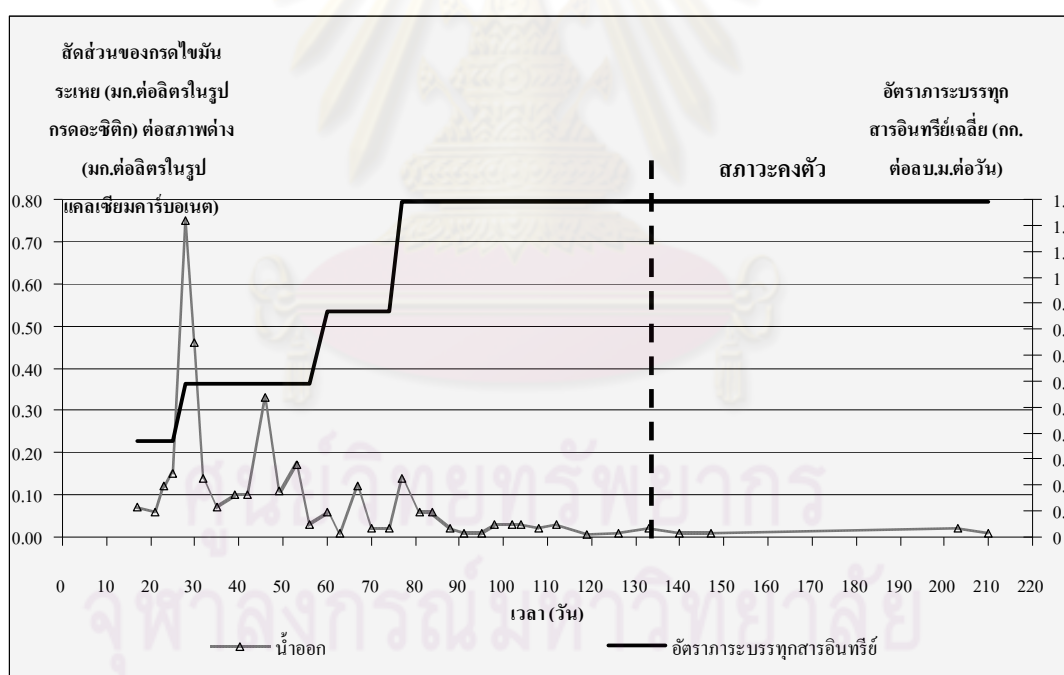
รูปที่ 4.4 ค่าสภาพต่างของน้ำออกจากระบบและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าสภาพต่างเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบ โดยระบบไร้อากาศควรมีค่าสภาพต่าง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (มันลิน ตันจุลเวศม์, 2542) ซึ่งจากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าสภาพต่างในบางช่วงเวลาของช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าที่ต่ำกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต เช่นในช่วง 32 วันแรกที่มีค่าเฉลี่ย 790.40 ± 192.57 และในช่วงวันที่ 46 ถึง 60 ที่มีค่าเฉลี่ย 996.90 ± 125.21 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต อาจเนื่องมาจากการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และเป็น 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 28 และ 60 ของการเดินระบบ ตามลำดับ ทำให้กำลังบำบัดเฟอร์ลดต่ำลง แต่หลังจากวันที่ 60 ไปจนถึง

วันที่ 126 พบว่าค่าสภาพต่างของน้ำออกมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาแม้ว่ายังมีการเพิ่มค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 77 ก็ตาม อาจเนื่องมาจากการเติมต่าง(โซเดียมไบคาร์บอเนต)ด้วยความเข้มข้นที่มากขึ้นจาก 1.00 เป็น 2.00 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนตต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ในวันที่ 60 เป็นต้นไป เพราะต้องการปรับเพิ่มค่าสภาพต่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ โดยค่าสภาพต่างมีค่าเฉลี่ย $2,189.37 \pm 750.41$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบมีกำลังบำบัดที่สูงสุด

สำหรับช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) พบว่าค่าสภาพต่างมีค่าที่มากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ โดยมีค่าเฉลี่ย $1,940.84 \pm 286.60$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

4.1.2.5 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง



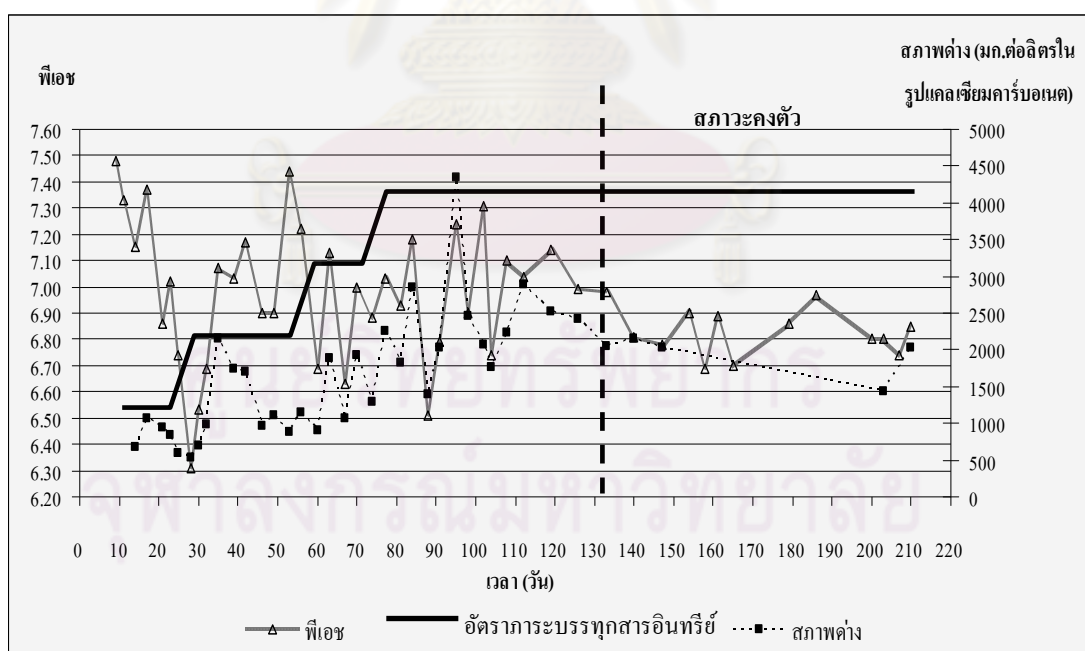
รูปที่ 4.5 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำออกจากระบบและอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

เนื่องจากค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก) ต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศได้ โดยทั่วไปแล้วค่าสัดส่วนนี้ควรน้อยกว่า 0.4 จึงจะถือได้ว่าระบบ

มีกำลังไฟฟ้าสูง แต่ถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากขึ้นแสดงว่าระบบกำลังเสถียรสมดุล กำลังไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมลดน้อยลงและไม่เพียงพอ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากกว่า 0.8 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็วหรืออาจลดลงแล้วก็เป็นไปได้ (มันสิน ตัณฑุลาเวศม์, 2542) ซึ่งจากรูปที่ 4.5 พบว่าในช่วงก่อนระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของน้ำออกในช่วง 88 วันแรกมีความแปรปรวนมาก(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 1.21) มีค่าเฉลี่ย 0.140 ± 0.170 แต่จะมีค่าเฉลี่ยลดลงและมีความแปรปรวนน้อยลง(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.50) หลังจากวันที่ 88 ไปจนถึงวันที่ 126 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.020 ± 0.010 โดยเปลี่ยนแปลงไปตามกรดไขมันระเหยของน้ำออกในหัวข้อที่ 4.1.2.3

สำหรับช่วงที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้ว(หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป)พบว่าค่าที่ได้มีความแปรปรวนน้อยลงอีก(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.36) มีค่าเฉลี่ย 0.014 ± 0.005 อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของน้ำออกในช่วงก่อนและหลังระบบคงตัวส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังไฟฟ้าที่สูงพอส่งผลให้ระบบยังสามารถทำงานได้ดีอยู่

4.1.2.6 พีเอช



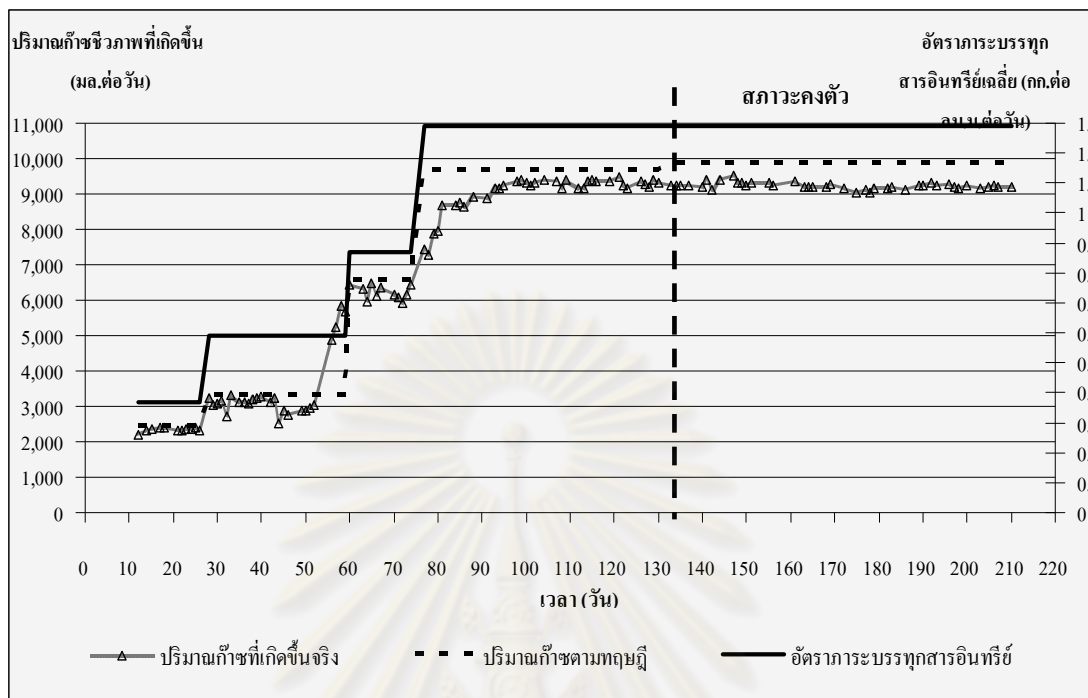
รูปที่ 4.6 ค่าพีเอช สภาพต่างของน้ำออกจากระบบ และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

เนื่องจากการวัดค่าพีเอชเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบ โดยระบบไร้อากาศควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.60-7.60 (มันลิน ตันทุลเวสม์, 2542) ซึ่งจากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชน้ำออกมีความสัมพันธ์กับค่าสภาพต่างและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย โดยการเพิ่มค่าสภาพต่างมีผลทำให้พีเอชมีค่ามากขึ้น แต่การเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยมีผลทำให้พีเอชมีค่าลดลง ในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าพีเอชมีค่าเฉลี่ย 6.98 ± 0.27 โดยจะเห็นได้ว่าในวันที่ 28 และ 60 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และเป็น 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันและค่าสภาพต่าง(หัวข้อที่ 4.1.2.4) มีค่าลดลงจาก 602.27 เป็น 533.33 และจาก 1,145.83 เป็น 892.86 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ส่งผลให้พีเอชมีค่าลดลงจาก 6.74 เป็น 6.31 และจาก 7.22 เป็น 6.69 ตามลำดับ แต่สำหรับการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 77 ของการเดินระบบพบว่าค่าพีเอชกลับมีค่ามากขึ้นจาก 6.88 เป็น 7.03 เนื่องจากสภาพต่างมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1,296.30 เป็น 2,250.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตและค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของน้ำออกมีค่าเพียง 0.14

สำหรับในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกลาง มีค่าเฉลี่ย 6.83 ± 0.91 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไร้อากาศเนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย ค่าสภาพต่างเฉลี่ยมีค่า $1,940.84 \pm 286.60$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต และค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของน้ำออกมีค่าเฉลี่ย 0.014 ± 0.005

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.7 ปริมาณ และคุณภาพของก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.7 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

เนื่องจากการกำจัดชีโอคิของระบบไร้อากาศทำให้เกิดก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากระบบ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณชีโอคิที่ระบบกำจัดได้ ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบได้ ซึ่งจากรูปที่ 4.7 พบว่าทุกครั้งที่ทำการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงและที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงกับที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวและหลังจากเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เช่น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.37 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ชีโอคิเฉลี่ยที่กำจัดได้ $3,138.09 \pm 296.87$ มิลลิกรัมต่อวัน ได้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยตามทฤษฎี $2,438.93 \pm 230.73$ มิลลิลิตรต่อวัน ส่วนค่าปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง $2,339.91 \pm 61.16$ มิลลิลิตรต่อวัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.2) เป็นต้น สำหรับในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าในช่วงวันที่ 44-51 ($2,816.00 \pm 158.00$ มิลลิลิตรต่อวัน) ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงลดลงจากปริมาณที่เกิดขึ้นจริงในวันที่ 28-43 ($3,138.00 \pm 142.00$ มิลลิลิตรต่อวัน) ทั้งที่เดินระบบด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.59 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เท่ากัน เนื่องจากวันที่ 51 พบว่ามีการรั่วของก๊าซที่บริเวณฝาถังปฏิกรณ์ จึงทำการเปิดฝาถังปฏิกรณ์

เพื่อทำการแก้ไข จึงส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงในวันที่ 52-59 ($4,930.00 \pm 1,128.00$ มิลลิลิตรต่อวัน) มีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงในวันที่ 44-51 ($2,816.00 \pm 158.00$ มิลลิลิตรต่อวัน) และมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ($3,328.95 \pm 528.82$ มิลลิลิตรต่อวัน) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีก๊าซออกซิเจนเข้าไปในถังปฏิกรณ์ในขณะที่ทำการเปิดฝาถัง จึงถูกนำไปใช้แล้วเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยจุลชีพที่ใช้ ออกซิเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก่อนปฏิกิริยาการสร้างก๊าซชีวภาพที่มีจุลชีพไร้อากาศเป็นตัวแทน เนื่องจากการใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนจุลชีพจะได้รับพลังงานมากที่สุดซึ่งส่งผลถึงปริมาณเนื้อเซลล์จุลชีพที่จะเกิดขึ้นด้วย(มันสิน ตันทุลเทศม์, 2542)

สำหรับในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว(หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป)พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงมีค่า $9,230.17 \pm 92.56$ มิลลิลิตรต่อวัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแปรปรวน(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.01)น้อยกว่าช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.47) ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี และปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย ณ เวลาต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสัดส่วนของปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงต่อซีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดได้ มีค่า 0.73-0.75 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด (คิดเป็น 94.81-97.40% ของค่าทางทฤษฎี) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี(เกิดก๊าซชีวภาพ 0.77 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) แสดงว่าสารอินทรีย์ (ซีโอดีในรูปน้ำตาล)ที่เข้ามาในระบบส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ยกเว้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.59 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่มีค่าสัดส่วนของปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงต่อซีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดได้ (เกิดก๊าซชีวภาพ 0.80 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) มากกว่าค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี(เกิดก๊าซชีวภาพ 0.77 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) เนื่องจากสาเหตุที่มีการเปิดฝาถังปฏิกรณ์ในวันที่ 51 เพื่อแก้ปัญหาารอรั่วที่บริเวณฝาถังดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีและที่เกิดขึ้นจริง ณ ค่าต่างๆของ อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย

วันที่ทำการเดินระบบ	อัตราการะบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย (กก. ต่อลบ.ม.ต่อวัน)	ชีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดได้ (มก.ต่อวัน)	*ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่ควรเกิดตามทฤษฎี (มล.ต่อวัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง (มล.ต่อวัน)	สัดส่วนของปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงต่อชีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดได้ (มล. ก๊าซชีวภาพต่อมก.ชีโอดีที่ถูกกำจัด)
12 ถึง 27	0.37	3,138.09±296.87	2,438.93±230.73	2,339.91±61.16	0.75
28 ถึง 59	0.59	4,283.26±680.42	3,328.95±528.82	3,419.16±917.07	0.80
60 ถึง 76	0.87	8,451.12±282.99	6,568.21±219.94	6,226.73±197.15	0.74
77 ถึง 132	1.29	12,436.65±390.96	9,665.76±303.85	9,024.94±551.61	0.73
133 ถึง 210	ระบบคงตัว	12,701.43±68.89	9,871.55±53.54	9,230.17±92.56	0.73

หมายเหตุ : *ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีได้จากสมมติฐาน คือ 1 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 777.20 มิลลิลิตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เกิดก๊าซชีวภาพ 0.77 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด การคำนวณและที่มาแสดงในภาคผนวก) โดยมีสมมติฐานว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทน 50% และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50% เป็นองค์ประกอบ

คุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถบ่งบอกได้ด้วยสัดส่วนของก๊าซมีเทนซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่มีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนมากเป็นก๊าซที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ สำหรับระบบไร้อากาศอัตราการสร้างก๊าซมีเทนเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากต่อการบ่งบอกถึงสมรรถนะการทำงานของระบบ เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ สภาวะก่อนและหลังที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
ณ สภาวะก่อนและหลังที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว**

สภาวะของระบบ	เปอร์เซ็นต์มีเทน
ข้อมูลของ ^A วันที่ 115 ซึ่งอยู่ในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	40.40
ข้อมูลของ ^B วันที่ 230 ซึ่งอยู่ในช่วงหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	56.23

หมายเหตุ : ^A ทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในวันที่ 115 เนื่องจากก่อนหน้าวันที่ 115 มีความไม่พร้อมของเครื่องมือ

^B ทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในวันที่ 230 เนื่องจากเป็นวันสุดท้ายของการเดินระบบในสภาวะคงตัว โดยยังไม่ทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 40.40% และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว(หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบมากขึ้นอยู่ที่ 56.23% แสดงให้เห็นได้ว่าระบบมีสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้น ซึ่งสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับสมมติฐานข้างต้นที่ใช้ในการคำนวณที่กำหนดให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ 50%

4.1.2.8 เปอร์เซนต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมด

ค่าเปอร์เซนต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดสามารถใช้บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของแฉะทั้งหมดได้ ดังตารางที่ 4.4 จะแสดงค่าเปอร์เซนต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อที่นำมาใช้ในระบบซึ่งมีค่า 61.24% ที่สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว ซึ่งการที่เปอร์เซนต์ของแฉะระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น 61.24% สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบในด้านการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่งคือเปอร์เซนต์ของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้น ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น ที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%) ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ข้อมูลของ ^A วันที่ 121 ซึ่งอยู่ในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	18.53%	13.35%	4.91%	5.16%	9.59%
ข้อมูลของ ^B วันที่ 217 ซึ่งอยู่ในช่วงหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	18.23%	6.44%	5.61%	7.32%	8.00%

หมายเหตุ : ^A วันที่ 121 เป็นข้อมูลสุดท้ายที่ทำการวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว

^B วันที่ 217 เป็นข้อมูลสุดท้ายที่ทำการวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดก่อนที่จะทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้น ไร้อากาศ

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสภาวะก่อนระบบคงตัวและหลังจากระบบคงตัวแล้ว(หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นของหัวเชื้อ (61.24%) ทุกห้อง แสดงว่าทุกห้องสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่เข้ามาในระบบได้ และเนื่องจากการเดินระบบได้มีการป้อนน้ำเสียที่มีชีโอดีโนรูปของน้ำตาลซึ่งเป็นอาหารที่ใช้ได้ง่ายของจุลชีพ ดังนั้นสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นอาจจะมาจากปริมาณของจุลชีพที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละห้องทั้งในช่วงก่อนระบบคงตัวและหลังจากระบบคงตัวแล้วพบว่าห้อง 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุดเนื่องจากเป็นห้องแรกที่ได้รับน้ำเสียเข้ามาในระบบจึงได้รับสารอินทรีย์สูงสุด ส่งผลให้จุลชีพได้รับอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ส่วนในห้อง 3-5 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นจาก 61.24% จะน้อยกว่าห้อง 1หรือ2 เนื่องจากสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีที่เหลือมาถึงห้อง 3-5 มีความเข้มข้นน้อยลง เพราะถูกจุลชีพในห้อง 1และ2 นำไปใช้ก่อนแล้ว ในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วพบว่าห้อง 2 มีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหย (6.44%) น้อยกว่าในช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (13.35%) อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพในการทำงานของห้อง 1 ดีมากขึ้นกว่าช่วงก่อนระบบคงตัว ส่งผลให้สารอินทรีย์ไม่ค่อยเหลือไปถึงห้อง 2

4.1.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียในห้อง 1-5 เทียบกับเวลา เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในห้อง 1-5 เมื่อเทียบกับเวลา และเพื่อบ่งบอกถึงสภาวะที่ระบบคงตัวโดยพิจารณาจากค่าซีโอดีของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้จะมีการตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบ ณ เวลานั้นๆ ว่าระบบยังสามารถทำงานได้อย่างปกติหรือระบบกำลังเสียสมดุลโดยการเก็บน้ำเสียในห้อง 1-5 มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าพีเอช สภาพต่าง และได้ทำการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดในห้อง 1-5 ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการที่ระบบกำจัดสารอินทรีย์ ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้

4.1.3.1 ซีโอดี

ค่าซีโอดีที่เหลือในแต่ละห้องสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดซีโอดีของแต่ละห้องและบ่งบอกถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ห้องถัดไปได้ ซึ่งข้อมูลของค่าเฉลี่ยซีโอดีในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้วแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อนระบบคงตัว	801.87±372.70, 0.46 (28)	389.27±284.07, 0.73 (28)	252.67±233.83, 0.93 (28)	267.63±246.14, 0.92 (28)	210.50±210.44, 0.10 (28)
ระบบคงตัวแล้ว	98.36±59.44, 0.60 (13)	52.57±31.27, 0.59 (13)	35.45±9.52, 0.27 (13)	32.83±11.79, 0.36 (13)	28.62±10.11, 0.35 (13)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าในช่วงก่อนระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวค่าซีไอดีเฉลี่ยในแต่ละห้องมีค่ามากเมื่อเทียบกับช่วงที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วแสดงว่าแต่ละห้องยังกำจัดซีไอดีได้ไม่มาก และค่าซีไอดีมีความแปรปรวนมากโดยจากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 28 และวันที่ 77 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าซีไอดีในแต่ละห้องในวันดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเพิ่มขึ้นของค่าซีไอดีในแต่ละห้องเมื่อมีการเพิ่มค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

การเพิ่มค่าอัตรา การระบรทุก สารอินทรีย์เฉลี่ย	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
0.37 เป็น 0.59 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ในวันที่ 28	จาก 854.80 เป็น 1,489.20 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 266.80 เป็น 843.34 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 106.80 เป็น 394.54 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 180.00 เป็น 406.40 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 210.94 เป็น 420.00 มิลลิกรัม ต่อลิตร
0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ในวันที่ 77	จาก 399.36 เป็น 517.33 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 230.40 เป็น 375.20 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 62.59 เป็น 375.20 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 49.92 เป็น 407.52 มิลลิกรัม ต่อลิตร	จาก 43.51 เป็น 247.16 มิลลิกรัม ต่อลิตร

และยังพบอีกว่าค่าซีไอดีเฉลี่ยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วมีค่าลดลงตามลำดับ ไปจนถึงห้องสุดท้าย เนื่องจากห้อง 1 เป็นห้องแรกที่ได้รับน้ำเสียเข้ามาในระบบ แล้วจะมีการกำจัดซีไอดีไปเรื่อยๆ ในขณะที่น้ำเสียไหลจากห้อง 1 ไปถึงห้อง 5

ช่วงที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ค่าซีไอดีเฉลี่ยในแต่ละห้องในตารางที่ 4.5 มีค่าลดลงจากช่วงก่อนระบบคงตัว แสดงว่าแต่ละห้องสามารถกำจัดซีไอดีได้มากขึ้นแม้ว่ายังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง และพบว่าค่าซีไอดีเฉลี่ยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วมีค่าลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้ายเช่นกัน แต่ค่าซีไอดีเฉลี่ยของห้อง 3-5 จะมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งอาจจะหมายความว่ากำจัดซีไอดีในห้องหลังๆ มีค่าต่ำลงเนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ห้องเหล่านี้มีค่าต่ำลง จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าซีไอดีแต่ละห้องในวันที่ 126 กับวันที่ 133 เป็นข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงความใกล้เคียงกันของค่าซีไอดีในทุกห้องแม้ว่าหลังจากวันที่

133 ค่าซีไอดีในห้อง 1 ยังมีความแปรปรวนอยู่บ้างแต่ค่าซีไอดีในห้อง 2-5 ยังคงมีความใกล้เคียงกันอยู่ ดังนั้นวันที่ 133 จึงถือเป็นวันแรกที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

4.1.3.2 กรดไขมันระเหย

จุลชีพสร้างกรดในระบบไร้อากาศจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย จากนั้นกรดไขมันระเหยจะถูกนำไปใช้สร้างมีเทน โดยจุลชีพสร้างมีเทนซึ่งส่งผลให้ค่าซีไอดีในน้ำเสียดลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่เหลือในแต่ละห้องสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดซีไอดีได้ แต่บางกรณีที่เหลือความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยอยู่น้อยอาจเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยได้น้อยก็ได้ ซึ่งข้อมูลของค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้วแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง
ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะ ของ ระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อน ระบบ คงตัว	634.91±189.64, 0.30 (34)	266.26±173.84, 0.65 (34)	225.78±171.20, 0.76 (34)	201.08±152.38, 0.76 (34)	135.60±115.03, 0.85 (34)
ระบบ คงตัว แล้ว	106.45±97.08, 0.91 (5)	24.86±5.11, 0.21 (5)	24.09±3.38, 0.14 (5)	22.53±5.02, 0.22 (5)	17.58±4.39, 0.25 (5)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในตารางที่ 4.7 ร่วมกับค่าเฉลี่ยซีไอดีในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าเฉลี่ยซีไอดีที่เหลืออยู่มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหย ดังนั้นน่าจะแสดงได้ว่าสารอินทรีย์ในระบบถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยได้

จากตารางที่ 4.7 พบว่าในช่วงก่อนระบบคงตัวค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้องมีค่ามากเมื่อเทียบกับช่วงที่ระบบคงตัวแล้วแสดงว่ากรดไขมันระเหยที่สร้างขึ้นถูกนำไปใช้ได้น้อย และพบว่าค่ากรดไขมันระเหยมีความแปรปรวนมากโดยจากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 28 และวันที่ 77 ตามลำดับ ส่งผลให้กรดไขมันระเหยในห้องต่างๆมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.8 และจากตารางที่ 4.7 ยังพบอีกว่าค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วมีค่าลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้าย เนื่องจากห้อง 1 เป็นห้องแรกที่รับสารอินทรีย์ความเข้มข้นสูงสุดจึงเกิดการสร้างกรดมากที่สุดที่ห้องนี้ จากนั้นจึงมีการนำกรดไขมันระเหยไปใช้ในขณะที่น่าเสียไหลจากห้อง 1 ไปถึงห้อง 5

ตารางที่ 4.8 แสดงการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันระเหยในแต่ละห้องเมื่อมีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

การเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
0.37 เป็น 0.59 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 28	จาก 515.63 เป็น 637.50 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 318.75 เป็น 512.51 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 125.00 เป็น 450.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 81.25 เป็น 281.25 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 68.75 เป็น 175.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก
0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 77	จาก 474.27 เป็น 540.44 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 281.25 เป็น 403.85 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 48.16 เป็น 489.59 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 32.78 เป็น 485.79 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก	จาก 25.00 เป็น 335.16 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก

จากตารางที่ 4.7 พบว่าในช่วงที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้ว ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้องมีค่าน้อยกว่าในช่วงก่อนระบบคงตัว แสดงว่ากรดไขมันระเหยสามารถถูกนำไปใช้ได้มากขึ้นในช่วงที่ระบบคงตัวแล้ว และพบว่าค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้ายเช่นกันในลักษณะเดียวกับค่าเฉลี่ยซีโอดี

4.1.3.3 สภาพต่าง

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.2.4 ว่าค่าสภาพต่างเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศ โดยที่สภาพต่างจะบอกถึงกำลังปั๊มเฟออร์ที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งระบบไร้อากาศควรมีสภาพต่าง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (มันตินต้นทุลเวสม์,2542) ซึ่งข้อมูลของค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัว และสภาวะที่ระบบคงตัวแล้วแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้อง
ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะ ของ ระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อน ระบบ คงตัว	1,864.13± 1,121.49, 0.30 (33)	1,934.08± 1,167.71, 0.65 (33)	1,996.31± 1,042.98, 0.76 (33)	2,035.60± 948.65, 0.76 (33)	1,921.18± 790.41, 0.85 (33)
ระบบ คงตัว แล้ว	2,353.55± 112.45, 0.91 (5)	2,249.05± 66.91, 0.21 (5)	2,177.98± 252.45, 0.14 (5)	2,075.59± 315.14, 0.22 (5)	2,049.43± 237.12, 0.25 (5)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

ช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าค่าสภาพต่างในแต่ละห้องในช่วง 32 วันแรก และช่วงวันที่ 46 ถึง 60 มีค่าน้อยกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และเป็น 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 28 และ 60 ของการเดินระบบ ตามลำดับ จึงทำการเติมต่าง(โซเดียมไบคาร์บอเนต)ไปปั๊มเฟออร์ระบบด้วยความเข้มข้นที่มากขึ้นจาก 1.00 เป็น 2.00 กรัมโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ในวันที่ 60 เป็นต้นไป ส่งผลให้สภาพต่างหลังจากวันที่ 60 ไปจนถึงวันที่ 126 มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลา แม้จะมีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 77 ก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้องมี

ค่ามากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงว่ายังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไรร้อากาศ

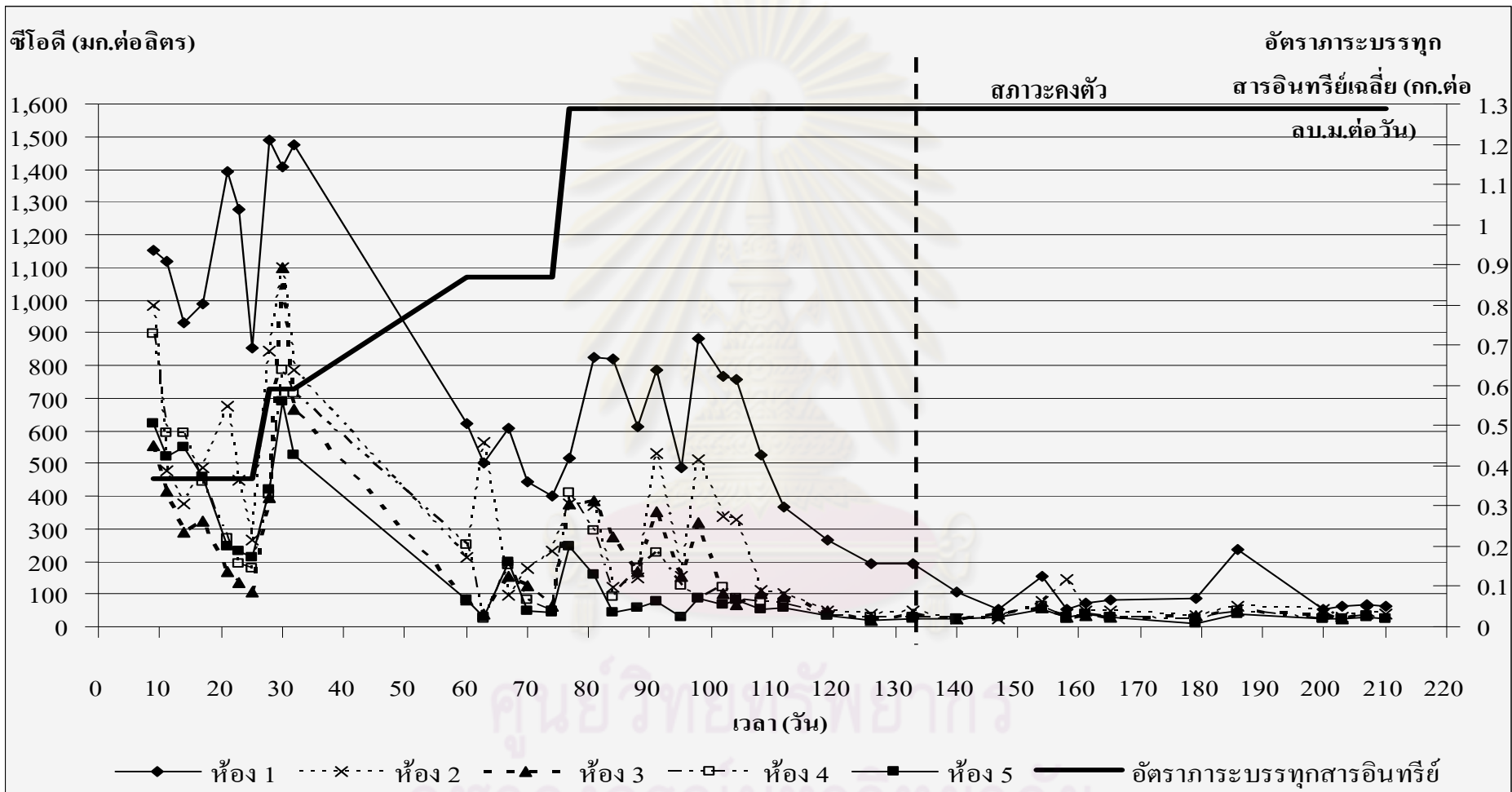
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้องในช่วง 32 วันแรก และในช่วงวันที่ 46 ถึง 60

สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อนระบบคงตัว	544.27±259.65, 0.48 (8)	581.51±165.16, 0.28 (8)	784.23±168.35, 0.21 (8)	978.57±235.49, 0.24 (8)	1,274.70±187.21, 0.15 (8)
ระบบคงตัวแล้ว	1,282.36±720.16, 0.56 (5)	1,343.43±503.72, 0.37 (5)	1,511.82±237.91, 0.16 (5)	1,482.16±224.55, 0.15 (5)	1,261.73±242.11, 0.19 (5)

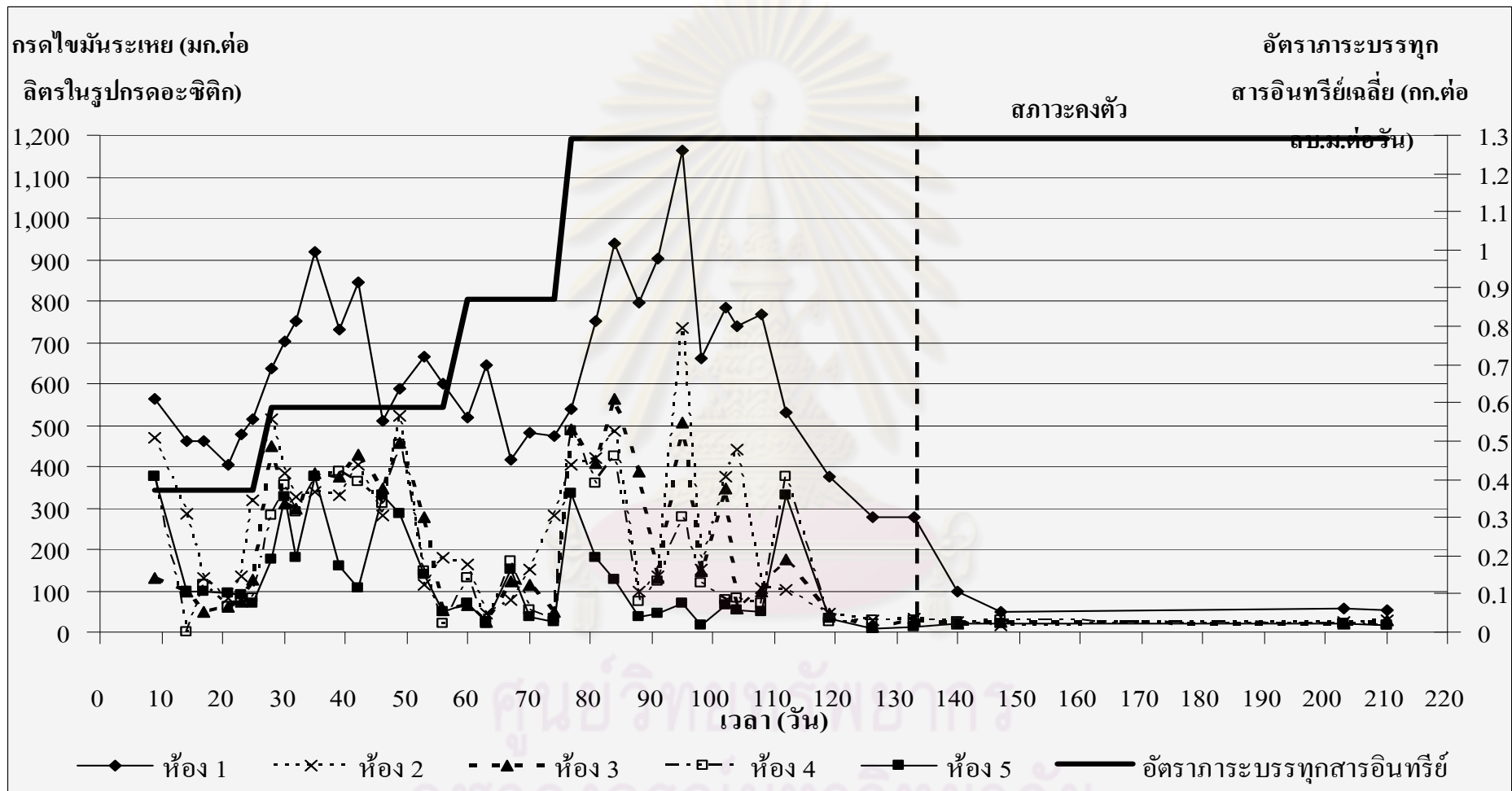
หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

ช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป)จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าค่าสภาพต่างในแต่ละห้องมีค่ามากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไรร้อากาศ และจากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้องมีค่ามากกว่าช่วงก่อนระบบคงตัว อาจเนื่องมาจากกรดไขมันระเหยของแต่ละห้องในช่วงนี้มีปริมาณที่น้อยลง ส่งผลให้เหลือกำลังบัฟเฟอร์ในระบบมากขึ้น

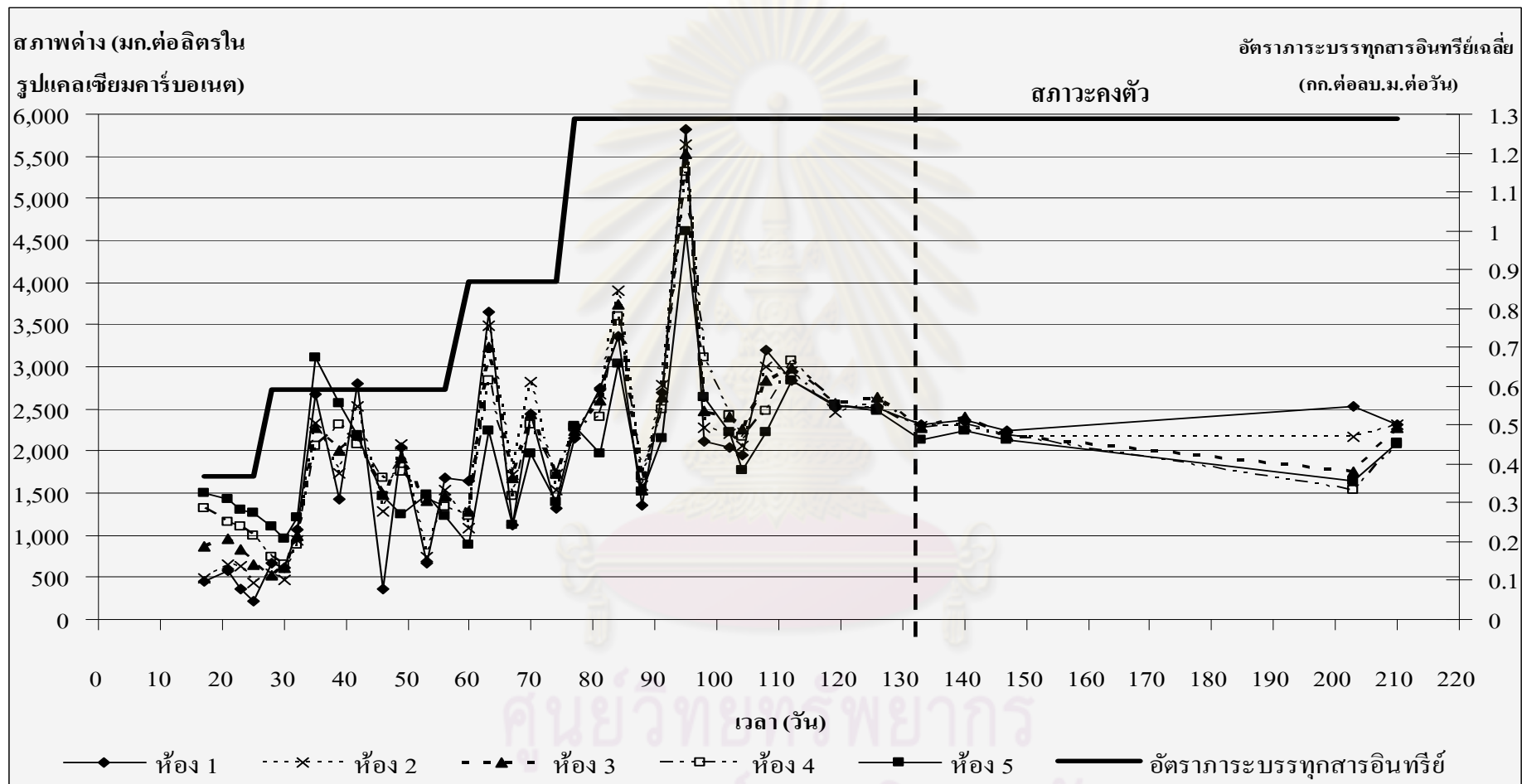
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ค่าซีโอติของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการบริโภคนิวทรีเจนเฉลี่ย กับเวลา



รูปที่ 4.9 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา



รูปที่ 4.10 ค่าสภาพต่างของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

4.1.3.4 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง

เนื่องจากค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก) ต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศได้ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2.5 โดยทั่วไปแล้วค่าสัดส่วนนี้ควรน้อยกว่า 0.4 แต่ถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากกว่า 0.8 จะเห็นได้เลยว่าค่าพีเอชกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็วหรืออาจลดลงไปแล้วก็เป็นไปได้ (มันลิน ตันทุลเวสม์, 2542) ซึ่งข้อมูลของค่าสัดส่วนเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้วแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าสัดส่วนเฉลี่ยของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อนระบบคงตัว	0.55±0.49, 0.89 (31)	0.20±0.22, 1.10 (31)	0.15±0.17, 1.13 (31)	0.12±0.12, 1.00 (31)	0.08±0.08, 1.00 (31)
ระบบคงตัวแล้ว	0.04±0.04, 1.00 (5)	0.01±0.00, 0.00 (5)	0.01±0.00, 0.00 (5)	0.01±0.00, 0.00 (5)	0.01±0.00, 0.00 (5)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

จากตารางที่ 4.11 พบว่าช่วงก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้องมีค่ามากกว่าในช่วงที่ระบบคงตัวแล้วเนื่องมาจากในช่วงก่อนระบบคงตัวกรดไขมันระเหยเฉลี่ย (หัวข้อ 4.1.3.2) มีค่ามากกว่าในขณะที่สภาพต่างเฉลี่ย (หัวข้อ 4.1.3.3) มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับในช่วงที่ระบบคงตัวแล้ว ซึ่งจากรูปที่ 4.11 พบว่าในช่วง 32 วันแรกค่าสัดส่วนเฉลี่ยในแต่ละห้องมีค่ามากกว่า 0.4 อาจเนื่องมาจากค่าสภาพต่างเฉลี่ยในช่วง 32 วันแรกมีค่าน้อยมาก (ดังแสดงในตารางที่ 4.10 หัวข้อ 4.1.3.3) แต่อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วนเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในห้อง 1-5 ดังตารางที่ 4.11 มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบยังมีกำลังบัฟเฟอร์ที่เพียงพอ ทำให้ระบบยังสามารถทำงานได้ดี และยัง

พบอีกว่าค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างเฉลี่ยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วมีค่าลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้าย เนื่องจากห้อง 1 มีความเข้มข้นกรดไขมันระเหยมากสุดจากนั้นจะถูกนำไปใช้ในขณะที่น่าเสียไหลจากห้อง 1 ไปถึงห้อง 5

จากตารางที่ 4.11 พบว่าช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้องมีค่าลดลงและค่อนข้างคงที่ ซึ่งข้อมูลจากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.11 พบว่าค่าสัดส่วนเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบยังมีกำลังบำบัดที่เพียงพอ ทำให้ระบบยังสามารถทำงานได้คืออยู่เช่นกันและพบว่าค่าสัดส่วนเฉลี่ยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วมีค่าลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้ายเช่นกัน

4.1.3.5 พีเอช

เนื่องจากค่าพีเอชเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่บ่งบอกถึงสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศได้ ซึ่งระบบไร้อากาศควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.6-7.6 (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2542) ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับค่าสภาพต่างและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยโดยการเพิ่มค่าสภาพต่างมีผลทำให้พีเอชมีค่ามากขึ้น แต่การเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยมีผลทำให้พีเอชมีค่าลดลง ซึ่งข้อมูลของค่าพีเอชเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยในแต่ละห้อง
ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะ ของ ระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อน ระบบ คงตัว	6.57±0.58, 0.09 (35)	6.87±0.34, 0.05 (35)	6.98±0.25, 0.04 (35)	7.02±0.19, 0.03 (35)	7.01±0.21, 0.03 (35)
ระบบ คงตัว แล้ว	6.99±0.16, 0.02 (13)	6.96±0.16, 0.02 (13)	6.93±0.12, 0.02 (13)	6.88±0.09, 0.01 (13)	6.85±0.08, 0.01 (13)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไม่มีหน่วย), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าก่อนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในช่วง 32 วันแรกค่าพีเอชในห้อง 1 และ 2 มีค่าน้อยกว่า 6.60 เนื่องจากสภาพด่างเฉลี่ยในช่วงนี้มีค่าน้อยมาก (ดังแสดงในตารางที่ 4.10 หัวข้อ 4.1.3.3) ซึ่งก็น่าจะมีสาเหตุจากการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 28 ของการเดินระบบ(ส่งผลให้ค่าพีเอชในวันที่ 28 ลดลงด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.13) และการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.59 เป็น 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันในวันที่ 60 ของการเดินระบบส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.13 เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอชเฉลี่ยของแต่ละห้องในตารางที่ 4.12 ก็มีค่ามากกว่า 6.60 (ยกเว้นห้อง 1) ซึ่งเหมาะสมต่อระบบไร้อากาศ

ตารางที่ 4.13 แสดงการลดลงของค่าพีเอชในแต่ละห้องเมื่อมีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจาก 0.37 เป็น 0.59 และจาก 0.87 เป็น 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

การเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
0.37 เป็น 0.59 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 28	^A จาก 5.16 เป็น 6.01	จาก 6.16 เป็น 6.02	จาก 6.74 เป็น 6.07	จาก 6.98 เป็น 6.62	จาก 7.04 เป็น 6.84
0.59 เป็น 0.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในวันที่ 60	^B จาก 6.88 เป็น 6.84	จาก 7.00 เป็น 6.76	จาก 6.97 เป็น 6.90	จาก 6.94 เป็น 6.85	จาก 6.92 เป็น 6.67

หมายเหตุ : ^Aมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และ ^Bไม่มีการลดลงของค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งที่มีการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย อาจเนื่องมาจากห้อง 1 เป็นห้องแรกที่รับน้ำเสียที่มีการเติมด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) เข้ามา ดังนั้นค่าถังบำบัดจึงมีสูงอยู่

จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ค่าพีเอชในแต่ละห้องมากกว่า 6.60 ซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ เนื่องจากไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราภาวะบรรทุสารอินทรีย์เฉลี่ย ค่าสภาพต่างเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ (ตารางที่ 4.9 หัวข้อที่ 4.1.3.3) และพบว่าค่าพีเอชมากกว่าช่วงก่อนระบบคงตัวเนื่องจากสภาพต่างเฉลี่ยมีค่ามากกว่าและกรดไขมันระเหยเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า

4.1.3.6 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (โออาร์พี)

เนื่องจากค่าโออาร์พีเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เพราะเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยค่าโออาร์พีเป็นค่าที่วัดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในน้ำ ค่าที่วัดได้อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้าวัดได้ค่าบวกแสดงว่าสารละลายนี้มีสารรับอิเล็กตรอน เช่น มีออกซิเจน แต่ถ้าวัดได้ค่าลบแสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอน เช่น มีสารอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ถึงข้อยไร้อากาศที่ทำงานได้ดีควรมีค่าโออาร์พีในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2542) ถ้าค่าโออาร์พีที่วัดได้มีค่าบวกมากกว่าช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ก็ไม่ได้หมายความว่าระบบไม่มีสภาพไร้อากาศ แต่เป็นเพราะระบบมีสภาพไร้อากาศที่น้อยลง เช่น อาจมีออกซิเจนปะปนเข้าไปในระบบ โดยเกิดจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำประปา หรือออกซิเจนอาจเข้าไปในระบบตอนเปิดระบบเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ ซึ่งข้อมูลของค่าโออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้วแสดงในตารางที่ 4.14

จกตารางที่ 4.14 พบว่าแม้ค่าโออาร์พีเฉลี่ยทั้งช่วงก่อนและหลังระบบคงตัวในห้อง 1-5 จะมีค่ามากกว่า -300 มิลลิโวลต์ก็ตาม แต่ค่าโออาร์พีที่ได้ก็มีค่าเป็นลบ แสดงว่าภายในห้อง 1-5 เกิดกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าโออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละห้อง
ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

สภาวะ ของ ระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อน ระบบ คงตัว	-222.64±41.70, 0.19 (35)	-240.43±26.78, 0.11 (35)	-246.95±20.89, 0.08 (35)	-248.85±16.89, 0.07 (35)	-248.61±15.43, 0.06 (35)
ระบบ คงตัว แล้ว	-257.56±11.07, 0.04 (13)	-255.69±11.46, 0.04 (13)	-254.32±12.62, 0.05 (13)	-251.40±14.49, 0.06 (13)	-249.40±13.54, 0.05 (13)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิโวลท์), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

4.1.3.7 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมด

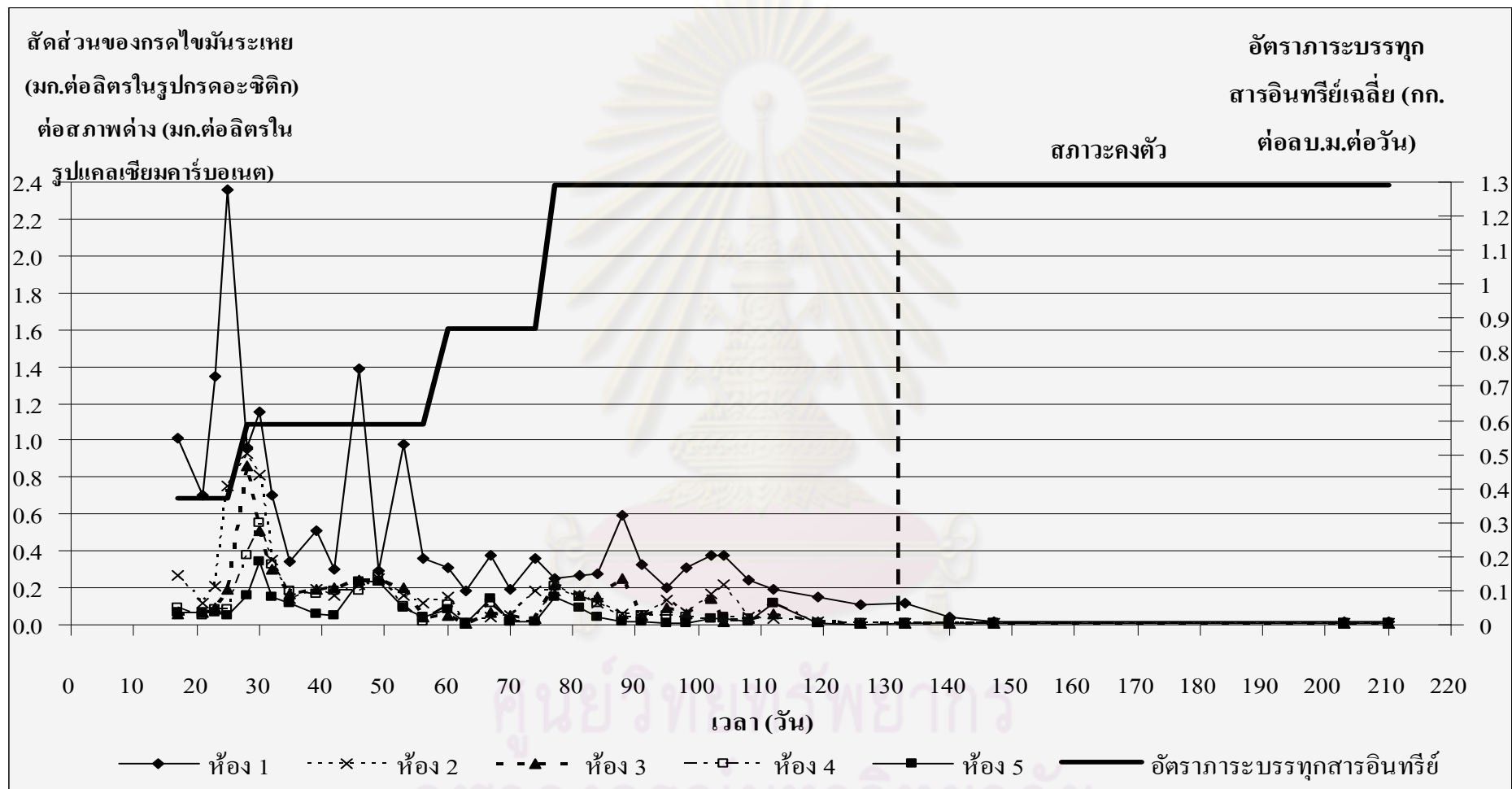
การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศทำให้ได้พลังงานเกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง ซึ่งส่วนหนึ่งอาจสูญเสียไปในรูปพลังงานความร้อน อีกส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและสร้างเซลล์ใหม่(มันสิน ตันฑุลเวศม์,2542) ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดบ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของแฉะทั้งหมดได้ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ ในการเดินระบบได้มีการป้อนน้ำเสียที่มีซิโอดีในรูปของน้ำตาลซึ่งเป็นอาหารที่ใช้ได้ง่ายของจุลชีพ ดังนั้นสารอินทรีย์ในรูปของของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้นอาจจะมาจากปริมาณของจุลชีพที่เพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อที่นำมาใช้ในระบบ(61.24%)ในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้วแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%)ในแต่ละห้อง ณ สภาวะก่อนระบบคงตัวและสภาวะที่ระบบคงตัวแล้ว

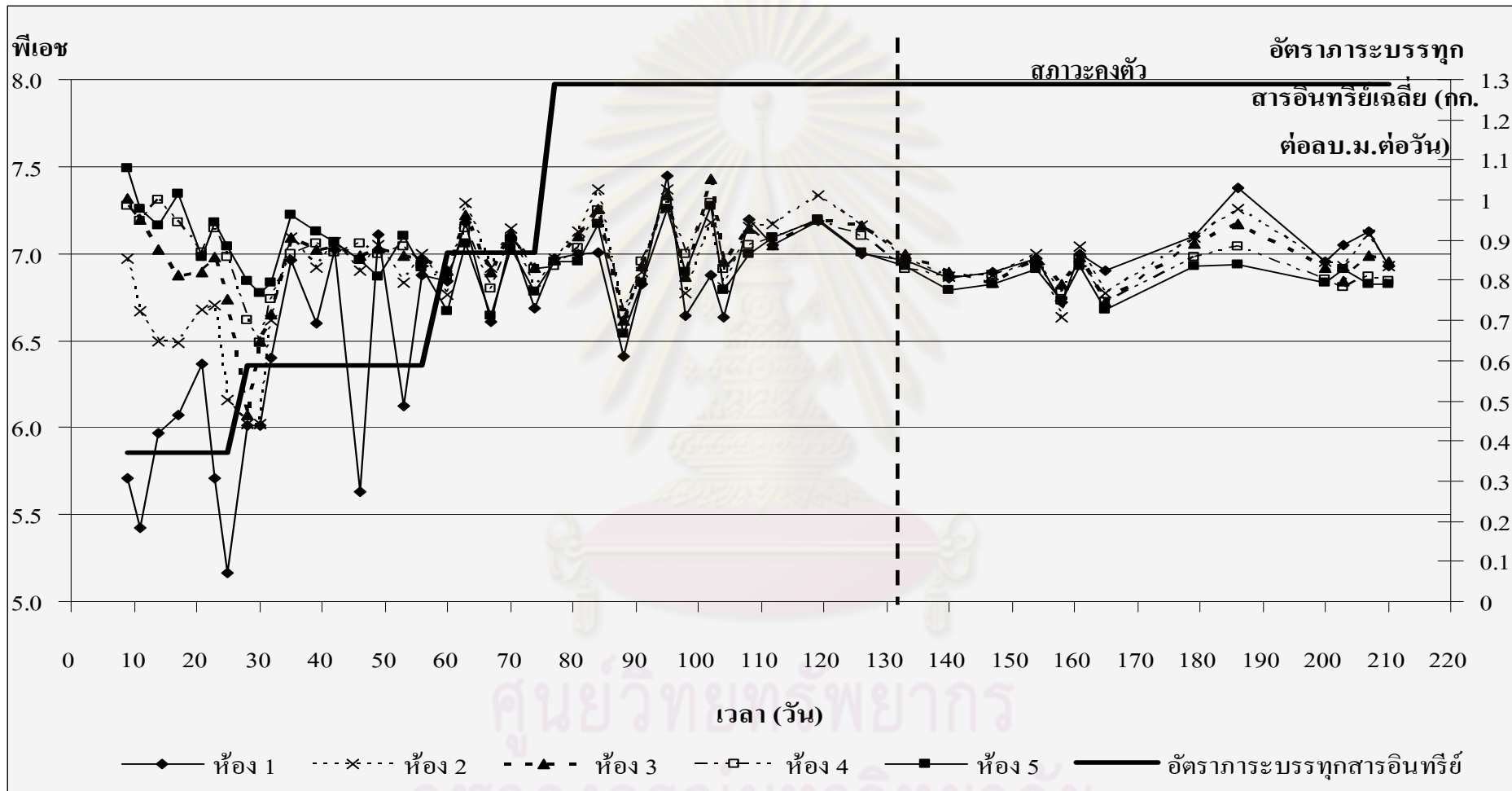
สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ก่อนระบบคงตัว	76.36±2.80, 0.04, 15.12 (8)	73.56±1.42, 0.02, 12.32 (8)	67.47±1.14, 0.02, 6.23 (8)	66.26±2.19, 0.03, 5.02 (8)	68.73±2.81, 0.04, 1.12 (8)
ระบบคงตัวแล้ว	74.78±6.89, 0.09, 13.54 (3)	66.63±5.82, 0.09, 5.39 (3)	66.21±0.89, 0.01, 4.97 (3)	66.04±2.41, 0.04, 4.80 (3)	65.38±3.93, 0.06, 4.14 (3)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน, ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น61.24%ที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ (เปอร์เซ็นต์) (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

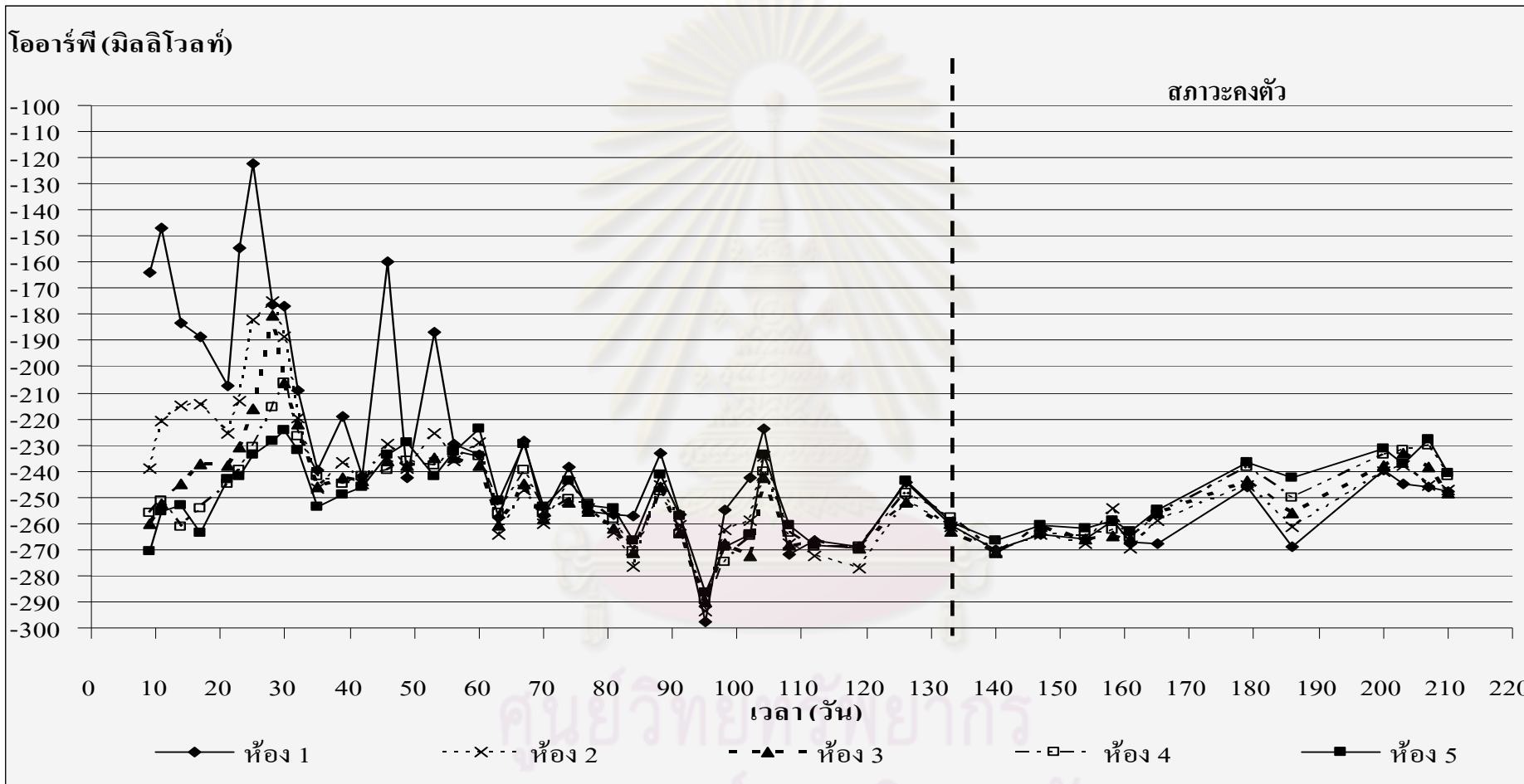
จากตารางที่ 4.15 พบว่าช่วงก่อนระบบคงตัวและหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว (หลังจากวันที่ 133 เป็นต้นไป) ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นของหัวเชื้อ (61.24%) ทุกห้อง แสดงว่าทุกห้องสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่เข้ามาในระบบได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละห้องพบว่าห้อง 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุด เนื่องจากเป็นห้องแรกที่รับน้ำเสียเข้ามาในระบบจึงได้รับสารอินทรีย์สูงสุด ส่งผลให้จุลชีพได้รับอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นห้อง 1 จึงมีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนในห้อง 3-5 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้นจาก 61.24% จะน้อยกว่าห้อง 1 หรือ 2 เนื่องจากสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีที่เหลือมาถึงห้อง 3-5 มีความเข้มข้นน้อยลง เพราะถูกจุลชีพในห้อง 1 และ 2 นำไปใช้ก่อนแล้ว



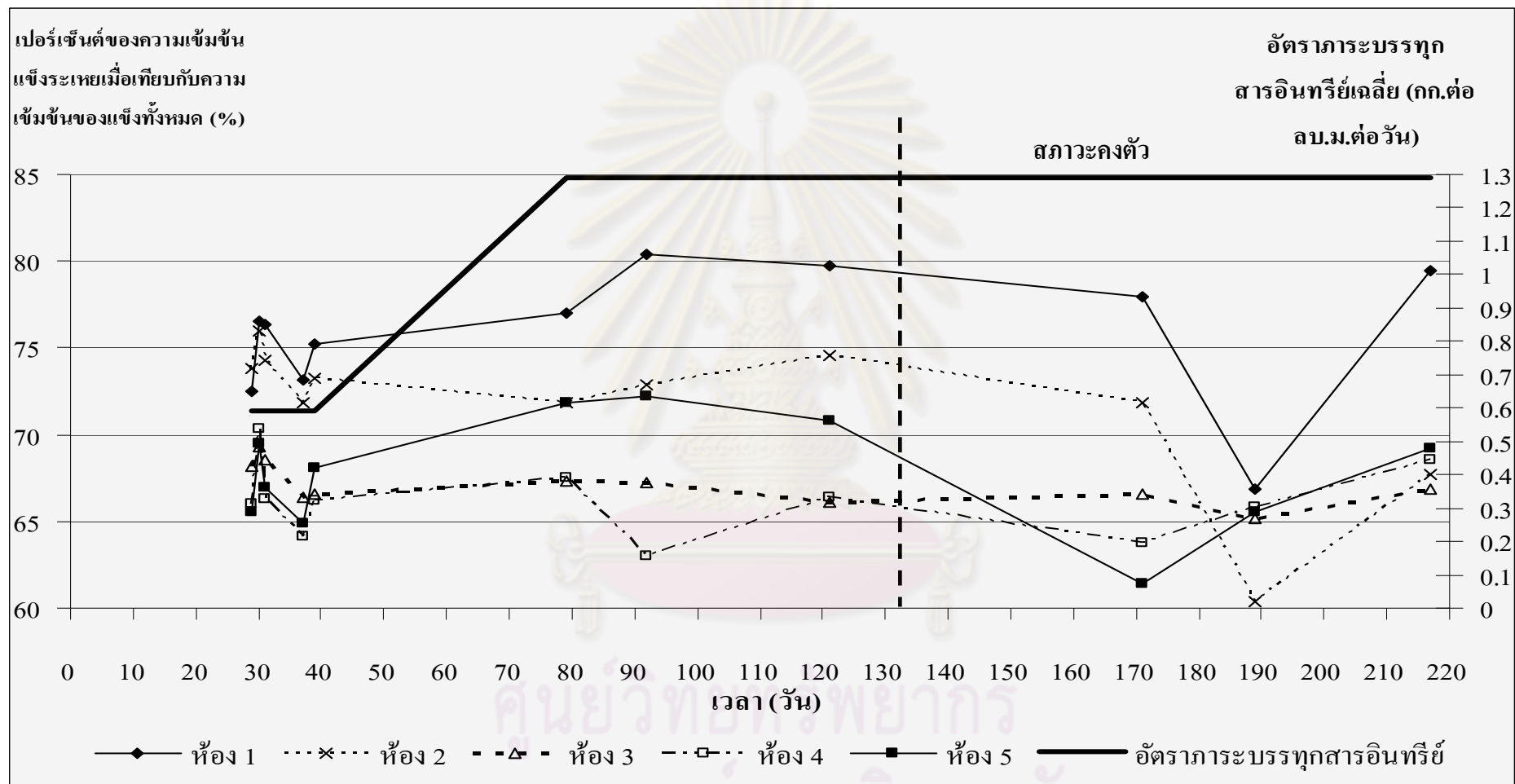
รูปที่ 4.11 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา



รูปที่ 4.12 ค่าพีเอชของน้ำเสียห้อง 1-5 และอัตราาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา



รูปที่ 4.13 ค่าโอร่าพีของน้ำเสียห้อง 1-5 กับเวลา



รูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดในห้อง 1-5 และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย กับเวลา

4.2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จะทำการป้อนน้ำเสียลักษณะเดิมซึ่งเป็นน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ตั้งแต่วันที่ 133 จนถึงวันที่ 230 ของการเดินระบบเพื่อเก็บข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่ออกจากระบบและน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในช่วงที่ป้อนน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียให้กับระบบ หลังจากนั้นในวันที่ 231 ถึงวันที่ 258 จะทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน และวันที่ 259 ถึงวันที่ 273 จะทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ซึ่งในแต่ละช่วงของการเดินระบบจะทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำเข้า น้ำออก และน้ำเสียในห้อง 1-5 เพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสภาวะที่ระบบได้รับน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

น้ำเสียที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศของงานวิจัยนี้ คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลทรายเป็นสารอินทรีย์เหมือนกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองที่ 4.1 (การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว) โดยส่วนประกอบต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 เช่นกัน ซึ่งส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีและมีแอมโมเนียจะเหมือนกันทุกอย่าง โดยจะมีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์เข้าไปเท่านั้น ตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้ คือ 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นแต่ละครั้งได้ถูกวิเคราะห์หาค่าซีโอดี สภาพด่าง พีเอช ไออาร์พี แอมโมเนีย ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมทุกครั้ง ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จะแสดงโดยค่าเฉลี่ย ดังตาราง ที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบภายใต้สภาวะต่างๆ

วันที่ เดิน ระบบ	ระยะ เวลา (วัน)	สภาวะของระบบ	^A เวลากักเก็บทาง ชลศาสตร์ของ ระบบ (วัน)	ซีโอดี (มก.ต่อ ลิตร)	^B อัตราการระ บรทุก สารอินทรีย์ เฉลี่ย (กก. ต่อลบ.ม. ต่อวัน)	สภาพต่าง (มก.ต่อลิตร ในรูป แคลเซียม คาร์บอเนต)	พีเอช	ไออาร์พี (มิลลิ โวลต์)	แอมโมเนีย (มก.ต่อลิตร ในรูป ไนโตรเจน)	ทีเคเอ็น (มก.ต่อลิตร ในรูป ไนโตรเจน)	ฟอสฟอรัส (มก.ต่อลิตร ในรูป ฟอสฟอรัส)	แมกนีเซียม (มก.ต่อลิตร ในรูป แมกนีเซียม)
133 ถึง 230	97	ระบบเข้าสู่สภาวะ คงตัว (ไม่มี แอมโมเนีย)	1.58	2,038.93	1.29	132.92	7.10	-259.29	0	44.23	8.93	9.56
231 ถึง 258	27	แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจน	1.58	2,309.71	1.29	109.90	6.51	-267.11	3,512.92	3,557.34	9.03	9.69
259 ถึง 273	14	แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจน	1.58	2,373.04	1.29	93.75	6.96	-293.00	4,531.99	4,576.34	9.04	9.68

หมายเหตุ : ^Aเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของระบบมีค่า 1.58 วันเท่ากันตั้งแต่วันที่ 133 ถึง 273 เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีความจุ 10 ลิตร และอัตราการไหลของระบบที่ใช้มีค่า 6.336 ลิตรต่อวันเท่ากันตั้งแต่วันที่ 133 ถึง 273

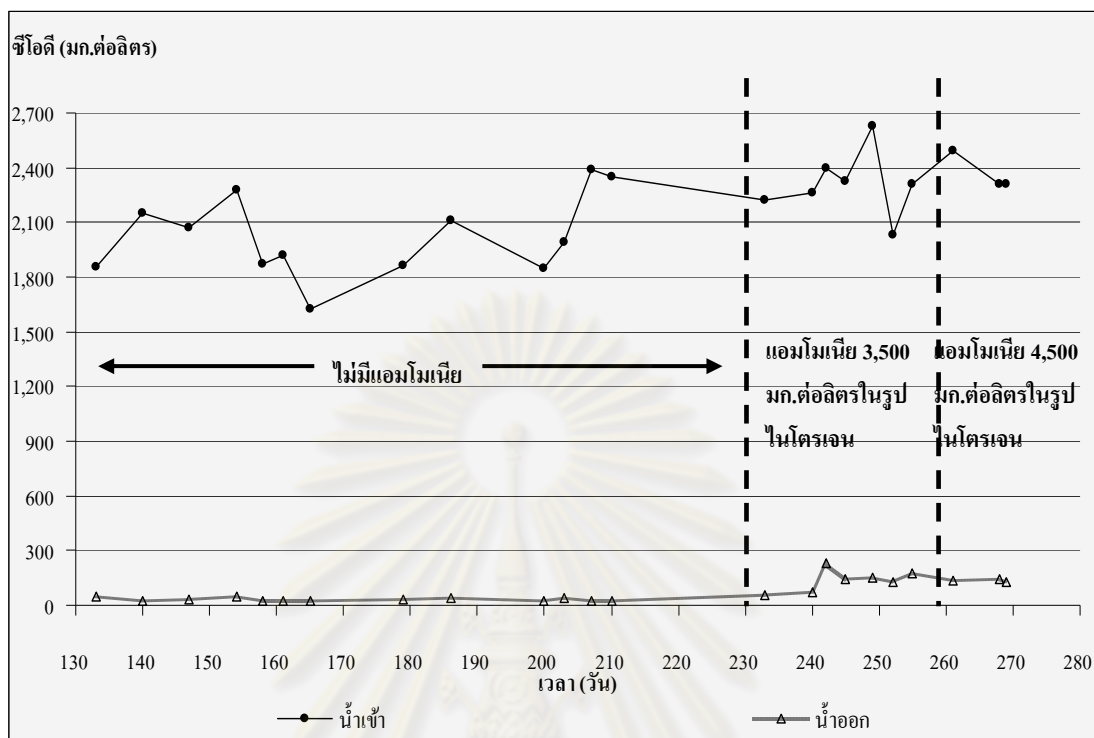
^Bอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยมีค่า 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันเท่ากันตั้งแต่วันที่ 133 ถึง 273 แม้ว่าซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2,038.93 เป็น 2,309.71 และ 2,373.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าซีโอดีที่เพิ่มขึ้นมาจากคลอไรด์ (จากแอมโมเนียมคลอไรด์) เนื่องจากคลอไรด์เป็นรีดิคิงเอเจนต์ตัวหนึ่งที่ทำให้เกิดค่าซีโอดีในสารอินทรีย์ (มันสิน และมันรักษ์ ตัณฑุเทศม์, 2547)

จากตารางที่ 4.16 พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นที่สภาวะต่างๆของระบบมีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 2,038.93-2,373.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าซีโอดีที่กำหนดไว้ (2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนค่าเฉลี่ยของสภาพต่างมีค่าอยู่ในช่วง 93.75-132.92 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีปริมาณไม่มาก เนื่องจากค่าจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณต่าง (โซเดียมไบคาร์บอเนต) ที่เติมให้กับน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อปรับให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.80-7.20 โดยค่าที่วัดได้จริงจะอยู่ในช่วง 6.51-7.10 ค่าไออาร์พีที่ได้มีค่าเป็นลบอยู่ในช่วง -259.29 ถึง -293.00 มิลลิโวลท์ ส่วนค่าแอมโมเนียมีค่าในช่วง 0-4,531.99 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน และค่าทีเคเอ็นมีค่าในช่วง 44.23-4,576.34 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ซึ่งทั้ง 2 ค่าจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณแอมโมเนียที่ป้อนให้กับระบบ ส่วนค่าฟอสฟอรัสมีค่าในช่วง 8.93-9.04 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบฟอสฟอรัส และค่าแมกนีเซียมมีค่าในช่วง 9.56-9.69 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบแมกนีเซียม ซึ่งทั้ง 2 ค่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียที่ออกจากระบบในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศได้ทำการเก็บน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับเวลา เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบเมื่อเทียบกับเวลาระหว่างช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงาน of ระบบ ณ เวลานั้นๆ ว่าระบบยังสามารถทำงานได้อย่างปกติหรือระบบกำลังเสียสมดุล เช่น วัดจากค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง และทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด ปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการที่ระบบกำจัดสารอินทรีย์ ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ซีโอดี

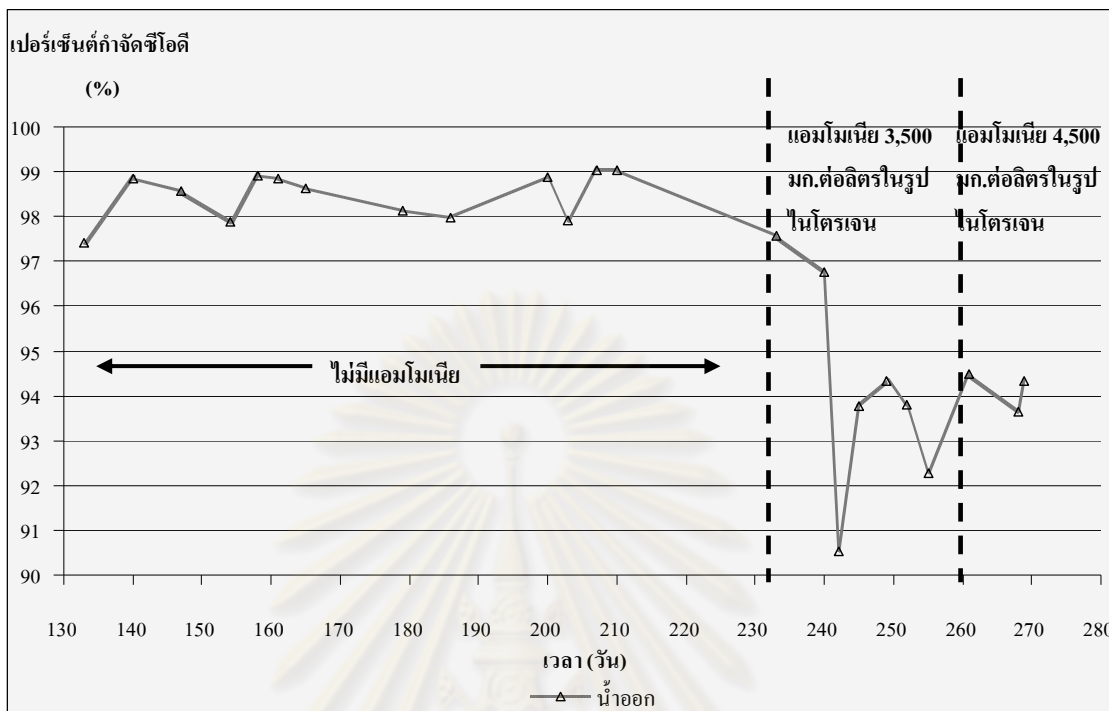


รูปที่ 4.15 ค่าซีโอดีน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

จากรูปที่ 4.15 พบว่าในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นและมีความแปรปรวนมากขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียแม้อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยที่เข้าระบบมีค่าเท่าเดิม โดยมีค่าเฉลี่ย 136.11 ± 59.34 มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.44) แสดงว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้น้อยลงเมื่อได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย โดยค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียมีค่า 30.92 ± 10.77 มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.35)

สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนพบว่าซีโอดีน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียแต่มีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน โดยมีค่าเฉลี่ย 138.60 ± 7.93 มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.06) แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก 3,500 เป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีมากนัก

4.2.2.2 เปร้รเซ็นต์การกำจัดซีโอดี

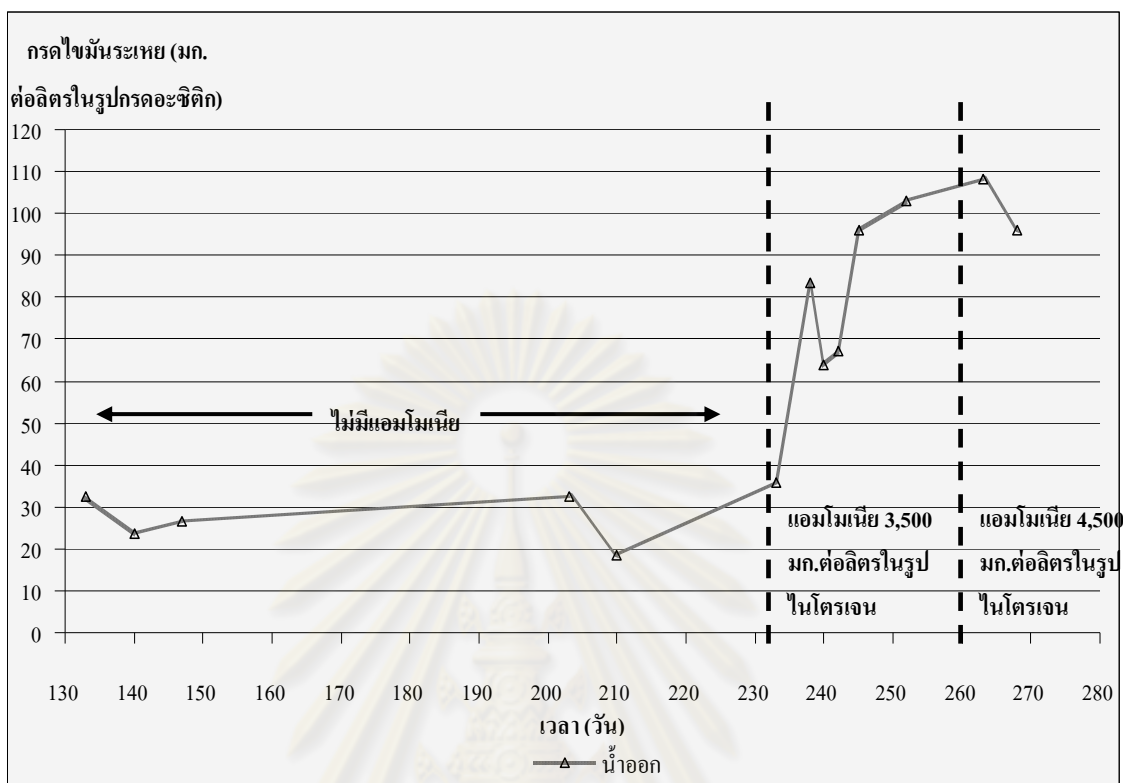


รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

จากรูปที่ 4.16 พบว่าในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากระบบ (เทียบระหว่างซีโอดีน้ำเข้า กับซีโอดีน้ำออกจากระบบ)มีค่าลดลงและมีความแปรปรวนมากขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย แม้อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยที่เข้าระบบมีค่าเท่าเดิม โดยมีค่าเฉลี่ย $94.14 \pm 2.43\%$ (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.03) แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเมื่อได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย โดยค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียมีค่าเฉลี่ย $98.46 \pm 0.53\%$ (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.005)

สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีมีค่าลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียแต่มีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน โดยมีค่าเฉลี่ย $94.15 \pm 0.45\%$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.005) แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก 3,500 เป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากนัก

4.2.2.3 กรดไขมันระเหย



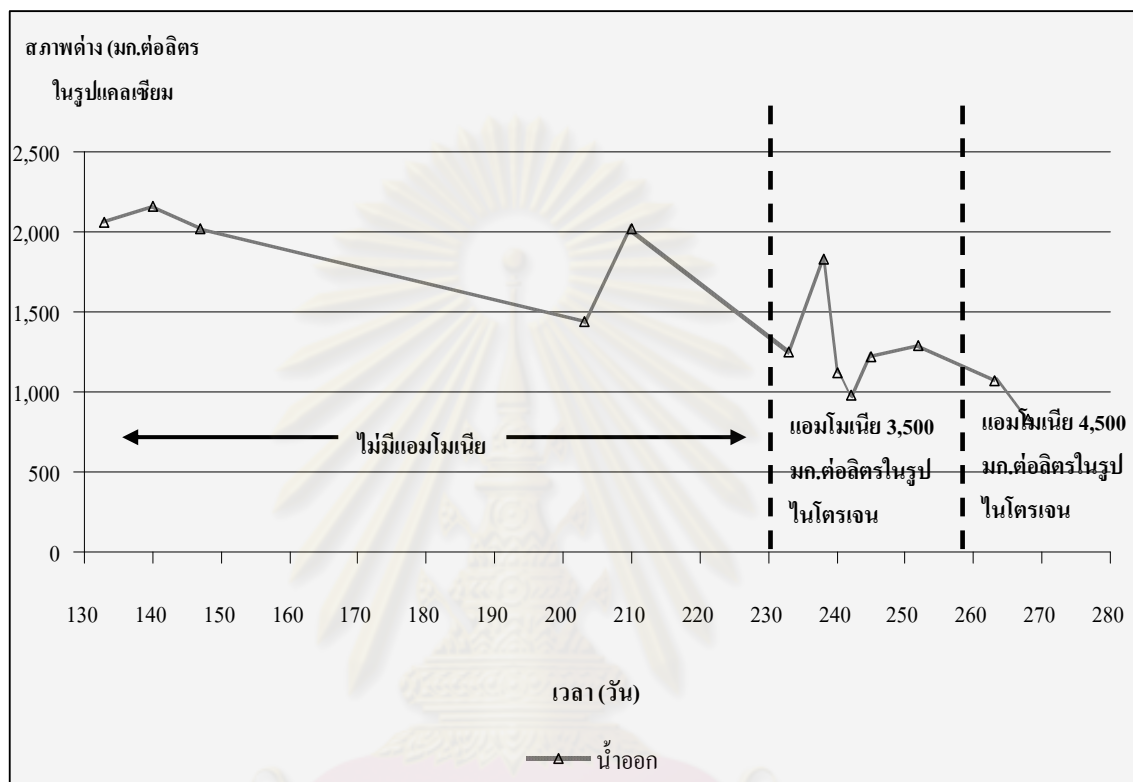
รูปที่ 4.17 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

จากรูปที่ 4.17 พบว่าในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าสะสมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆและมีค่ามากกว่าช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยมีค่าเฉลี่ย 74.87 ± 24.60 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.33) แสดงว่าการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียส่งผลให้เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นแม้อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ยจะมีค่าเท่าเดิมที่ 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าแอมโมเนียมีพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนมากกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างกรดจึงส่งผลให้จุลินทรีย์สร้างมีเทนนำกรดไขมันระเหยไปใช้ได้ น้อยลง ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในระบบ (McCarty และ McKinney, 1961) ซึ่งค่ากรดไขมันระเหยในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียมีค่าเฉลี่ย 26.69 ± 6.03 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.23)

สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนพบว่าค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน โดยมีค่าเฉลี่ย 102.24 ± 8.61 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก (สัมประสิทธิ์

ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.08) แสดงว่าความเข้มข้นแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นจาก 3,500 เป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ทำให้กรดไขมันระเหยเกิดการสะสมมากขึ้นกว่าเดิม

4.2.2.4 สภาพต่าง



รูปที่ 4.18 ค่าสภาพต่างของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

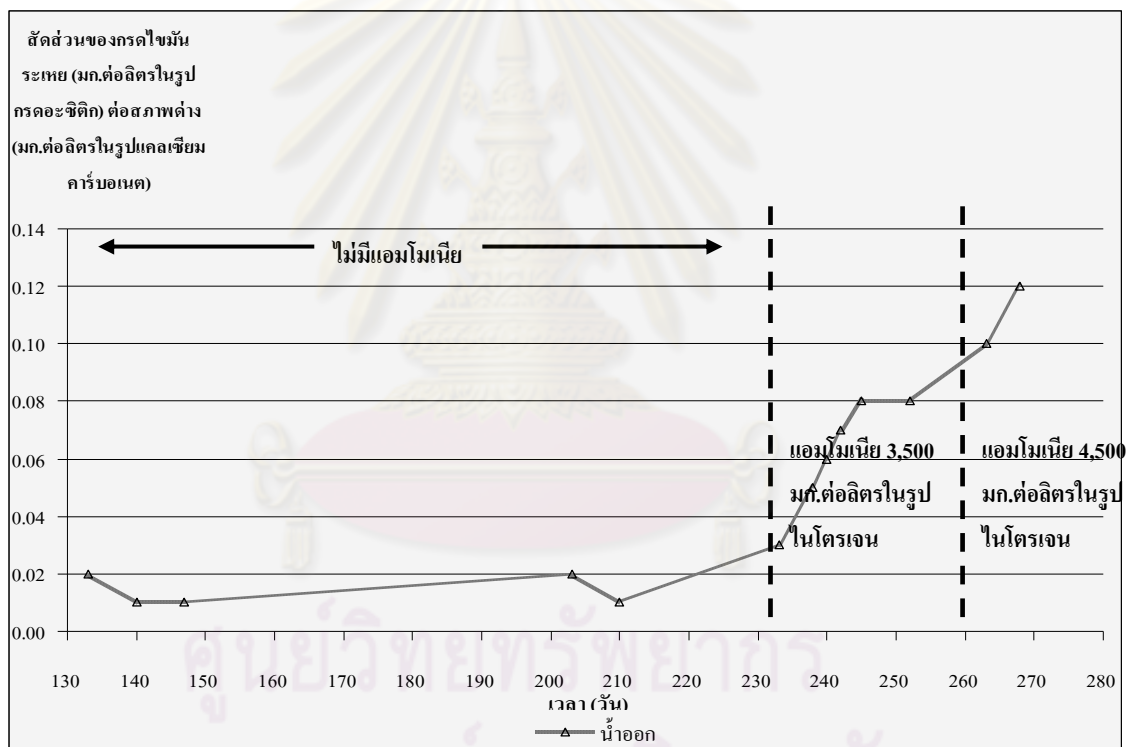
ค่าสภาพต่างเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่บ่งบอกถึงสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศ โดยที่สภาพต่างจะบอกถึงกำลังบัฟเฟอร์ที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งระบบไร้อากาศควรมีสภาพต่าง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (มันซิน ตันทุลเวศม์, 2542)

จากรูปที่ 4.18 พบว่าในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าสภาพต่างของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียและมีค่าน้อยกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตด้วย โดยมีค่าเฉลี่ย $1,282.84 \pm 291.24$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.23) ซึ่งน่าจะเป็นผลโดยตรงจากการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2.2.3 จึงเกิดการทำลายสภาพต่างจนกระทั่งสภาพต่างมีค่าต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ โดยค่าสภาพต่างในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียมีค่าเฉลี่ย $1,940.84 \pm 286.60$ มิลลิกรัมต่อ

ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.15) ซึ่งมียุ่ค่ามากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน พบว่าสภาพด่างมีค่าลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียและช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตด้วย โดยมีค่าเฉลี่ย 946.80 ± 169.53 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.18) นำเกิดจากการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยจึงทำลายสภาพด่างได้มากขึ้น

4.2.2.5 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพด่าง



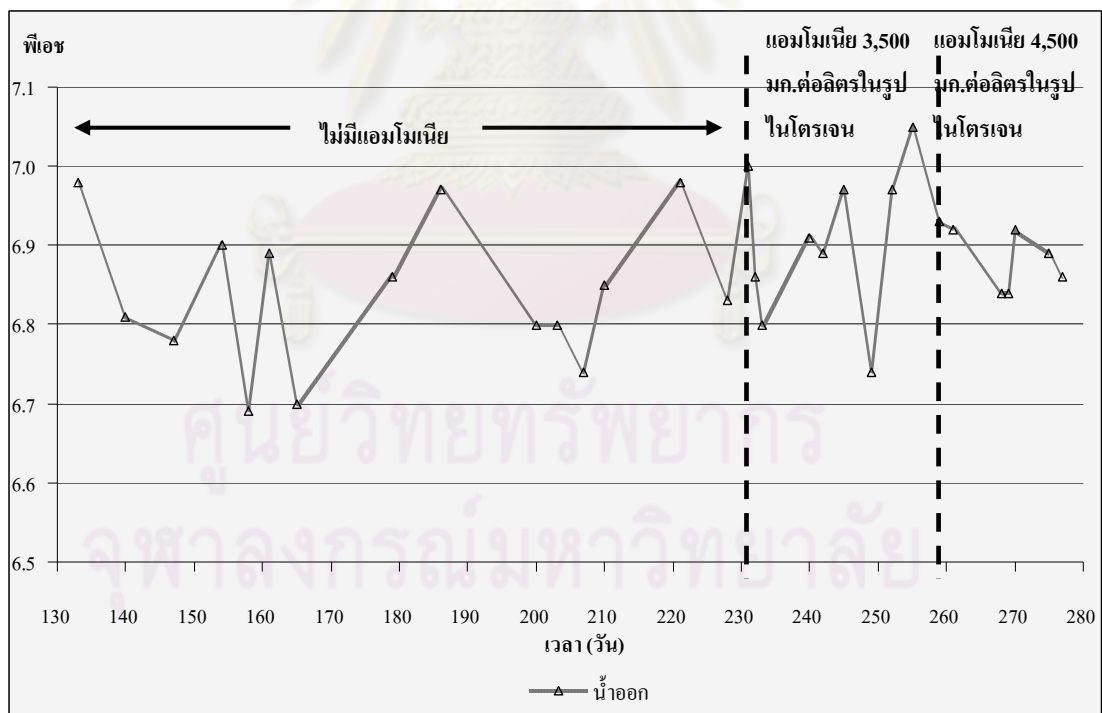
รูปที่ 4.19 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพด่างของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก) ต่อความเข้มข้นสภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถบ่งบอกถึงสภาพการทำงานของระบบได้ โดยค่าสัดส่วนนี้ควรน้อยกว่า 0.4 จึงจะถือได้ว่าระบบมีกำลังบำบัดสูง แต่ถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากขึ้นแสดงว่าระบบกำลังเสถียรลดลง ถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากกว่า 0.8 จะพบว่าค่าพีเอชกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็วหรืออาจจะลดลงไปแล้วก็ได้ (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2542)

จากรูปที่ 4.19 พบว่าในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาและมีค่ามากกว่าช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย แต่อย่างน้อยกว่า 0.4 โดยมีค่าเฉลี่ย 0.062 ± 0.019 (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.31) นำเป็นผลโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันระเหยในหัวข้อที่ 4.2.2.3 และการลดลงของค่าสภาพต่างในหัวข้อที่ 4.2.2.4 โดยค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียมีค่าเฉลี่ย 0.014 ± 0.005 (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.36) ซึ่งน้อยกว่า 0.4 เช่นกัน

สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนพบว่าค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่ามากกว่าช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียและเพิ่มขึ้นจากช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน แต่อย่างน้อยกว่า 0.4 โดยมีค่าเฉลี่ย 0.110 ± 0.014 (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.13) เนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวข้างต้น

4.2.2.6 พีเอช

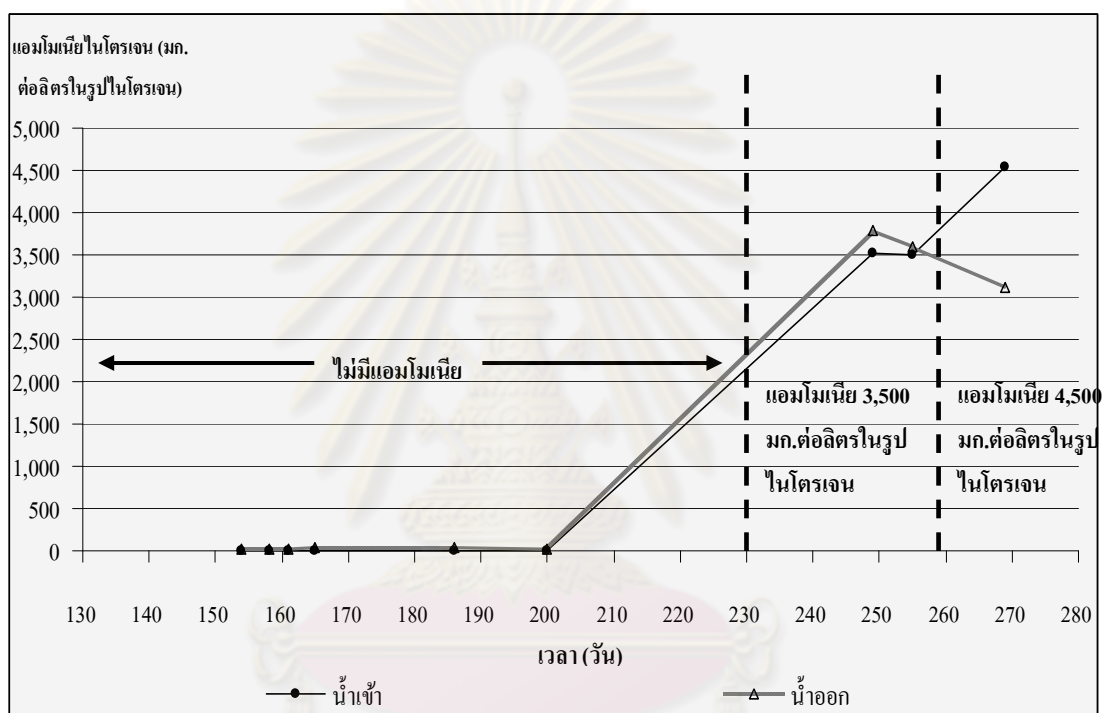


รูปที่ 4.20 ค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

ระบบไร้อากาศควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.6-7.6 (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542) จากรูปที่ 4.20 พบว่าทั้งในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 (มีค่าเฉลี่ย 6.91 ± 0.10 สัมประสิทธิ์ของส่วน

เบียงเบนมีค่า 0.01) และ 4,500 (มีค่าเฉลี่ย 6.89 ± 0.04 สัมประสิทธิ์ของส่วนเบียงเบนมีค่า 0.01) มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย(มีค่าเฉลี่ย 6.84 ± 0.09 สัมประสิทธิ์ของส่วนเบียงเบนมีค่า 0.01) และมีค่ามากกว่า 6.60 น่าจะเนื่องมาจากค่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพค้างยังน้อยกว่า 0.4 ส่งผลให้ค่าพีเอชยังเป็นกลางและอยู่ในช่วงที่ระบบยังสามารถทำงานได้

4.2.2.7 แอมโมเนียไนโตรเจน



รูปที่ 4.21 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบ

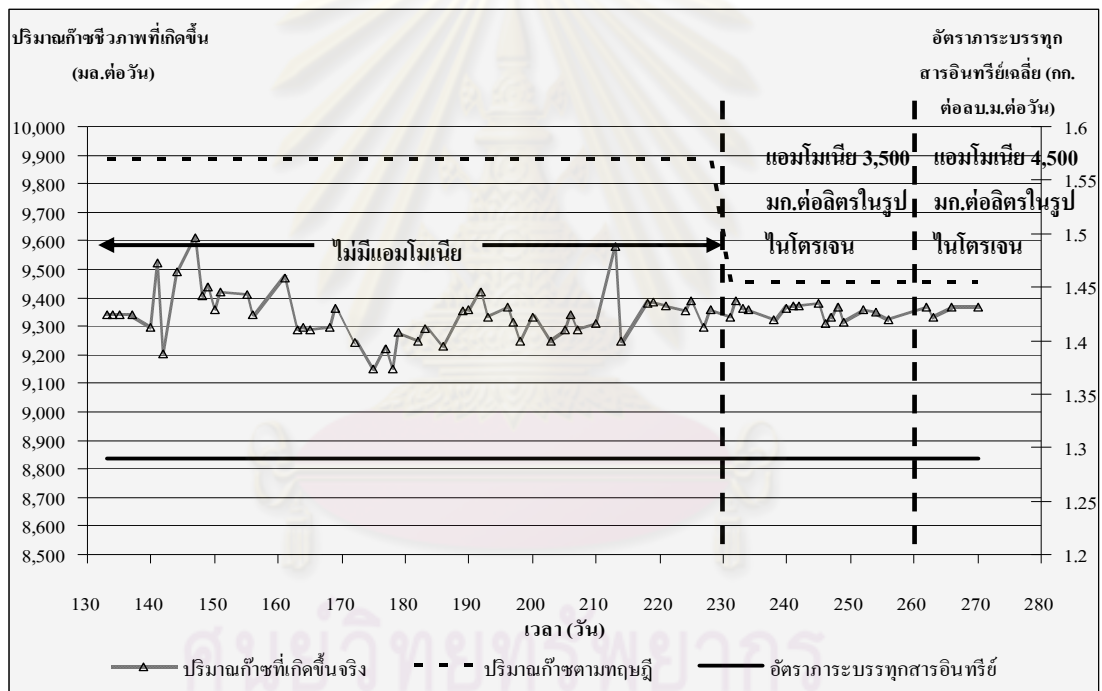
ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

จากรูปที่ 4.21 พบว่าในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนีย น้ำเข้าจะไม่มีแอมโมเนียไนโตรเจน ส่วนน้ำออกมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 27.53 ± 10.46 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบียงเบนมีค่า 0.38) สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน พบว่าน้ำเข้าและน้ำออกมีแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยมีค่าเฉลี่ย $3,512.92 \pm 7.94$ (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบียงเบนมีค่า 0.002) และ $3,687.00 \pm 131.52$ (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบียงเบนมีค่า 0.036) มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย

3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน น้ำออกมีค่าแอมโมเนียในโตรเจนมากกว่าน้ำเข้าระบบเล็กน้อยซึ่งอาจเนื่องมาจากเกิดการย่อยสลายเซลล์จุลินทรีย์ เป็นต้น

สำหรับในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน พบว่าน้ำเข้ามีแอมโมเนียมากกว่าช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน โดยมีค่าแอมโมเนียในโตรเจน 4,531.99 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ส่วนน้ำออกมีค่าแอมโมเนียในโตรเจน 3,122.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนซึ่งลดลงจากน้ำเข้าและน้อยกว่าน้ำออกของช่วง 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน อาจจะเป็นเนื่องมาจากมีการนำไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไปใช้ในการสร้างตะกอนในระบบ เป็นต้น

4.2.2.8 ปริมาณ และคุณภาพของก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.22 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณซีโอดีที่ระบบกำจัดได้ ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบได้ จากรูปที่ 4.22 พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนจะลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียเนื่องจากระบบกำจัดซีโอดีได้น้อยลงดังหัวข้อ 4.2.2.2 แต่จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในรูปไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย $9,337.82 \pm 92.77$ $9,333.00 \pm 75.34$ และ $9,358.75 \pm 16.50$ มิลลิกรัมต่อวัน (สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมีค่า 0.099 0.008 0.002) ตามลำดับ แสดงว่าแอมโมเนียไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ โดยค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบแล้วสามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้จะคิดจากซีโอดีของสารอินทรีย์เท่านั้นซึ่งก็คือค่าซีโอดีเฉลี่ย 2,038.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 133 ถึง 270 หรือเท่ากับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีและที่เกิดขึ้นจริง ณ เวลาต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีและที่เกิดขึ้นจริง ณ เวลาต่างๆ

วันที่ทำการเดินระบบ	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย (กก. ต่อลบ.ม.ต่อวัน)	ซีโอดีเฉลี่ย ที่กำจัดได้ (มก.ต่อวัน)	*ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่ควรเกิดตามทฤษฎี (มล.ต่อวัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง (มล.ต่อวัน)	สัดส่วนของปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงต่อซีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดได้ (มล. ก๊าซชีวภาพต่อ มก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)
133 ถึง 230	1.29	12,702.86 \pm 65.99	9,872.66 \pm 51.29	9,337.82 \pm 92.77	0.7351
231 ถึง 258	1.29	12,146.85 \pm 318.07	9,440.53 \pm 47.2	9,333.00 \pm 75.34	0.7683
259 ถึง 270	1.29	12,151.07 \pm 64.79	9,443.81 \pm 50.35	9,358.75 \pm 16.50	0.7702

หมายเหตุ : *ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีได้จากสมมติฐาน คือ 1 กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 777.20 มิลลิกรัม ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เกิดก๊าซชีวภาพ 0.77 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด การคำนวณและที่มาแสดงในภาคผนวก) โดยมีสมมติฐานว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทน 50% และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50% เป็นองค์ประกอบ ส่วนก๊าซแอมโมเนียมีสัดส่วนที่น้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญเนื่องจากค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจนค่อนข้างเป็นกลาง ทำให้ในน้ำเสียมีแอมโมเนียอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ (ก๊าซแอมโมเนีย NH₃) ต่ำกว่า 1% (มันสิน ตันกุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตันกุลเวศม์, 2547)

จากตารางที่ 4.17 พบว่าสัดส่วนของปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงต่อซีโอดีเฉลี่ยที่กำจัดได้ ในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียมีค่า 0.7351 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน มีค่าสัดส่วน 0.7683 และ 0.7702 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี(เกิดก๊าซชีวภาพ 0.7772 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) แสดงว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ป้อนให้กับระบบในงานวิจัยนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

คุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถบ่งบอกได้ด้วยสัดส่วนก๊าซมีเทนซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ สำหรับระบบไร้อากาศอัตราการสร้างก๊าซมีเทนเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถใช้บ่งบอกถึงสมรรถนะการทำงานของระบบได้ ปริมาณก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ ช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ตามลำดับ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ ช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน

สภาวะของระบบ	เปอร์เซ็นต์มีเทน
ข้อมูลของ ^A วันที่ 230 ซึ่งอยู่ในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย (ระบบคางตัว) ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	56.23%
ข้อมูลของ ^B วันที่ 256 ซึ่งอยู่ในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	52.00%
ข้อมูลของ ^C วันที่ 270 ซึ่งอยู่ในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	56.60%

หมายเหตุ : ^Aทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในวันที่ 230 เนื่องจากเป็นวันสุดท้ายของการเดินระบบในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย

^Bทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในวันที่ 256 เนื่องจากใกล้จะเป็นวันสุดท้ายของการเดินระบบในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน

^Cทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนในวันที่ 270 เนื่องจากใกล้จะเป็นวันสุดท้ายของการเดินระบบในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน

จากตารางที่ 4.18 พบว่าช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ 56.23% และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ 52.00% และ 56.60% ตามลำดับ โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งในช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนียมีค่าใกล้เคียงกับสมมติฐานข้างต้นที่กำหนดให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ 50%

4.2.2.9 เปอร์เซนต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมด

ค่าเปอร์เซนต์ของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อที่นำมาใช้ในระบบสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพโดยรวมในการทำงานของระบบในด้านการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่งคือเปอร์เซนต์ของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตารางที่ 4.19 จะแสดงค่าเปอร์เซนต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่ 61.24% ในช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ตามลำดับ

สารประกอบสตรูไวท์จะเกิดความไม่คงตัวเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส โดยผลึกสตรูไวท์จะสูญเสียแอมโมเนียและโมเลกุลของน้ำไปบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิของความร้อนที่ได้รับ (Sarkar, 1991) และเนื่องจากการวิเคราะห์หัวข้อที่ 4.3.2 พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการสร้างผลึกของสตรูไวท์ขึ้นในระบบหลังจากที่ระบบได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียแล้ว ดังนั้นค่าเปอร์เซนต์ของแฉะระเหยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น 61.24% ในช่วงที่ระบบรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย ซึ่งในการวิเคราะห์ต้องทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากสตรูไวท์สูญเสียแอมโมเนียและโมเลกุลของน้ำระหว่างการวิเคราะห์ของแฉะระเหย (น้ำหนักของแฉะระเหยที่มีในตัวอย่างวัดได้จากน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปหลังการเผา)

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยที่เพิ่มขึ้น
จากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%)
ณ สภาพที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สถานะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ข้อมูลของ ^A วันที่ 217 ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	18.23%	6.44%	5.61%	7.32%	8.00%
ข้อมูลของ ^B วันที่ 259 ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	28.99%	24.97%	19.04%	20.04%	21.95%
ข้อมูลของ ^C วันที่ 273 ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.29 กก.ต่อลบ.ม.ต่อวัน	30.84%	29.43%	24.11%	27.03%	27.89%

หมายเหตุ : ^Aวันที่ 217 เป็นวันที่เก็บข้อมูลสุดท้ายก่อนที่จะทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

^Bวันที่ 259 เป็นวันที่เก็บข้อมูลสุดท้ายก่อนที่จะทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

^Cวันที่ 273 เป็นวันที่เก็บข้อมูลสุดท้ายในช่วงที่ทำการป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จากตารางที่ 4.19 พบว่าทั้งในช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนียค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเพิ่มขึ้นจาก 61.24% ทุกห้อง และเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยพบว่ามีค่ามากสุดในช่วงน้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน รองลงมาคือช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน และน้อยที่สุดในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย สอดคล้องกับแนวโน้มของการเกิดสารประกอบสตรูไวท์ และพบว่าทั้ง 2 ช่วงของการรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยในห้อง 1 จะเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยสตรูไวท์น่าจะเกิดในห้อง 1 ได้มากที่สุดเพราะเป็นส่วนแรกที่รับแอมโมเนียในโตรเจน แมกนีเซียม และฟอสเฟตในน้ำเสีย

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ในช่วงของการป้อนน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียในห้อง 1-5 เทียบกับเวลา เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นต่อเวลาในห้อง 1-5 ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้

4.2.3.1 ซีโอดี

ค่าซีโอดีที่เหลือในแต่ละห้องบ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดซีโอดีของแต่ละห้องและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ห้องถัดไปได้ ซึ่งข้อมูลของค่าเฉลี่ยซีโอดีในแต่ละห้อง ณ สถานะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ตามลำดับแสดงในตารางที่ 4.20

จากรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.20 พบว่าช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจนค่าซีโอดีและซีโอดีเฉลี่ยในแต่ละห้องเพิ่มขึ้นจากช่วงไม่มีแอมโมเนียแสดงว่าแอมโมเนียส่งผลให้ระบบกำจัดสารอินทรีย์ได้น้อยลง และพบว่าทั้ง 3 ช่วงค่าซีโอดีเฉลี่ยมีค่ามากสุดในห้อง 1 แล้วลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้าย เนื่องจากห้อง 1 เป็นห้องแรกที่ได้รับน้ำเสียเข้ามาในระบบ แล้วจึงมีการกำจัดซีโอดีไปเรื่อยๆ ในขณะที่น้ำเสียไหลจากห้อง 1 ไปถึงห้อง 5

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยซีไอดีในแต่ละห้อง ณ สถานะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สถานะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	98.36±59.44 , 0.60 (13)	52.57±31.27 , 0.59 (13)	35.45±9.52 , 0.27 (13)	32.83±11.79 , 0.36 (13)	29.39±9.04, 0.31 (13)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	155.32±44.69, 0.29 (7)	144.15±37.13, 0.26 (7)	146.02±28.01, 0.19 (7)	138.48±35.94, 0.26 (7)	125.33±36.39, 0.29 (7)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	140.61±11.16, 0.08 (3)	110.60±17.24, 0.16 (3)	116.32±17.55, 0.15 (3)	104.81±0.95, 0.01 (3)	112.07±20.62, 0.18 (3)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

4.2.3.2 กรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยในระบบไร้อากาศเกิดจากจุลชีพสร้างกรดเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย จากนั้นถูกนำไปใช้สร้างมีเทนโดยจุลชีพสร้างมีเทนทำให้ค่าซีไอดีในน้ำเสียลดลง ซึ่งข้อมูลของค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง ณ สถานะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละห้อง
ณ สถานะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สถานะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	106.45±97.07, 0.91 (5)	24.86±5.11, 0.21 (5)	24.09±3.38, 0.14 (5)	22.53±5.02, 0.23 (5)	17.58±4.39, 0.25 (5)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	102.80±12.84, 0.12 (6)	91.04±12.85, 0.14 (6)	88.85±11.74, 0.13 (6)	83.15±25.38, 0.31 (6)	76.87±24.78, 0.32 (6)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	146.09±17.31, 0.12 (2)	122.02±15.99, 0.13 (2)	133.34±47.14, 0.35 (2)	115.96±31.40, 0.27 (2)	117.93±30.80, 0.26 (2)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

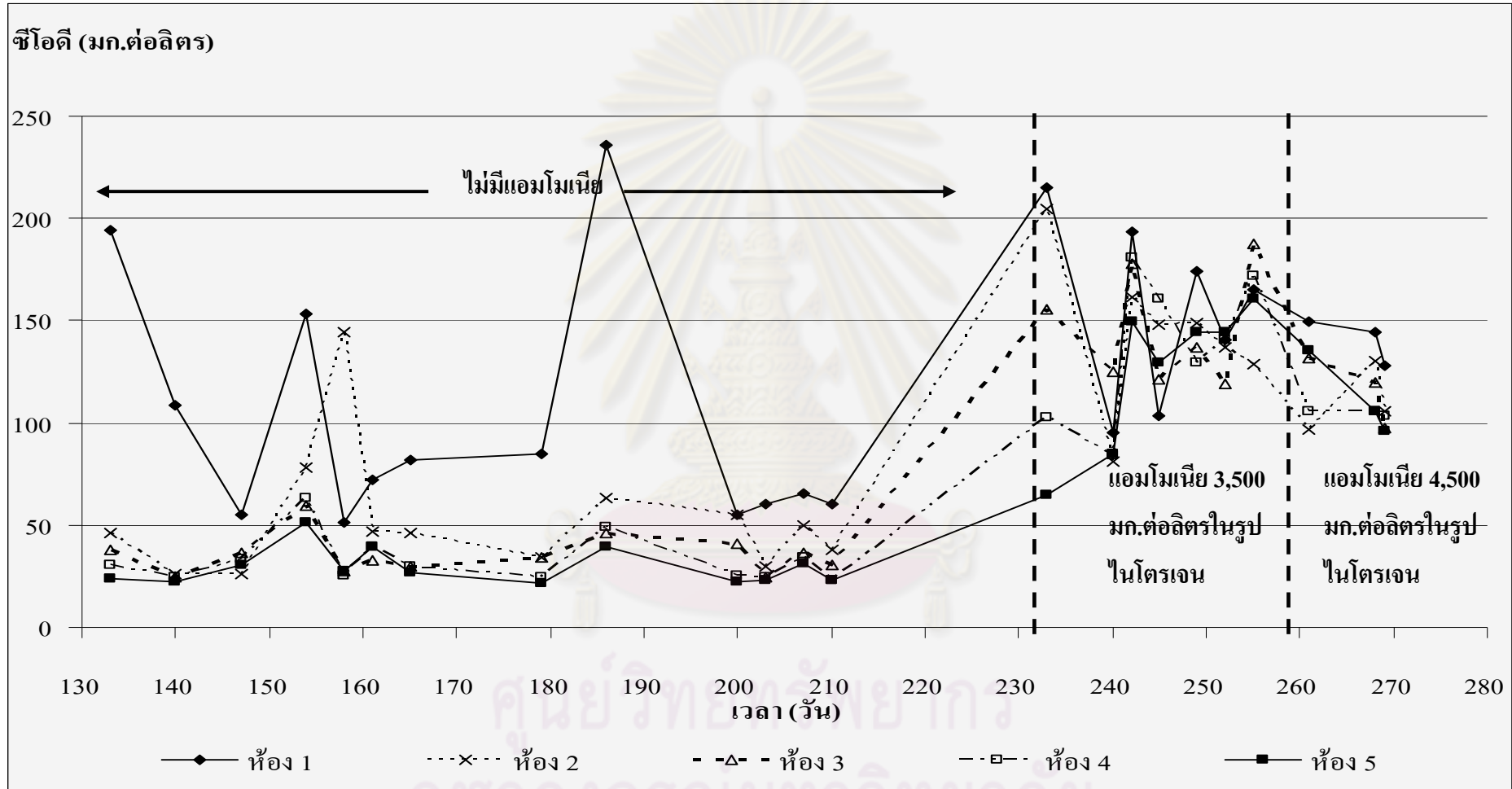
จากรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.21 พบว่าช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่ากรดไขมันระเหยและกรดไขมันระเหยเฉลี่ยในแต่ละห้องมีค่ามากขึ้นจากช่วงที่ไม่มีแอมโมเนีย แสดงว่าแอมโมเนียทำให้มีการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แม้ไม่มีการเพิ่มค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าแอมโมเนียมีพิษต่อจุลชีพที่สร้างมีเทนทำให้จุลชีพสร้างมีเทนนำกรดไขมันระเหยไปใช้ได้น้อยลง ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยขึ้นในระบบ(McCarty และ McKinney ,1961) และพบว่ากรดไขมันระเหยในห้อง 1 มีค่ามากที่สุดแล้วลดลงตามลำดับไปจนถึงห้องสุดท้าย เนื่องจากมีการนำกรดไขมันระเหยไปใช้ในระหว่างที่น้ำเสียไหลจากห้อง 1 ไปถึงห้อง 5

ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ยในห้อง 1-5 เพิ่มขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

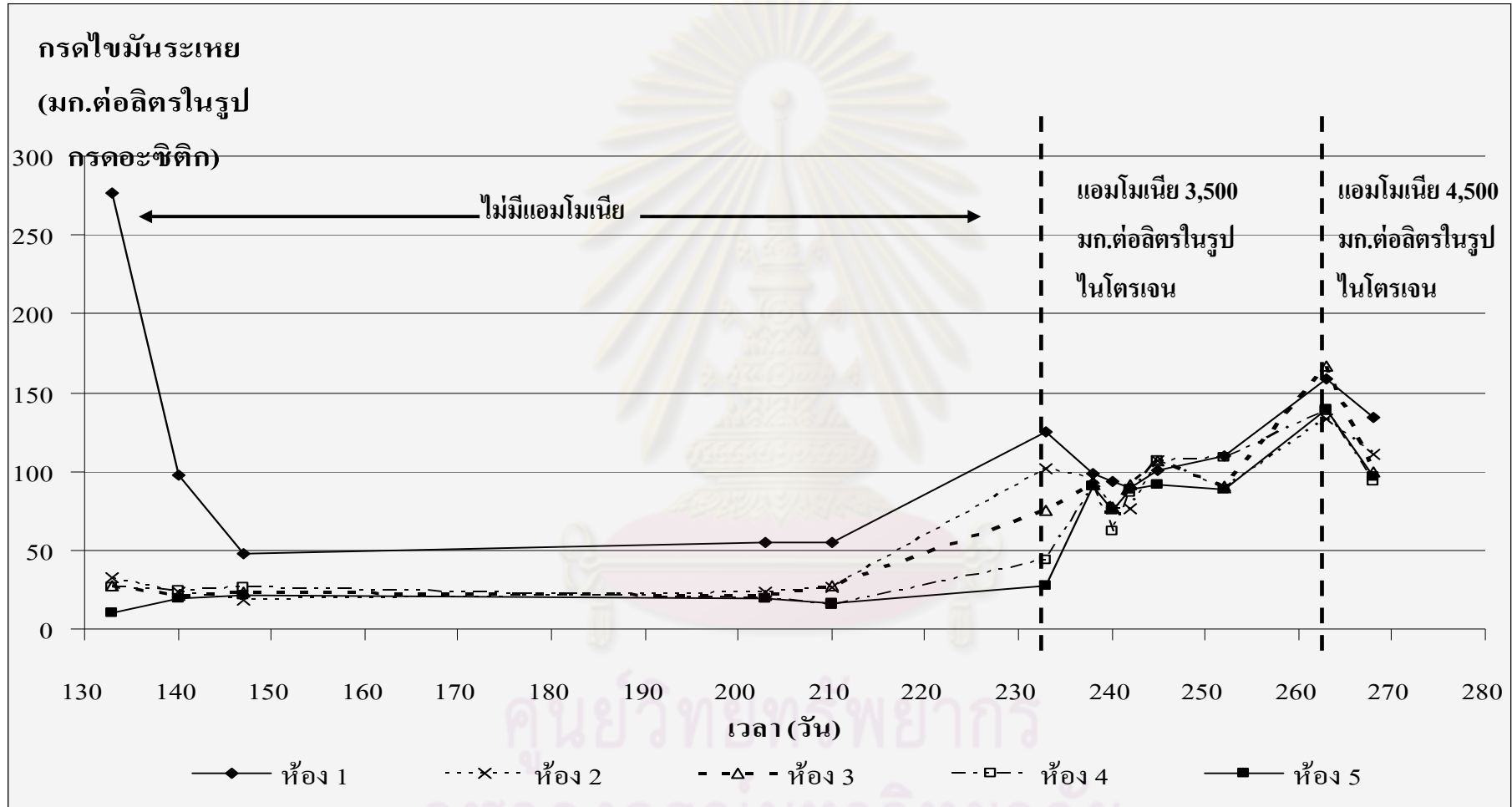
แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นแอมโมเนียจาก 3,500 เป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน
ส่งผลให้กรดไขมันระเหยเจือในห้อง 1-5 เกิดการสะสมมากขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 ค่าซีโอดีของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา



รูปที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

4.2.3.3 สภาพต่าง

ค่าสภาพต่างเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศ ซึ่งจะบอกถึงกำลังปั๊มเฟอไรในระบบ โดยระบบไร้อากาศควรมีสภาพต่าง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (มันซิน ต้นทุลเวศม์,2542) ซึ่งข้อมูลของค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ยสภาพต่างในแต่ละห้อง
ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	2,353.55± 112.45, 0.05 (5)	2,249.05± 66.94, 0.03 (5)	2,177.98± 252.45, 0.12 (5)	2,075.59± 315.14, 0.15 (5)	2,049.43± 237.12, 0.12 (5)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	1,807.54± 484.98, 0.27 (6)	1,711.56± 403.22, 0.24 (6)	1,512.08± 290.57, 0.19 (6)	1,347.93± 271.61, 0.20 (6)	1,258.35± 277.12, 0.22 (6)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	1,624.04± 107.42, 0.07 (2)	1,496.13± 158.67, 0.11 (2)	1,306.25± 238.65, 0.18 (2)	1,053.18± 222.53, 0.21 (2)	981.90± 191.98, 0.20 (2)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

จากรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.22 พบว่าช่วงที่น้ำเสียมมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าสภาพต่างลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแอมโมเนียเป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าสภาพต่างในแต่ละห้องก็ลดต่ำลงไปอีก

และพบว่าค่าสภาพต่างเฉลี่ยของทั้ง 3 ช่วงในตารางที่ 4.22 จะมากที่สุดในห้อง 1 แล้วลดลงตามลำดับ ไปจนถึงห้องสุดท้ายอาจเนื่องมาจากห้อง 1 เป็นห้องแรกที่รับน้ำเสียเข้ามาจึงมีค่าลัมป์เฟอร์มากที่สุด จากนั้นค่าลัมป์เฟอร์ในน้ำเสียจะถูกใช้ไปเรื่อยๆในขณะที่ไหลจากห้อง 1 ไปห้อง 5

4.2.3.4 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพต่าง

ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก) ต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) บอกระดับสภาพการทำงานของระบบไร้อากาศได้ โดยค่าสัดส่วนนี้ควรน้อยกว่า 0.4 แต่ถ้ามากกว่า 0.8 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็วหรืออาจลดลงแล้วก็เป็นไปได้ (มันลิน ตันฑุลเวศม์, 2542) ซึ่งข้อมูลของค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

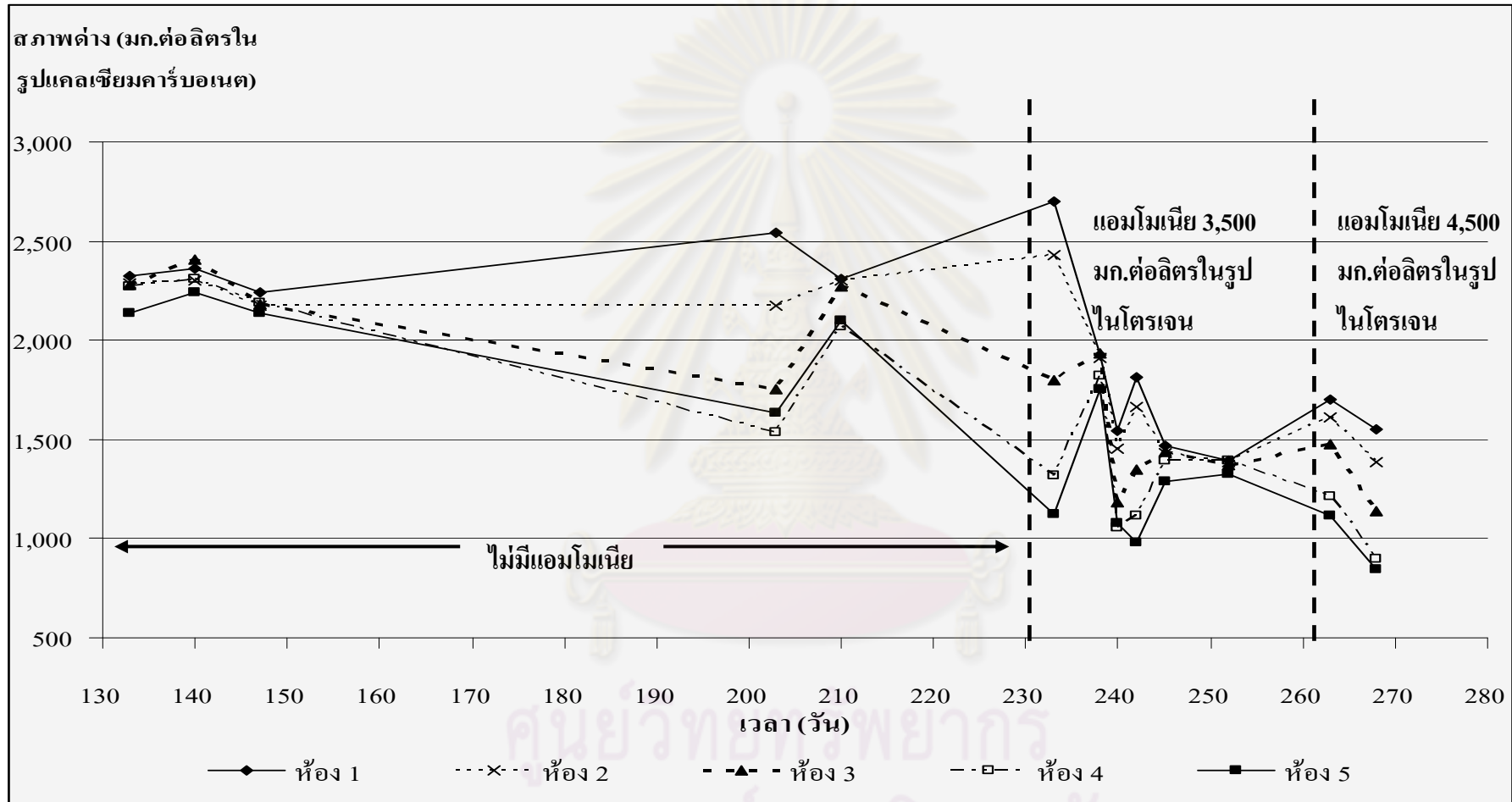
สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	0.044±0.043 , 0.977 (5)	0.010±0.000, 0.000 (5)	0.010±0.000, 0.000 (5)	0.010±0.000, 0.000 (5)	0.009±0.002, 0.222 (5)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	0.060±0.013, 0.217 (6)	0.055±0.014, 0.255 (6)	0.062±0.013, 0.210 (6)	0.063±0.021, 0.333 (6)	0.062±0.024, 0.387 (6)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	0.090±0.000, 0.000 (2)	0.080±0.000, 0.000 (2)	0.100±0.014, 0.140 (2)	0.105±0.007, 0.067 (2)	0.120±0.014, 0.117 (2)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

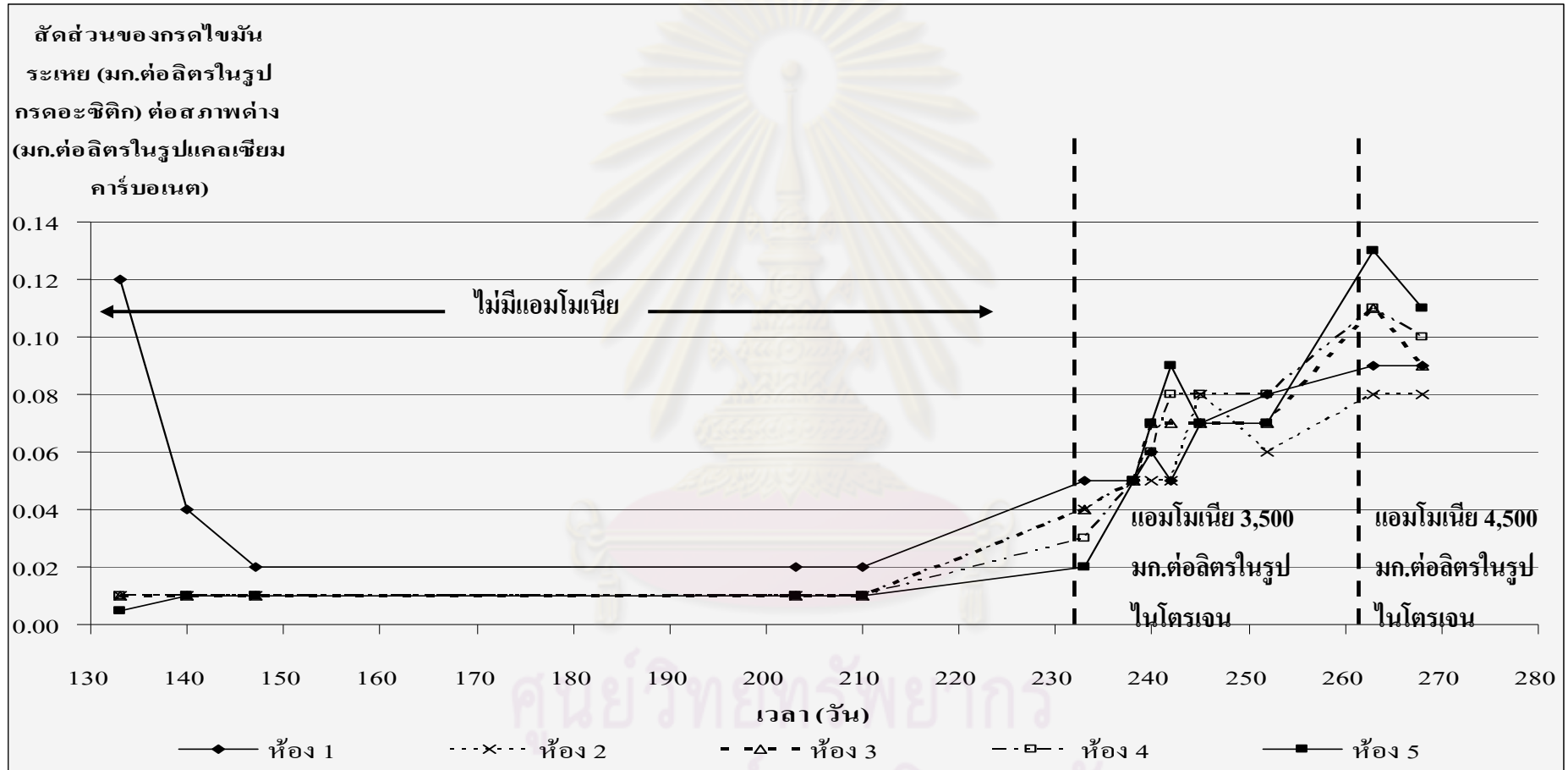
จากรูปที่ 4.26 พบว่าในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่ามากขึ้นจากช่วงที่ไม่มีแอมโมเนีย อาจเนื่องมาจากแอมโมเนียทำให้กรดไขมันระเหยมีการสะสมมากขึ้นในขณะที่สภาพต่างมีค่าน้อยลง ส่วนในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่ามากขึ้นกว่าช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย(ตารางที่ 4.21)มีค่าเพิ่มมากขึ้นส่วนค่าสภาพต่างเฉลี่ย(ตารางที่ 4.22)มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน แต่อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.23 พบว่าค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยของทั้ง 3 ช่วงยังน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบยังมีกำลังบำบัดที่เพียงพออยู่



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 ค่าสภาพต่างของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา



รูปที่ 4.26 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยกับความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

4.2.3.5 ฟีเอช

ระบบไร้อากาศโดยทั่วไปควรมีค่าฟีเอชอยู่ในช่วง 6.6-7.6 จึงถือได้ว่าระบบสามารถทำงานได้ดี (มันสัน ดันทุลเวศม์, 2542) ซึ่งข้อมูลของค่าฟีเอชเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาพที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน ตามลำดับ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าฟีเอชเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาพที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน

สถานะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	6.997±0.159, 0.023 (15)	6.973±0.155, 0.022 (15)	6.949±0.115, 0.017 (15)	6.896±0.090, 0.013 (15)	6.865±0.091, 0.013 (15)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน	7.036±0.137, 0.019 (9)	7.032±0.126, 0.018 (9)	7.003±0.104, 0.015 (9)	6.981±0.110, 0.016 (9)	6.951±0.120, 0.017 (9)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน	6.897±0.144, 0.021 (7)	6.881±0.125, 0.018 (7)	6.901±0.069, 0.010 (7)	6.806±0.048, 0.007 (7)	6.886±0.039, 0.006 (7)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไม่มีหน่วย), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

จากรูปที่ 4.27 พบว่าในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจนค่าฟีเอชในแต่ละห้องใกล้เคียงกับในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยค่าฟีเอชที่วัดได้มีค่ามากกว่า 6.60 ซึ่งเหมาะสมกับการทำงานของระบบไร้อากาศ จากค่าฟีเอชเฉลี่ยในตารางที่ 4.24 ก็พบว่าทั้ง 3 ช่วงมีค่ามากกว่า 6.60 เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างในตารางที่ 4.23 หัวข้อที่ 4.2.3.4 ที่มีค่าน้อยกว่า 0.4 ทั้ง 3 ช่วง ส่งผลให้ค่าฟีเอชยังคงเป็นกลางอยู่ เนื่องจากฟีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องถูกควบคุมให้เป็นกลาง

4.2.3.6 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (โออาร์พี)

การวัดค่าโออาร์พีได้เป็นค่าบวกแสดงว่าสารละลายนี้มีสารรับอิเล็กตรอน เช่น มีออกซิเจน แต่ถ้าวัดได้ค่าลบแสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอน เช่น มีสารอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งถ่วงย่อยไว้ที่อากาศที่ทำงานได้ดีควรมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542) ซึ่งข้อมูลของค่าโออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับแสดงในตารางที่ 4.25

จากรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.25 พบว่าทั้งในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าโออาร์พีและโออาร์พีเฉลี่ยในห้อง 1-5 มีค่าเป็นลบแสดงว่าภายในห้อง 1-5 เกิดปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าโออาร์พีเฉลี่ยในแต่ละห้อง

ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	-247.66± 13.12, 0.05 (26)	-253.44± 13.05, 0.05 (26)	-251.48± 13.49, 0.05 (26)	-252.65± 14.78, 0.06 (26)	-243.89± 14.54, 0.06 (26)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	-237.18± 8.59, 0.04 (9)	-256.98± 8.58, 0.03 (9)	-253.60± 12.37, 0.05 (9)	-262.26± 7.21, 0.03 (9)	-241.53± 8.87, 0.04 (9)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	-247.41± 15.53, 0.06 (8)	-256.30± 12.12, 0.05 (8)	-262.18± 3.87, 0.01 (8)	-260.06± 3.97, 0.02 (8)	-246.93± 12.06, 0.05 (8)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิโวลต์), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

4.2.3.7 แอมโมเนียไนโตรเจน

ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเข้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ซึ่งข้อมูลของค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

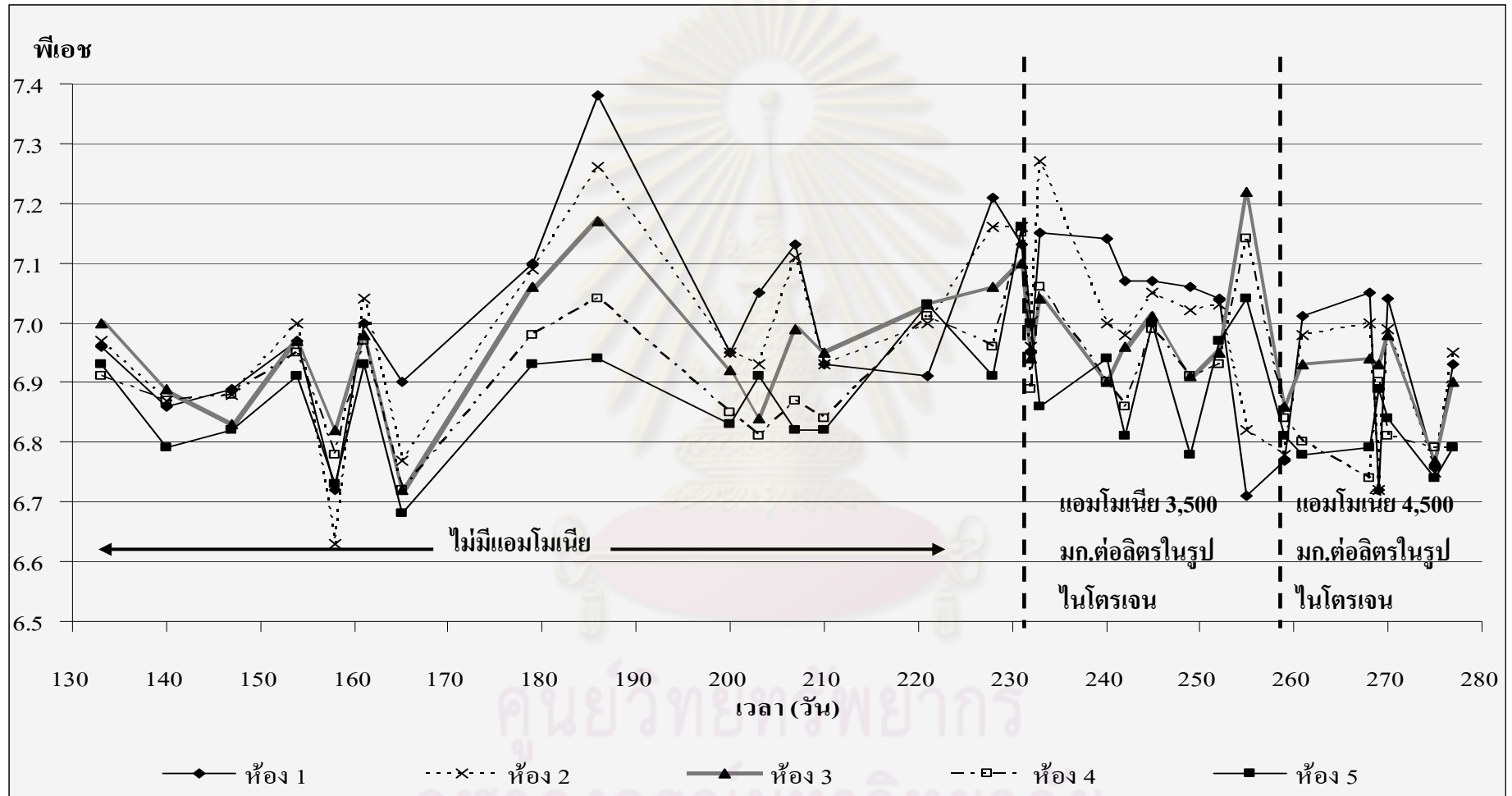
สภาวะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	22.400± 4.515, 0.202 (6)	27.533± 5.362, 0.195 (6)	30.567± 7.324, 0.240 (6)	27.533± 4.823, 0.175 (6)	26.133± 7.803, 0.299 (6)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	3,668.000± 158.392, 0.043 (2)	3,703.000± 49.497, 0.013 (2)	3,689.000± 207.889, 0.056 (2)	3,640.000± 197.990, 0.054 (2)	3,661.000± 9.899, 0.003 (2)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	2,884.000± 0.000, 0.000 (1)	3,066.000± 0.000, 0.000 (1)	3,066.000± 0.000, 0.000 (1)	3,108.000± 0.000, 0.000 (1)	3,122.000± 0.000, 0.000 (1)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

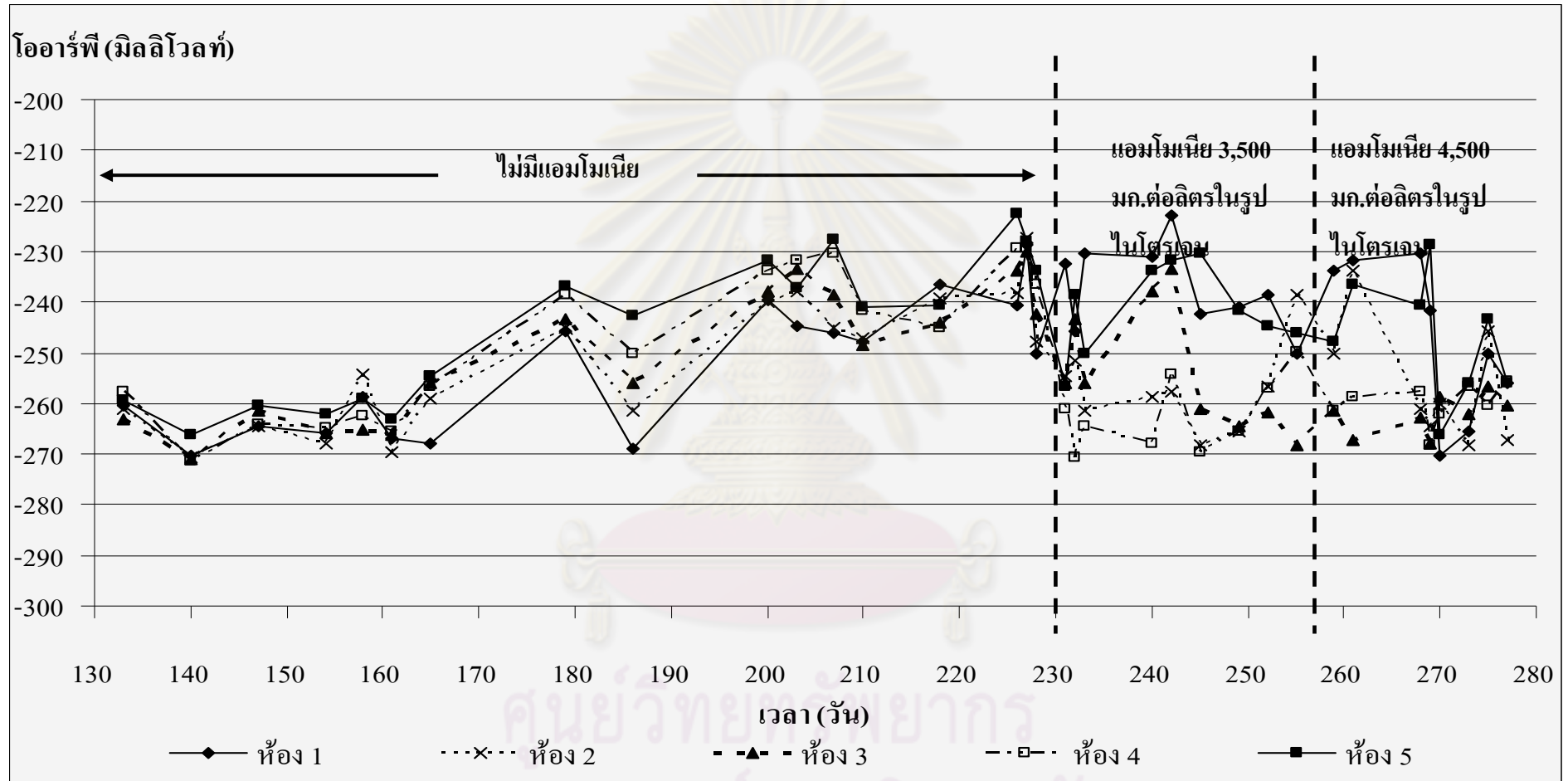
จากรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.26 พบว่าในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปไนโตรเจนค่าแอมโมเนียในโตรเจนของห้อง 1-5 มีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย ส่วนในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนพบว่าค่าแอมโมเนีย ในโตรเจนของห้อง 1-5 มีค่าลดลงจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากมีการนำแอมโมเนียไปใช้ในบางปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบ



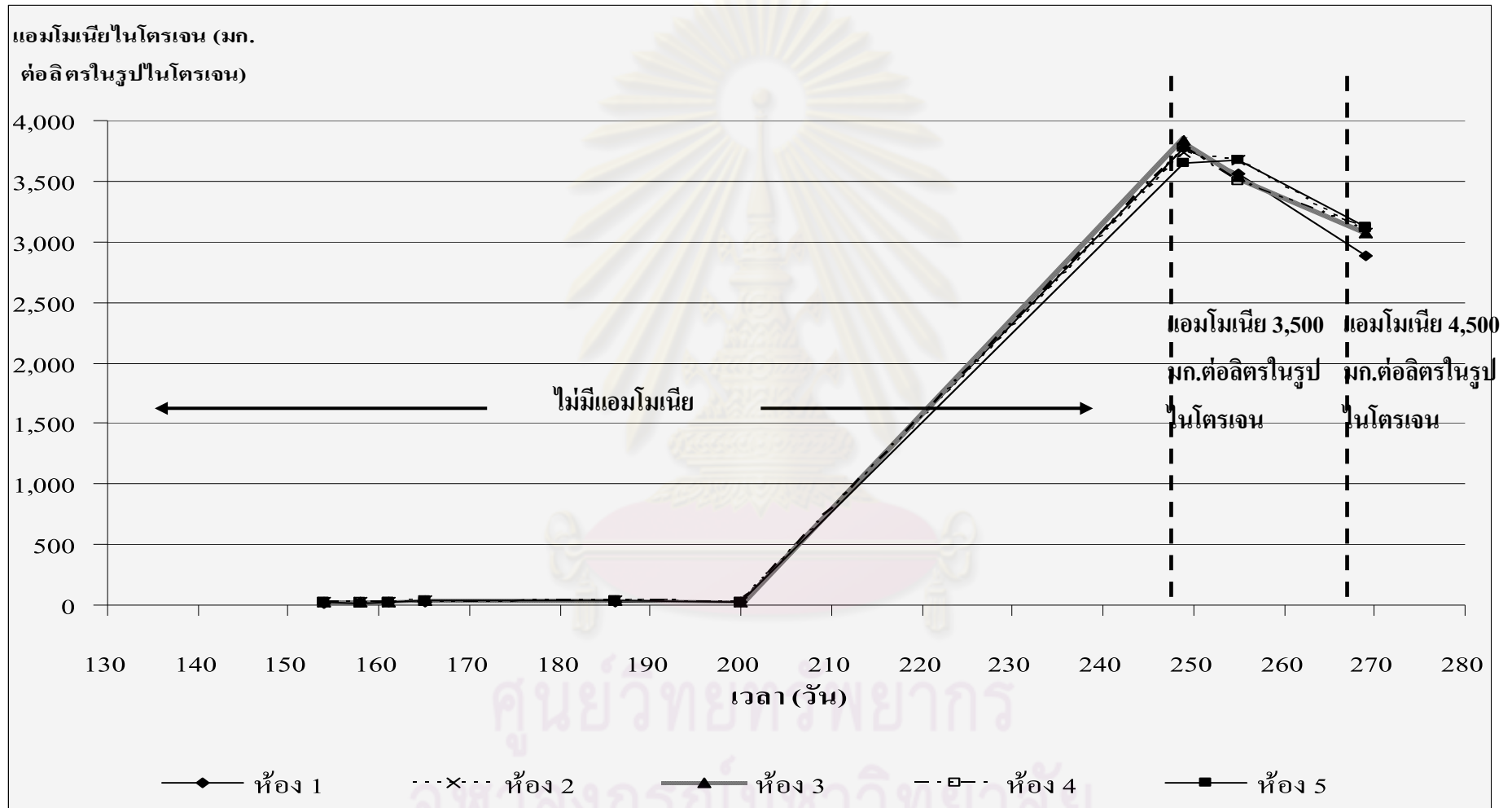
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.27 ค่าพีเอชของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา



รูปที่ 4.28 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา



รูปที่ 4.29 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

4.2.3.8 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมด

ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมด แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของแฉะทั้งหมด แต่สำหรับช่วงที่ป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียให้กับระบบซึ่งสามารถเกิดสารประกอบสตรูไวท์ขึ้นได้ ความเข้มข้นของแฉะระเหยในกรณีนี้จะรวมถึงของแฉะระเหยในรูปของสารประกอบสตรูไวท์ด้วย เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนกับสารประกอบสตรูไวท์จะเกิดการระเหยของแอมโมเนียและโมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ในผลึกไปได้ (Sarkar, 1991) โดยน้ำหนักของแฉะระเหย คือน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา ซึ่งข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อที่นำมาใช้ในระบบ(61.24%)ในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.27

จากรูปที่ 4.30 พบว่าในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดมีค่ามากขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และจากตารางที่ 4.27 ก็พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจาก 61.24% ของห้อง 1-5 มีค่ามากขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย น่าจะเนื่องมาจากเมื่อป้อนน้ำเสียที่มีแอมโมเนียทำให้เกิดสารประกอบสตรูไวท์ขึ้นตามที่วิเคราะห์ในหัวข้อ 4.3.2 ส่งผลให้น้ำหนักของตัวอย่างที่หายไปหลังการเผาเพื่อวิเคราะห์ของแฉะระเหยเกิดจากสตรูไวท์สูญเสียแอมโมเนียและโมเลกุลของน้ำเมื่อถูกให้ความร้อนตามที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

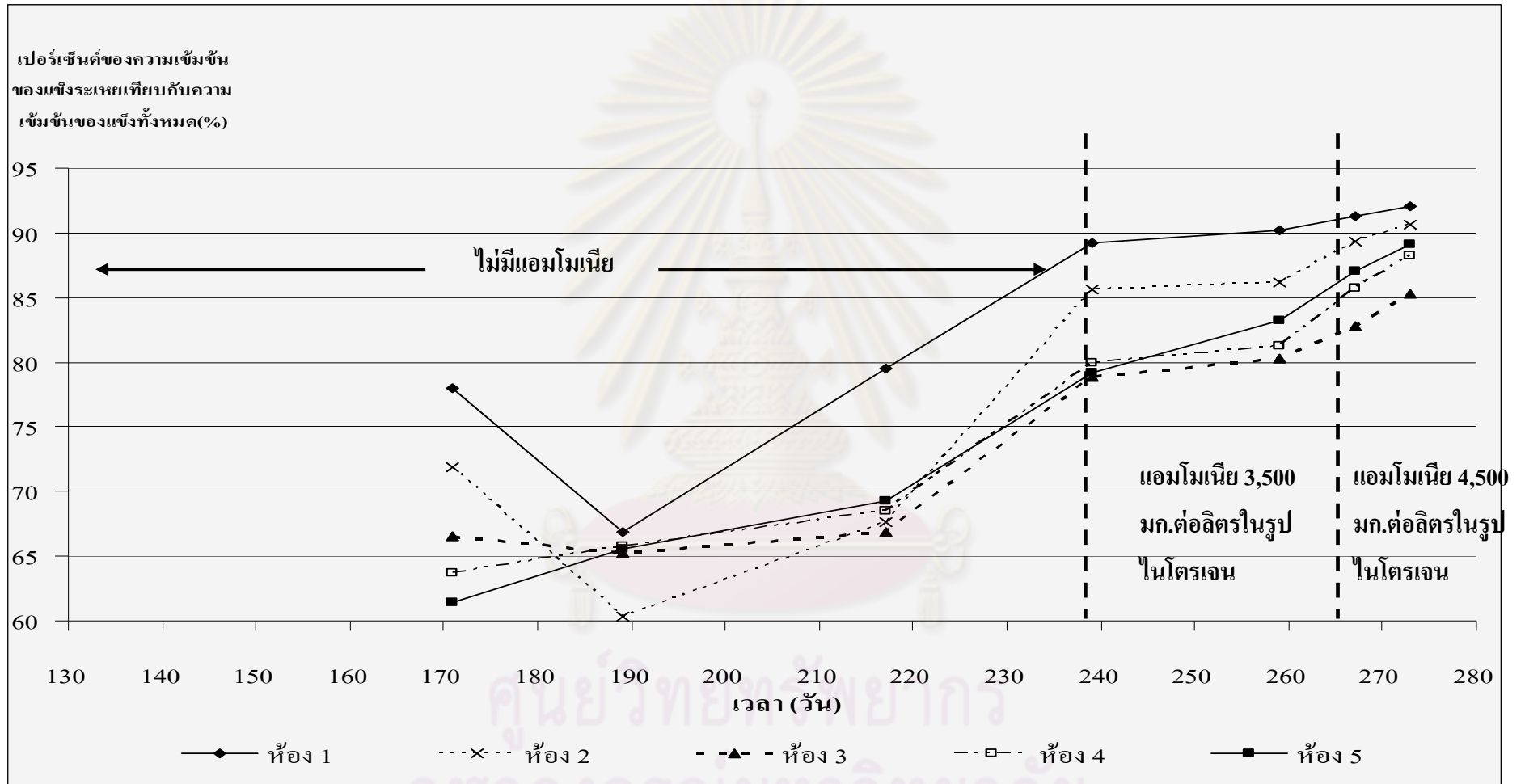
สำหรับช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนพบว่าจากรูปที่ 4.30 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดมีค่ามากขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน และจากตารางที่ 4.27 ก็พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแฉะระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจาก 61.24% ของห้อง 1-5 มีค่ามากขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ซึ่งน่าจะมีสาเหตุเหมือนดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉะทั้งหมดของห้อง 1-5 ทั้ง 2 ช่วงของการรับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียในตารางที่ 4.27 พบว่าห้อง 1 มีค่ามากที่สุด เนื่องจากห้อง 1 น่าจะเป็นห้องที่มีโอกาสในการเกิดสตรูไวท์ได้มากที่สุด เพราะเป็นห้องแรกที่รับแอมโมเนียในโตรเจน แมกนีเซียม และฟอสเฟต

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ(61.24%)ในแต่ละห้อง ณ สถานะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สถานะของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มีแอมโมเนีย	74.78±6.89, 0.09(3) , 13.54	66.63±5.82, 0.09(3), 5.39	66.21±0.89, 0.01(3), 4.97	66.04±2.41, 0.04(3), 4.8	65.38±3.93, 0.06(3), 4.14
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	89.70±0.74, 0.01(2), 28.46	85.92±0.41, 0.01(2), 24.68	79.57±1.01, 0.01(2), 18.33	80.64±0.91, 0.01(2), 19.40	81.16±2.87, 0.04(2), 19.92
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	91.71±0.53, 0.01(2), 30.47	89.99±0.96, 0.01(2), 28.75	84.05±1.84, 0.02(2), 22.81	87.02±1.77, 0.02(2), 25.78	88.08±1.49, 0.02(2), 26.84

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด), ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น61.24%ที่วิเคราะห์ได้จากหัวเชื้อ (เปอร์เซ็นต์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



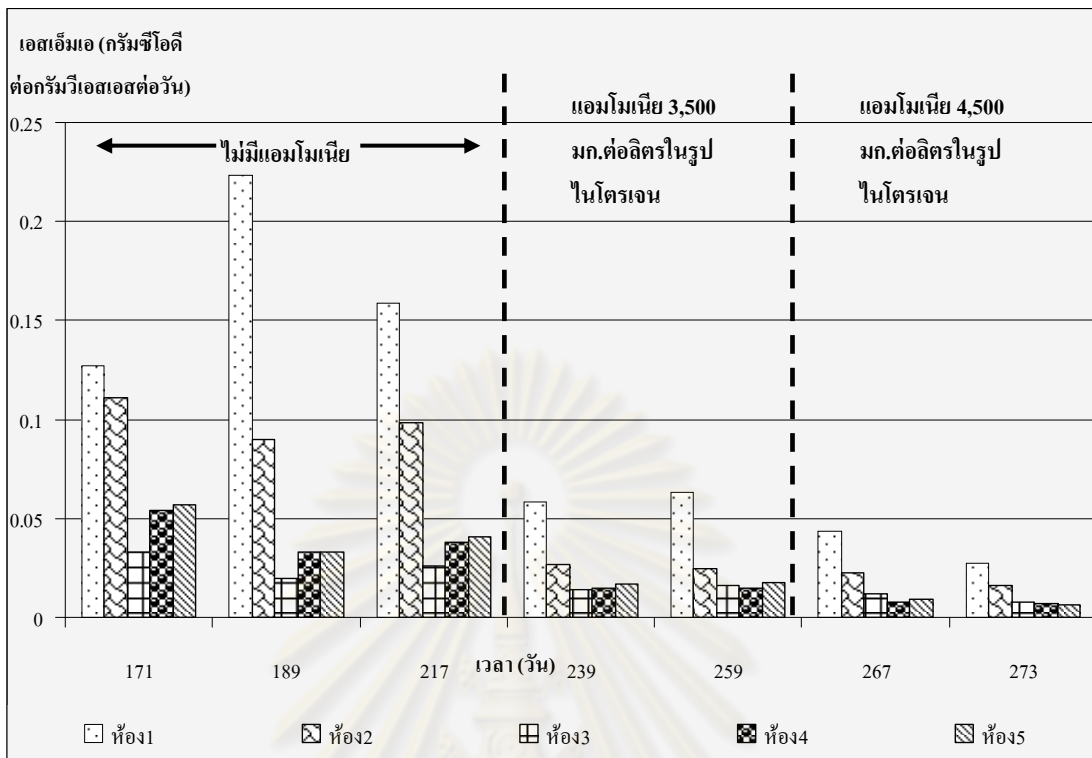
รูปที่ 4.30 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉะระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดในห้อง 1-5 ในช่วงที่ไม่มีและมีแอมโมเนีย กับเวลา

4.3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียที่ออกจากระบบ และน้ำเสียในห้อง 1-5 ของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในการทดลองช่วงที่ 4.2 (ป้อนน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ) พบว่าแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเป็นพิษของความเข้มข้นแอมโมเนียเอง จากการตกตะกอนพวกสารอาหารอื่นๆที่เป็นที่ต้องการของจุลชีพ(เช่น ฟอสฟอรัส)ออกมาจากน้ำเสีย และจากค่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ไม่เหมาะสม ซึ่งทั้ง 3 สาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้น สามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ(Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์(struvite) และการตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส(COD:N:P ratio) ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในการทดลองช่วงที่ 4.3 นี้จะทำให้สามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้แอมโมเนียส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศได้ มีผลดังต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

เอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) คือ การวัดอัตราการผลิตมีเทนของจุลชีพที่ใช้สารอินทรีย์ประเภทต่างๆ เป็นอาหาร ซึ่งกรดอะซิติกมักถูกนำมาใช้เป็นอาหารในการวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ เพราะเป็นสารตัวกลาง(intermediate) ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ และยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของขั้นตอนการสร้างมีเทน (คู่มือปฏิบัติการวิชา MIC 452, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) ซึ่งค่าเอสเอ็มเอที่วิเคราะห์ได้ในห้อง 1-5 ทั้งในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียไนโตรเจน 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน แสดงผลดังในรูปที่ 4.31 และค่าเอสเอ็มเอเฉลี่ยของทั้ง 3 ช่วงแสดงดังตารางที่ 4.28



รูปที่ 4.31 ค่าเอสเอ็มเอของห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา

จากรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.28 พบว่าในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียค่าเอสเอ็มเอจะลดต่ำลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยเฉพาะในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าเอสเอ็มเอจะลดต่ำลงไปจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนอีก แสดงว่าความเข้มข้นแอมโมเนียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ณ ค่าพีเอชที่วัดได้ของระบบมีผลต่อความสามารถในการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทน ดังนั้นความเป็นพิษของความเข้มข้นแอมโมเนียเองจึงน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จากการพิจารณาค่าเอสเอ็มเอเฉลี่ยในห้อง 1-5 ของตารางที่ 4.28 พบว่าที่ทุกๆ สภาพของระบบห้อง 1 มีค่าเอสเอ็มเอมากที่สุด รองลงมาคือห้อง 2 เนื่องจากห้อง 1 ได้รับอาหาร(น้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ)อย่างเต็มที่ ส่งผลให้จุลชีพในห้อง 1 สามารถเจริญเติบโตและทำหน้าที่ในการสร้างกรดและเมเทนได้อย่างต่อเนื่องและเต็มที่ ส่วนห้อง 2 ได้รับอาหารต่อเนื่องมาจากห้อง 1 ทำให้ความสามารถในการเจริญเติบโตและในการทำงานของจุลชีพรองลงมาจากห้อง 1

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าเอสเอ็มแอลเฉลี่ยในแต่ละห้อง
ณ สถานะที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สภาวะ ของระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ไม่มี แอมโมเนีย	0.1695±0.0489, 0.29 (3)	0.0995±0.0108, 0.11 (3)	0.0263±0.0065, 0.25 (3)	0.0417±0.0110, 0.26 (3)	0.0437±0.0122, 0.28 (3)
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัม ต่อลิตรใน รูป ไนโตรเจน	0.0605±0.0035, 0.06 (2)	0.0255±0.0018, 0.07 (2)	0.0151±0.0016, 0.11 (2)	0.0149±0.0002, 0.01 (2)	0.0172±0.0001, 0.01 (2)
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัม ต่อลิตรใน รูป ไนโตรเจน	0.0353±0.0116, 0.33 (2)	0.0193±0.0043, 0.22 (2)	0.0097±0.0031, 0.32 (2)	0.0074±0.0009, 0.12 (2)	0.0075±0.0018, 0.24 (2)

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัมซีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน), สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบน (จำนวนข้อมูลทั้งหมด)

แอมโมเนียมีผลให้ค่าเอสเอ็มแอลลดลง ซึ่งเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเอสเอ็มแอลเมื่อเปลี่ยนจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย(วันที่ 217)ไปสู่ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 239) และจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 259)ไปสู่ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 267) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเอสเอ็มเอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะในระบบ

การเปลี่ยนแปลงสถานะ ในระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
จากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย (วันที่ 217) ไปสู่ช่วงที่น้ำเสียมี แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อ ลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 239)	63.38%	72.65%	46.15%	61.32%	58.10%
จากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน(วันที่ 259) ไปสู่ช่วงที่ น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน(วันที่ 267)	30.95%	7.88%	26.80%	46.33%	49.14%

จากตารางที่ 4.29 เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเอสเอ็มเอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะในระบบจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย(วันที่ 217) ไปสู่ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 239)พบว่าความเป็นพิษของความเข้มข้นแอมโมเนียส่งผลกระทบมากกับห้อง 1 และ 2 อาจเนื่องมาจากเป็น 2 ห้องแรกที่ได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียจึงได้รับความเป็นพิษอย่างเต็มที่ และจุลชีพกลุ่มสร้างมีเทนมีมากใน 2 ห้องนี้ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 259) ไปสู่ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน(วันที่ 267) ห้อง 1 ก็ยังคงได้รับผลกระทบมากเช่นเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

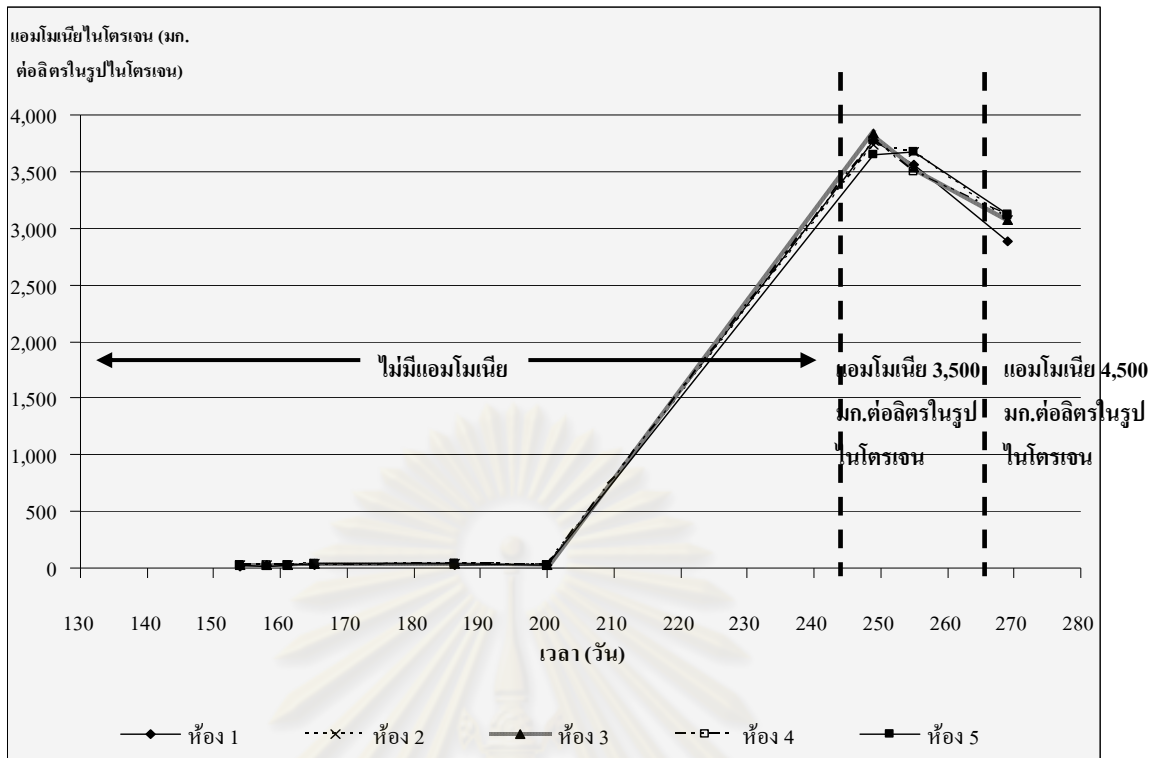
4.3.2 การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นใรร้ออากาศ

สตรูไวท์ (struvite) เกิดจากแอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟต ด้วยสูตรโมเลกุล $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งการตกตะกอนของผลึกสตรูไวท์ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ระดับความเข้มข้นของสารละลาย และอุณหภูมิด้วย ผลึกสตรูไวท์จะเกิดได้เมื่อความเข้มข้นของอ็อกซิเจนแอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟตมีมากเกินความสามารถที่จะละลายได้ ซึ่งสารประกอบสตรูไวท์จะเกิดความไม่คงตัวเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส โดยผลึกสตรูไวท์จะสูญเสียแอมโมเนียมและโมเลกุลของน้ำไปบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิของความร้อนที่ได้รับ (Sarkar, 1991) ดังนั้นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยในตัวอย่างที่มีสตรูไวท์เป็นส่วนประกอบ น้ำหนักของของแข็งที่ระเหยไปหลังการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนหนึ่งเกิดจากการระเหยของแอมโมเนียมและโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบของผลึกสตรูไวท์

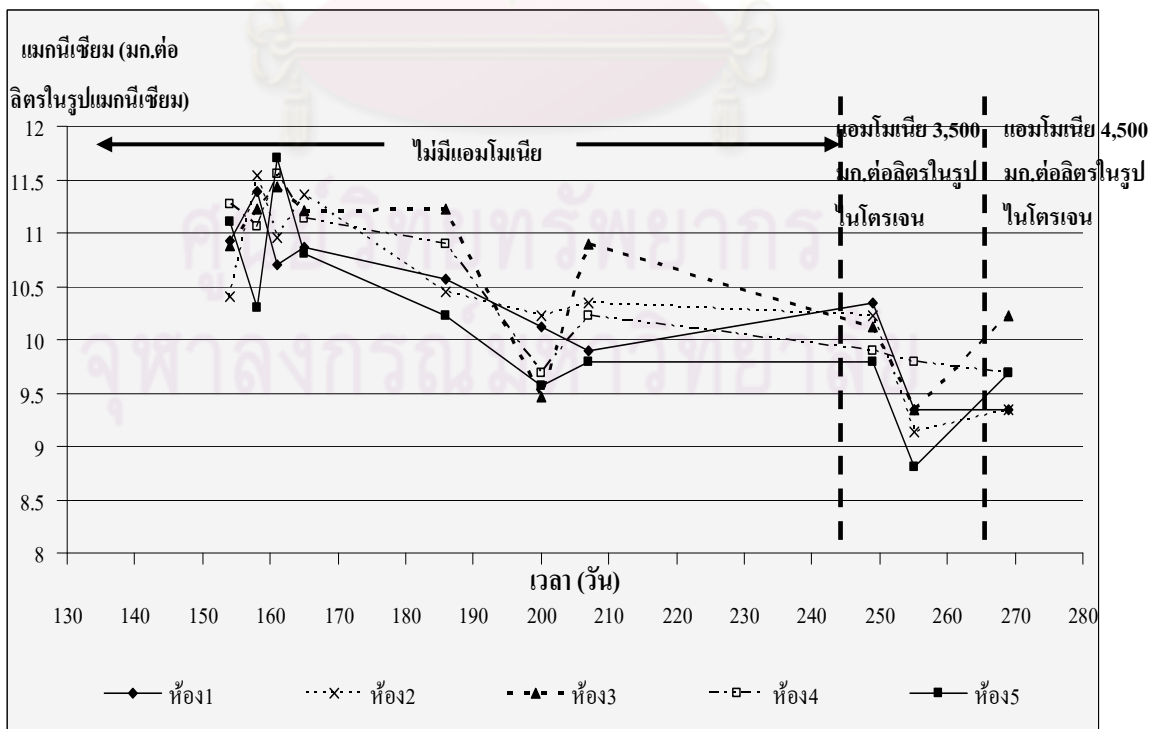
การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ต้องใช้เครื่องมือ X-Ray Diffractometer (XRD) โดยตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือชนิดนี้จะต้องมีความเป็นผลึก แต่เนื่องจากตะกอนที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ระบบแผ่นกั้นใรร้ออากาศมีลักษณะเป็นของเหลวซึ่งจะทำให้ตัวอย่างสูญเสียความเป็นผลึกไป ส่งผลให้ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณการเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ด้วยเครื่องมือ X-Ray Diffractometer (XRD) ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์จึงทำได้เพียงดูแนวโน้มของการเกิดผลึกสตรูไวท์ แต่ไม่สามารถบอกถึงปริมาณที่เกิดได้ โดยใช้วิธีเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟต ซึ่งเป็นส่วนประกอบในการเกิดผลึกสตรูไวท์ ในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟตในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน แสดงในรูปที่ 4.32 4.33 และ 4.34 ตามลำดับ

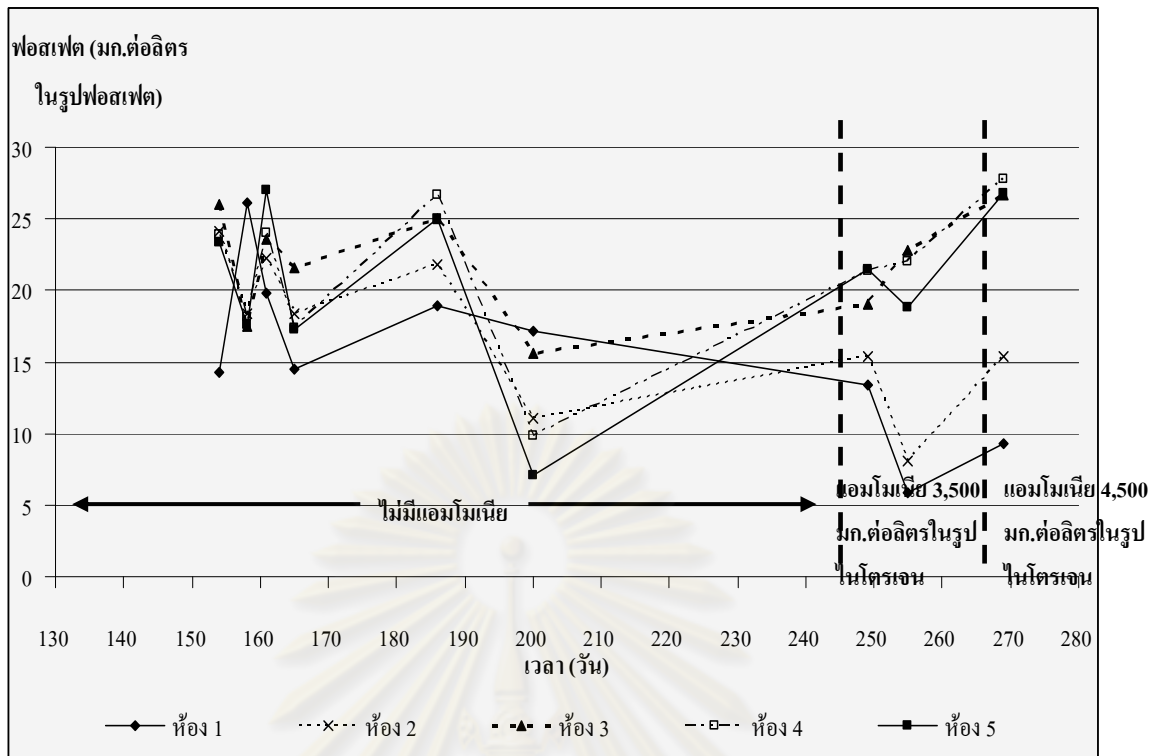
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.32 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา



รูปที่ 4.33 ค่าแมกนีเซียมของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา



รูปที่ 4.34 ค่าฟอสเฟตของน้ำเสียห้อง 1-5 ในช่วงที่มีและไม่มีแอมโมเนีย กับเวลา

จากรูปที่ 4.32 4.33 และ 4.34 พบว่าเมื่อสภาวะของระบบเปลี่ยนจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียไปเป็นช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน แมกนีเซียม และฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลง แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการสร้างผลึกของสตรูไวท์ขึ้นในระบบหลังจากที่ระบบได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียแล้ว โดยเฉพาะวันที่ 255 จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีค่าลดลงจากวันที่ 249 พร้อมกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.30

การสร้างผลึกของสตรูไวท์จะไปตกตะกอนพวกสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) ออกมาจากน้ำเสียจนกระทั่งในระบบมีสารอาหารไม่เพียงพอ แล้วส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศหรือไม่ ต้องตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio) ในหัวข้อที่ 4.3.3

ตารางที่ 4.30 แสดงการลดลงของค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน แมกนีเซียม และ ฟอสเฟตจากวันที่ 249 ไปเป็นวันที่ 255

พารามิเตอร์	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
แอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูปไนโตรเจน)	ลดลงจาก 3780.00 เป็น 3556.00	ลดลงจาก 3738.00 เป็น 3668.00	ลดลงจาก 3836.00 เป็น 3542.00	ลดลงจาก 3780.00 เป็น 3500.00	*เพิ่มจาก 3654.00 เป็น 3668.00
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูปแมกนีเซียม)	ลดลงจาก 10.34 เป็น 9.35	ลดลงจาก 10.23 เป็น 9.13	ลดลงจาก 10.12 เป็น 9.35	ลดลงจาก 9.90 เป็น 9.79	ลดลงจาก 9.79 เป็น 8.80
ฟอสเฟต (มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูปฟอสเฟต)	ลดลงจาก 13.39 เป็น 5.82	ลดลงจาก 15.43 เป็น 8.06	*เพิ่มจาก 19.01 เป็น 22.85	*เพิ่มจาก 21.33 เป็น 22.08	ลดลงจาก 21.45 เป็น 18.80

หมายเหตุ : *ค่าดังกล่าวมีการเพิ่มมากขึ้นแทนการลดลง แต่เป็นการเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.3.3 ตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จุลชีพที่เกี่ยวข้องต่อการกำจัดคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบจากน้ำเสียจะมีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญเติบโตและการผลิตเซลล์ใหม่ โดยการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศควรจะมีค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส(COD:N:P) ประมาณ $250 : 5 : 1 = 100 : 2 : 0.4$ (Metcalf และ Eddy, 1991 ; USEPA, 1995 ; Henze และคณะ, 1997 ; Maier, 1999a) ซึ่งค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในช่วงที่น้ำเสียไม่มี และมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.31

จากตารางที่ 4.31 พบว่าช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียค่าไนโตรเจนในค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นส่วนค่าฟอสฟอรัสจะมีค่าลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย แต่อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งในช่วงที่น้ำเสียไม่มี และมีแอมโมเนียในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศยังมีสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียงพออยู่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

อากาศ คือ 100 : 2 : 0.4 เช่น เทียบข้อมูลห้อง 5 ของวันที่ 200(ไม่มีแอมโมเนีย) วันที่ 249 (แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) และวันที่ 269(แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) ดังนั้นค่าสัดส่วนของซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่ไม่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศจึงไม่น่าจะใช่สาเหตุที่ทำให้แอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จากผลการวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในหัวข้อที่ 4.3.2 พบว่าแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบอาจส่งผลให้เกิดการสร้างผลึกสตรูไวท์ ซึ่งสูตรโมเลกุลของสารประกอบสตรูไวท์ คือ $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sarkar, 1991) ดังนั้นการเกิดผลึกสตรูไวท์จะใช้ฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำเสียในการสร้างผลึกส่งผลให้ฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีความเข้มข้นลดลงได้ โดยดูได้จากค่าฟอสฟอรัสของค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียจะมีค่าลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย เช่น เทียบข้อมูลห้อง 1 ของวันที่ 200(ไม่มีแอมโมเนีย) วันที่ 255 (แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) และวันที่ 269(แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) แต่อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในตารางที่ 4.31 ยังมีเพียงพอต่อการทำงานของระบบไร้อากาศอยู่ ดังนั้นการตกตะกอนพวกสารอาหารออกมาจากน้ำเสียจึงไม่น่าจะใช่สาเหตุที่ทำให้แอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สภาวะของระบบ	วันที่เดินระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
ช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย	154	100 : 23.72 : 3.04	100 : 35.84 : 10.09	100 : 61.16 : 14.23	100 : 61.99 : 12.31	100 : 65.45 : 14.86
	158	100 : 78.23 : 16.55	100 : 19.45 : 4.16	100 : 102.10 : 20.74	100 : 198.04 : 23.33	100 : 91.89 : 20.95
	161	100 : 66.11 : 8.97	100 : 119.66 : 15.52	100 : 146.91 : 23.78	100 : 134.34 : 19.82	100 : 113.13 : 22.24
	165	100 : 78.92 : 5.80	100 : 145.83 : 12.98	100 : 227.86 : 23.88	100 : 265.84 : 19.16	100 : 208.33 : 20.98
	186	100 : 21.34 : 2.61	100 : 83.95 : 11.20	100 : 158.54 : 17.78	100 : 159.35 : 17.68	100 : 156.50 : 20.74
	200	100 : 85.95 : 10.11	100 : 65.73 : 6.55	100 : 96.52 : 12.56	100 : 202.24 : 14.56	100 : 226.85 : 13.45
ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	249	100 : 2197.94 : 2.51	100 : 3864.18 : 3.38	100 : 3105.33 : 4.54	100 : 2991.02 : 5.38	100 : 2916.90 : 4.86
	255	100 : 2273.11 : 1.15	100 : 3033.91 : 2.05	100 : 1966.88 : 3.98	100 : 2153.24 : 4.20	100 : 2306.53 : 3.81
ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	269	100 : 2307.59 : 2.37	100 : 3016.19 : 4.78	100 : 3255.14 : 8.95	100 : 3077.74 : 8.75	100 : 3293.44 : 9.15

หมายเหตุ : ค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส คือ ค่าสัดส่วนซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) : ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) : ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปฟอสฟอรัส)

4.3.4 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) ในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ เมื่อหักลบปริมาณของแข็งระเหยในรูปของสตรูไวท์ที่ออกจากตะกอนจุลชีพ

เนื่องจากค่าเอสเอ็มเอเป็นค่าที่วิเคราะห์อัตราการผลิตมีเทนของจุลชีพในระบบ ซึ่งต้องมีการเก็บตัวอย่างตะกอนจุลชีพในระบบมาทำการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากการวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ในหัวข้อที่ 4.3.2 พบว่ามีแนวโน้มของการเกิดการสร้างผลึกสตรูไวท์ขึ้นในระบบหลังจากที่ระบบได้รับน้ำเสียที่มีแอมโมเนียแล้ว ดังนั้นปริมาณของแข็งระเหยที่มีอยู่ในตะกอนจุลชีพที่นำมาวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอจะมีปริมาณเซลล์จุลชีพน้อยลงเนื่องจากส่วนหนึ่งเป็นของแข็งระเหยในรูปของสตรูไวท์ ส่งผลให้สาเหตุที่ทำให้ค่าเอสเอ็มเอในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียลดลงจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียที่วิเคราะห์ได้ในหัวข้อที่ 4.3.1 อาจเกิดจากพิษของแอมโมเนียโดยตรงหรือเกิดจากตะกอนจุลชีพที่นำมาวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอมีปริมาณเซลล์จุลชีพน้อยลงก็ได้ ดังนั้นจึงมีการคำนวณปรับแก้ค่าเอสเอ็มเอใหม่โดยหักลบปริมาณสตรูไวท์ที่ออกจากของแข็งระเหย (ตัวอย่างคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ก) ดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่ในแต่ละห้องของช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน

สภาวะของระบบ		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน	วันที่ 239	0.32	0.23	0.04	0.05	0.06
	วันที่ 259	0.34	0.21	0.03	0.05	0.04
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน	วันที่ 267	0.38	0.22	0.04	0.05	0.04
	วันที่ 273	0.37	0.23	0.03	0.04	0.04

จากตารางที่ 4.32 พบว่าช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่ในแต่ละห้องค่อนข้างคงที่ น่าจะเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก 3,500 ไปเป็น 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนอาจน้อยไปจนเห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ไม่ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่ร่วมกับค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหย ณ ช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน พบว่าค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหยในแต่ละห้องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย แสดงว่าค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่ไม่สอดคล้องกับค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหยที่วิเคราะห์ได้จริงเนื่องจากถ้าค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเอสเอ็มเอที่ควรจะมีค่าลดลง ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาค่าเอสเอ็มเอที่วิเคราะห์ได้จริง (ดังแสดงในตารางที่ 4.33) ร่วมกับค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหย ซึ่งได้ข้อสรุปว่าแอมโมเนียส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเนื่องจากค่าเอสเอ็มเอมีค่าลดลงในขณะที่ค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลกระทบต่อระบบไม่มากอาจเนื่องมาจากแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียอิสระที่สามารถส่งผลกระทบต่อจุลชีพยังมีปริมาณที่น้อยอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 4.34

**ตารางที่ 4.33 แสดงค่าเอสเอ็มเอที่วิเคราะห์ได้จริงในแต่ละห้อง
ของช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน**

สภาวะของระบบ		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน	วันที่ 239	0.058	0.027	0.014	0.015	0.017
	วันที่ 259	0.063	0.024	0.016	0.015	0.017
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัม ต่อลิตรในรูป ไนโตรเจน	วันที่ 267	0.044	0.022	0.012	0.008	0.009
	วันที่ 273	0.027	0.016	0.007	0.006	0.006

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียอิสระในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน โดยน้ำเสียมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8-7.3

สภาวะของระบบ		น้ำเข้า	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก
ไม่มีแอมโมเนีย	วันที่ 154	-	0.134	0.188	0.196	0.177	0.144	0.132
	วันที่ 158	-	0.110	0.085	0.124	0.107	0.059	0.054
	วันที่ 161	-	0.154	0.218	0.211	0.227	0.188	0.163
	วันที่ 165	-	0.184	0.163	0.145	0.128	0.133	0.161
	วันที่ 186	-	0.393	0.479	0.504	0.290	0.231	0.288
	วันที่ 200	-	0.138	0.157	0.175	0.125	0.127	0.119
แอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	วันที่ 249	16.760	34.162	30.835	24.608	24.249	17.406	16.429
	วันที่ 255	13.590	14.428	19.149	46.085	37.961	31.671	31.749
แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน	วันที่ 269	8.045	11.973	12.728	20.589	19.487	19.132	17.063

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน มีที่มาจากค่าแอมโมเนียที่พบในน้ำเสียฟาร์มสุกร

4.4 ข้อสังเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย และช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแบบไนโตรเจน

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะพบว่าในบางข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย ซึ่งมีสาเหตุมาจากข้อมูลของค่าจริงที่วิเคราะห์ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นค่าที่วิเคราะห์ได้อาจมีความแม่นยำน้อย ส่งผลให้ข้อมูลชุดนั้นมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ที่สภาวะคงตัวพบว่าห้อง 1 และ 2 ของระบบแผ่นกั้นไรร้อากาศมีประสิทธิภาพการทำงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับห้องอื่นๆ โดยค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีเฉลี่ยของห้อง 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 95.12 ± 2.92 44.53 ± 25.12 24.10 ± 20.38 10.58 ± 12.55 และ 13.12 ± 13.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ประเภทน้ำตาลทราย ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และค่าอัตราการไหลของระบบ 6.336 ลิตรต่อวัน เนื่องจากอาหารในรูปซีโอดีของจุลชีพในห้อง 3 4 และ 5 มีอยู่น้อย ทำให้จุลชีพในห้องเหล่านี้จึงน้อยตามไปด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดซีโอดีจึงต่ำ

2. น้ำเสียที่มีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไรร้ออากาศ ทำให้ค่าเฉลี่ยของซีโอดีและกรดไขมันระเหยในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำออกในช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนคือ 30.92 ± 10.77 136.11 ± 59.34 และ 138.60 ± 7.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยของน้ำออกคือ 26.69 ± 6.03 74.87 ± 24.60 และ 102.24 ± 8.61 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก ตามลำดับ เช่นกัน เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นทำให้จุลชีพกลุ่มสร้างมีเทนนำกรดไขมันระเหยไปใช้ได้ น้อยลง จึงส่งผลให้กรดไขมันระเหยมีค่าสูงขึ้น ซึ่งทำให้ซีโอดีมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

3. เมื่อพิจารณาค่าเอสเอ็มเอของห้อง 1 ถึง 5 พบว่า แอมโมเนียจะส่งผลกระทบมากกับห้องแรกๆ เนื่องจากจุลชีพกลุ่มสร้างมีเทนน่าจะมียมากในห้องแรกๆ และเป็นส่วนแรกที่ได้รับแอมโมเนียที่เข้ามาที่น้ำเสีย โดยช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเอสเอ็มเอจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนียของห้อง 1 ถึง 5 คือ 63.38 72.65 46.15 61.32 และ 58.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเอสเอ็มเอจากช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนของห้อง 1 ถึง 5 คือ 30.95 7.88 26.80 46.33 และ 49.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. สตรูไวท์น่าจะเกิดขึ้นในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนีย ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดในห้อง 1 ถึง 5 มีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย โดยเมื่อพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดจะพบว่าสตรูไวท์น่าจะเกิดได้มากสุดในห้อง 1

5. ความเป็นพิษจากความเข้มข้นของแอมโมเนียเป็นสาเหตุที่ทำให้แอมโมเนียในน้ำเสียดังเคราะห์ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ซึ่งส่งผลต่อจุลชีพกลุ่มสร้างมีเทน (ค่าเอสเอ็มแอลดลง) โดยค่าเฉลี่ยเอสเอ็มเอในช่วงที่น้ำเสียไม่มีและมีแอมโมเนีย 3,500 และ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจนของห้อง 1 คือ 0.1695 ± 0.0489 0.0605 ± 0.0035 และ 0.0353 ± 0.0116 ห้อง 2 คือ 0.0995 ± 0.0108 0.0255 ± 0.0018 และ 0.0193 ± 0.0043 ห้อง 3 คือ 0.0263 ± 0.0065 0.0151 ± 0.0016 และ 0.0097 ± 0.0031 ห้อง 4 คือ 0.0417 ± 0.0110 0.0149 ± 0.0002 และ 0.0074 ± 0.0009 ห้อง 5 คือ 0.0437 ± 0.0122 0.0172 ± 0.0001 และ 0.0075 ± 0.0018 กรัมซีไอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ตามลำดับ

6. ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียดังเคราะห์ที่มากขึ้นทำให้เกิดแนวโน้มของการสร้างผลึกสตรูไวท์ได้มากขึ้น เนื่องจากพบแนวโน้มการลดลงของความเข้มข้นแอมโมเนียม แมกนีเซียม และฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำเสียในถึงปฏิกรณ์ในเวลาเดียวกัน ซึ่งแนวโน้มการลดลงตรงนี้อาจเกิดจากการสร้างผลึกสตรูไวท์ เช่น วันที่ 255 ห้อง 1 ความเข้มข้นแอมโมเนียมลดลงจาก 3,780.00 เป็น 3,556.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน แมกนีเซียมลดลงจาก 10.34 เป็น 9.35 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแมกนีเซียม และฟอสเฟตลดลงจาก 13.39 เป็น 5.82 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปฟอสเฟต โดยเทียบข้อมูลกับวันที่ 249

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยนี้พบว่าข้อเสนอแนะที่ต้องการเสนอให้มีการทำวิจัยต่อไป เพื่อเป็นแนวทางในการต่อยอดองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาถึงค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนที่เป็นค่าเริ่มต้นที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไรร้อากาศอย่างฉับพลัน เช่น แอมโมเนียในโตรเจนตั้งแต่ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปในโตรเจนขึ้นไป

2. ศึกษาถึงผลที่เกิดจากการป้อนน้ำเสียจริงที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงให้กับระบบแผ่นกั้นไรร้อากาศ เช่น น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ น้ำเสียโรงงานอาหาร และน้ำเสียโรงงานปุ๋ย เป็นต้น

3. ศึกษาถึงผลที่เกิดจากการลดจำนวนห้องให้น้อยลงกว่าเดิมและเพิ่มอัตราการระบายทุกสารอินทรีย์ให้มากขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การเกิดผลึก struvite[Online]. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/struvite>
[2007, March 17].

การเกิดผลึก struvite[Online]. Available from: <http://www.cranfield.ac.uk/sas/water/scale/struvite.htm> [2007, March 17].

ควบคุมมลพิษ, กรม. ของเสียจากฟาร์มสุกร[Online]. Available from: <http://www.pcd.go.th>
[2006, December 21].

คู่มือปฏิบัติการวิชา MIC 452 (Environmental Microbiology). ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545.

ปศุสัตว์, กรม. ตรวจสอบรับรองคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ (เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและโรง
ฆ่าสัตว์). นครพนม: สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครพนม, 2549. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

มันสิน ตันจุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรง
พิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

มันสิน ตันจุลเวศม์ และ มันรัชต์ ตันจุลเวศม์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

รูปขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้อากาศ[Online]. Available from:
<http://www.eere.energy.gov/de/biomass-power.html> [2007, February 11].

รูปทรงของผลึก struvite[Online]. Available from: <http://www.cranfield.ac.uk/sas/water/scale/struvite.htm> [2007, March 17].

รูปวัฏจักรของไนโตรเจน[Online]. Available from: <http://www.lenntech.com/nitrogen-cycle.htm>
[2007, January 29].

โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์. การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้
สารอินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การเกิดแอมโมเนียในน้ำเสียฟาร์มสุกร
[online]. Available from: <http://www.biogastech-cmu.com> [2006, January 13].

ภาษาอังกฤษ

- Ahn, J-H., Do, T. H., Kim, S. D., and Hwang, S. The effect of calcium on the anaerobic digestion treating swine wastewater. Biochemical Engineering Journal 30 (2006): 33-38.
- Ammary, B. Y. Nutrients requirements in biological industrial wastewater treatment. African Journal of Biotechnology 3, 4 (2004): 236-238.
- APHA, AWWA, and WPCF. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. Washington, DC: American Public Health Association, 1998.
- Bachmann, A., Beard, V. L., and McCarty, P. L. Comparison of Fixed Film Reactors with a Modified Sludge Blanket Reactor. In Wu, Y. C., and Smith, E. D. (eds.), Fixed Film Biological Processes for Wastewater Treatment. Noyes Data, NJ., 1983.
- Barber, W. P., and Stuckey, D. C. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review. Water Research 33, 7 (1999): 1559-1578.
- Boopathy, R. and Sievers, D. M. Performance of a modified anaerobic baffled reactor to treat swine waste. ASAE 34, 6 (1991): 2573-2578.
- Boyle W. C., James, C. C., Ripley, L. E., and Kmet, N. M. The effect of ammonia nitrogen on the anaerobic digestion of poultry manure. Proceedings of the Industrial Waste Conference, pp. 73-80. 1985.
- Chynoweth, D. P., Srivastara, V. J., and Conrad, J. R. Research study to determine the feasibility of producing methane gas from Sea Kelp. Annual Report for General Electric Company, IGT Project 30502, Institute of Gas Technology. Chicago, 1980.
- Fang, H. H. P., and Chan, O. C. Toxicity of phenol towards anaerobic biogranules. Water Research 31, 9 (1997): 2229-2242.
- Fannin, K. F., Srivastara V. J., Conrad J. R., and Chynoweth D. P. Marine biomass program anaerobic digester system development. Annual Report for General Electric Company, IGT Project 65044, Institute of Gas Technology. Chicago, 1981.
- Foxon, K. M., Dama, P., Brouckaert, C. J., and Buckley, C. A. The anaerobic baffled reactor (ABR): An appropriate technology for on-site sanitation. 2004 Water Institute of South Africa (WISA) Biennial Conference, pp.44-50. South Africa, 2004.
- Henze, M., Harremoos, P., Jansen, J., and Arvin, E. Wastewater Treatment. second edition. Springer, 1997.

- Ince, O., Anderson, G. K., and Kasapgil, B. Control of organic loading rate using the specific methanogenic activity test during start-up of an anaerobic digestion system. Water Research 29, 1 (1995): 349-355.
- Lettinga, G., van Velsen, A. F. M., Hobma, S. W., de Zeeuw, W., and Klapwijk, A. Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment. Biotechnol Bioeng 22: 699-734.
- Maier, R. M. Biochemical Cycling, Chapter 14. In Maier R. M., Pepper I. L., Gerba, C. P. (eds.), Environmental Microbiology, pp.319-346. Academic Press, 1999a.
- Maqueda, C., Perez Rodriguez, J. L., and Lebrato, J. Study of struvite precipitation in anaerobic digesters. Water Research 28, 2 (1994): 411-416.
- McCarty, P. L. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Works, 1964.
- McCarty, P. L. One Hundred Years of Anaerobic Treatment in Anaerobic Digestion 1981. In Hughes, et al. (eds.), Anaerobic Digestion 1981, pp.3-21. Elsevier Biomedical Press B. V., 1981.
- Metcalf and Eddy, Inc. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse. third edition. New York: McGraw-Hill, Inc., 1991.
- Mignone, N. A. Biological inhibition/toxicity control in municipal anaerobic digestion facilities, 2005.
- Nelson, N. O., Mikkelsen, R. L., and Hesterberg, D. L. Struvite precipitation in anaerobic swine lagoon liquid: effect of pH and Mg:P ratio and determination of rate constant. Bioresource Technology 89 (2003): 229-236.
- Sarkar, A. K. Hydration/dehydration characteristics of struvite and dittmarite pertaining to magnesium ammonium phosphate cement systems. Chemistry and Materials Science 26, 9 (1991): 2514-2518.
- Sievers, D. M. Particle trapping in an anaerobic baffled reactor. ASAE paper 88-6606. ASAE, St. Joseph, M. I., 1988.
- Soo, J. J., Kazuhiko, M., Yasunori, T., and Hajime, U. Nitrogenous compounds transformation by the sludge solubilization under alternating aerobic and anaerobic conditions. Biochemical Engineering Journal (2004): 207-212.
- Speece, R. E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. United States of America: R. E. Speece Published, 1996.
- Stumm, W., and Morgan, J. J. Aquatic chemistry. New York: Wiley-Inter-Science, 1970.

- Tait, S. J., and Freidman, A. A. Anaerobic rotating biological contractor for carbonaceous wastewaters. J. WPCF 52, 8 (1980): 2257-2269.
- Tilche, A., and Vieira, S. M. M. Discussion on reactor design of anaerobic filters and sludge bed reactors. Wat. Sci. Technol 24, 8 (1991): 193-206.
- Tilche, A., and Yang, X. Light and scanning electron microscope observations on the granular biomass of experimental SBAF and HABR reactor. Proceedings of Gasmat Workshop, pp. 170-178. Netherlands, 1987.
- Uludag-Demirer, S., Demirer, G. N., Frear, C., and Chen, S. Anaerobic digestion of dairy manure with enhanced ammonia removal. Journal of Environmental Management (2006).
- USEPA. Industrial waste treatment, a field study training program, Vol.2, second edition. Prepare by California State University, Sacramento and California Water Pollution Control Association for the USEPA, 1995.
- Wang, Z., and Banks C. J. Evaluation of a two stages anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes. Process Biochemistry 38 (2003): 1267-1273.
- Yamamoto, T., Takaki, K., Koyama, T., and Furukawa, K. Novel Partial Nitritation Treatment for Anaerobic Digestion Liquor of Swine Wastewater Using Swim-Bed Technology. Journal of Bioscience and Bioengineering 102, 6 (2006): 497-503.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์หัวข้อที่ใช้ในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์หัวเชื้อ

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
ซีโอดีไม่กรอง	22,969.60 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดีกรอง	2,917.76 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งทั้งหมด	21,524.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งระเหย	13,182.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
พีเอช	7.28



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่ภาวะคงตัว

ตารางที่ ข-1 ค่าซีโอดีของน้ำเข้ากับน้ำออกและค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมด

ลำดับวัน	วันที่	ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)		ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมด (%)	หมายเหตุ
		น้ำเข้า	น้ำออก		
9	26/9/50	2,386.40	628.08	73.68	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
11	28/9/50	1,954.00	435.60	77.71	
14	1/10/50	1,975.50	424.67	78.50	
17	4/10/50	1,935.22	156.00	91.94	
21	8/10/50	2,196.00	140.00	93.62	
23	10/10/50	2,401.53	213.20	91.12	
25	12/10/50	2,225.60	361.90	83.74	
28	15/10/50	2,120.00	920.00	56.60	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	2,400.67	844.80	64.81	
32	19/10/50	2,120.00	602.92	71.56	
39	26/10/50	3,222.40	342.61	89.37	
46	2/11/50	1,980.77	470.40	76.25	
53	9/11/50	2,212.80	425.60	80.77	
60	16/11/50	2,208.00	70.66	96.80	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	2,065.92	15.04	99.27	
67	23/11/50	2,366.80	179.54	91.23	
70	26/11/50	2,234.40	38.00	98.30	
74	30/11/50	1,950.72	30.72	98.43	
77	3/12/50	2,150.40	226.59	89.46	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	2,230.22	215.60	90.33	
84	10/12/50	2,469.60	38.80	98.43	
88	14/12/50	2,120.49	37.20	98.25	
91	17/12/50	1,740.96	39.20	97.75	
95	21/12/50	2,038.40	65.96	96.76	
98	24/12/50	2,199.18	74.25	96.62	

ตารางที่ ข-1 ค่าซีโอดีของน้ำเข้ากับน้ำออกและค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมด (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)		ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมด (%)	หมายเหตุ
		น้ำเข้า	น้ำออก		
102	28/12/50	1,972.12	83.16	95.78	
104	30/12/50	1,900.80	50.69	97.33	
108	3/1/51	1,927.68	56.40	97.07	
112	7/1/51	2,093.57	42.30	97.98	
119	14/1/51	2,030.60	22.98	98.87	
126	21/1/51	1,775.83	22.80	98.72	
133	28/1/51	1,852.93	47.84	97.42	ระบบคงตัว
140	4/2/51	2,146.62	24.85	98.84	
147	11/2/51	2,068.00	29.52	98.57	
154	18/2/51	2,280.00	48.36	97.88	
158	22/2/51	1,872.00	20.57	98.9	
161	25/2/51	1,919.68	22.15	98.85	
165	29/2/51	1,627.19	22.13	98.64	
179	14/3/51	1,864.46	35.28	98.12	
186	21/3/51	2,112.48	42.64	97.98	
200	4/4/51	1,847.65	20.66	98.88	
203	7/4/51	1,993.68	41.79	97.90	
207	11/4/51	2,388.24	23.47	99.02	
210	14/4/51	2,347.20	22.73	99.03	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-2 ค่าซีโอดีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
9	26/9/50	1,152.00	981.36	552.75	894.00	622.05	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
11	28/9/50	1,119.00	477.75	414.70	590.61	522.00	
14	1/10/50	929.68	377.00	288.00	594.00	550.83	
17	4/10/50	990.00	486.00	325.17	444.57	457.60	
21	8/10/50	1,393.00	676.60	166.40	270.40	246.80	
23	10/10/50	1,279.20	450.53	136.80	193.60	230.00	
25	12/10/50	854.80	266.80	106.80	180.00	210.94	
28	15/10/50	1,489.20	843.34	394.54	406.40	420.00	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	1,406.40	1,100.00	1,100.00	787.20	691.20	
32	19/10/50	1,474.56	783.36	665.86	711.49	525.89	
60	16/11/50	620.54	211.20	82.94	249.60	82.94	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	501.58	564.00	37.60	22.56	30.08	
67	23/11/50	605.25	94.86	154.84	186.20	196.00	
70	26/11/50	443.33	178.60	123.50	82.46	50.54	
74	30/11/50	399.36	230.40	62.59	49.92	43.51	
77	3/12/50	517.33	375.19	375.20	407.52	247.16	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	823.20	372.40	385.45	294.00	156.80	
84	10/12/50	817.13	118.73	273.93	90.02	41.13	
88	14/12/50	613.80	148.80	167.40	176.70	55.80	
91	17/12/50	784.00	529.20	352.80	225.40	78.40	
95	21/12/50	485.00	155.20	155.20	122.99	29.10	
98	24/12/50	881.62	510.41	319.01	88.17	88.17	
102	28/12/50	765.60	336.60	101.83	122.76	68.64	
104	30/12/50	757.76	328.32	65.83	89.09	81.41	
108	3/1/51	523.89	112.80	102.06	78.96	51.86	
112	7/1/51	367.48	101.52	93.03	72.69	60.16	
119	14/1/51	264.35	50.58	50.00	32.05	35.00	

ตารางที่ ข-2 ค่าซีโอดีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
126	21/1/51	193.15	38.00	20.58	30.40	20.10	
133	28/1/51	194.30	46.00	38.02	30.62	23.51	ระบบคงตัว
140	4/2/51	108.38	26.41	24.85	24.85	22.17	
147	11/2/51	54.90	25.92	36.72	33.12	30.72	
154	18/2/51	153.45	78.12	59.52	63.24	51.34	
158	22/2/51	51.42	143.98	27.42	25.45	27.42	
161	25/2/51	72.00	46.80	32.40	39.60	39.60	
165	29/2/51	81.60	46.08	29.49	29.49	26.88	
179	14/3/51	84.93	34.30	34.30	24.77	11.76	
186	21/3/51	236.16	63.37	45.92	49.20	39.36	
200	4/4/51	55.38	55.38	40.61	25.15	22.15	
203	7/4/51	60.25	29.54	24.77	24.56	23.15	
207	11/4/51	65.25	49.60	36.46	33.96	31.29	
210	14/4/51	60.61	37.88	30.30	22.73	22.73	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติก)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
9	26/9/50	562.50	468.75	131.25	375.00	375.00	352.50	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
14	1/10/50	462.49	287.51	100.00	-	100.00	107.14	
17	4/10/50	459.37	131.25	50.00	112.50	100.00	71.43	
21	8/10/50	403.13	81.25	62.50	62.50	93.75	58.33	
23	10/10/50	479.16	133.33	75.00	83.33	91.67	101.56	
25	12/10/50	515.63	318.75	125.00	81.25	68.75	90.91	
28	15/10/50	637.50	512.51	450.00	281.25	175.00	400.01	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	703.13	384.38	309.38	356.25	325.01	318.75	
32	19/10/50	750.00	325.01	300.00	290.63	178.57	140.63	
35	22/10/50	918.75	337.50	384.38	375.00	375.00	152.78	
39	26/10/50	728.69	330.88	375.00	389.64	160.42	171.88	
42	29/10/50	843.75	402.08	430.14	364.59	105.00	171.88	
46	2/11/50	510.42	281.25	346.87	309.38	330.89	312.49	

ตารางที่ ข-3 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติก)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
49	5/11/50	585.94	520.83	457.04	452.21	287.51	125.00	
53	9/11/50	663.46	116.07	276.32	145.63	138.89	150.00	
56	12/11/50	598.22	180.56	52.78	20.00	50.29	32.50	
60	16/11/50	518.38	162.50	66.67	131.94	68.24	53.33	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	646.87	43.33	25.00	20.39	23.33	12.50	
67	23/11/50	418.27	77.06	121.25	173.18	151.32	133.33	
70	26/11/50	480.67	150.00	116.19	53.95	38.16	29.91	
74	30/11/50	474.27	281.25	48.16	32.78	25.00	21.85	
77	3/12/50	540.43	403.85	489.59	485.79	335.16	312.39	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	750.00	421.87	410.16	357.96	178.57	111.11	
84	10/12/50	937.50	485.29	562.50	425.35	128.26	180.00	
88	14/12/50	796.87	98.00	389.64	73.68	37.14	33.93	
91	17/12/50	901.87	133.42	131.25	123.53	45.59	27.83	

ตารางที่ ข-3 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติก)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
95	21/12/50	1,162.50	736.60	507.96	278.13	68.43	36.82	
98	24/12/50	659.56	150.00	148.21	118.00	16.67	61.82	
102	28/12/50	785.16	375.00	348.21	78.75	63.85	67.65	
104	30/12/50	738.97	441.18	55.88	83.33	53.93	48.24	
108	3/1/51	768.91	105.91	96.94	68.57	47.50	42.50	
112	7/1/51	532.50	100.94	175.00	375.00	331.72	93.75	
119	14/1/51	375.00	46.25	45.00	26.43	33.33	12.00	
126	21/1/51	277.03	28.33	13.21	29.64	8.33	16.11	
133	28/1/51	276.42	32.31	27.87	26.67	10.46	32.35	ระบบคังตัว
140	4/2/51	98.00	23.33	21.00	24.67	19.70	23.58	
147	11/2/51	47.92	18.33	23.13	26.67	21.67	26.67	
203	7/4/51	55.31	23.75	21.00	19.29	19.55	32.50	
210	14/4/51	54.62	26.56	27.45	15.36	16.50	18.33	

ตารางที่ ข-4 ค่าสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
17	4/10/50	456.25	487.50	862.50	1,312.50	1,500.00	1,059.52	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
21	8/10/50	575.00	656.25	950.00	1,156.25	1,418.75	941.67	
23	10/10/50	354.17	625.00	833.33	1,100.00	1,308.33	835.94	
25	12/10/50	218.75	425.00	648.81	1,000.00	1,262.50	602.27	
28	15/10/50	662.50	550.00	525.00	743.75	1,093.75	533.33	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	612.50	475.00	612.50	643.75	950.00	687.50	
32	19/10/50	1,075.00	941.67	991.67	893.75	1,214.29	984.37	
35	22/10/50	2,681.25	2,333.33	2,281.25	2,056.25	3,100.00	2,152.78	
39	26/10/50	1,420.45	1,742.65	2,000.00	2,321.43	2,557.29	1,734.37	
42	29/10/50	2,806.25	2,527.78	2,191.18	2,076.39	2,181.25	1,703.12	
46	2/11/50	368.06	1,275.00	1,475.00	1,675.00	1,470.59	958.33	
49	5/11/50	2,039.06	2,076.39	1,914.06	1,750.00	1,241.67	1,112.50	
53	9/11/50	673.08	736.61	1,414.47	1,432.04	1,486.11	875.00	

ตารางที่ ข-4 ค่าสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
56	12/11/50	1,684.52	1,541.67	1,472.22	1,331.52	1,220.59	1,145.83	
60	16/11/50	1,647.06	1,087.50	1,283.33	1,222.22	889.71	892.86	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	3,656.25	3,483.33	3,233.33	2,840.28	2,241.67	1,890.63	
67	23/11/50	1,115.38	1,713.24	1,687.50	1,460.23	1,111.84	1,075.00	
70	26/11/50	2,431.82	2,817.31	2,434.52	2,309.21	1,973.68	1,920.45	
74	30/11/50	1,323.53	1,537.50	1,730.26	1,722.22	1,388.16	1,296.29	
77	3/12/50	2,147.06	2,201.92	2,250.00	2,284.09	2,289.06	2,250.00	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	2,738.64	2,681.25	2,601.56	2,397.73	1,976.19	1,819.44	
84	10/12/50	3,359.37	3,897.06	3,750.00	3,589.29	3,038.04	2,850.00	
88	14/12/50	1,350.00	1,587.50	1,541.67	1,690.78	1,517.86	1,386.36	
91	17/12/50	2,693.75	2,776.32	2,637.50	2,500.00	2,147.06	2,021.74	
95	21/12/50	5,825.00	5,642.86	5,522.73	5,312.50	4,608.69	4,340.91	
98	24/12/50	2,117.65	2,279.41	2,482.14	3,108.33	2,633.33	2,465.91	

ตารางที่ ข-4 ค่าสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
102	28/12/50	2,046.87	2,203.12	2,410.71	2,427.08	2,230.77	2,073.53	
104	30/12/50	1,948.53	2,051.47	2,264.71	2,166.67	1,776.79	1,764.71	
108	3/1/51	3,195.65	3,000.00	2,833.33	2,482.14	2,223.21	2,229.16	
112	7/1/51	2,843.75	2,937.50	2,975.00	3,080.36	2,846.15	2,890.62	
119	14/1/51	2,533.33	2,458.33	2,575.00	2,553.57	2,550.00	2,527.78	
126	21/1/51	2,515.62	2,583.33	2,642.86	2,500.00	2,468.75	2,416.67	
133	28/1/51	2,321.43	2,288.46	2,281.25	2,270.83	2,134.62	2,058.82	ระบบคงตัว
140	4/2/51	2,360.00	2,300.00	2,406.25	2,308.33	2,242.86	2,157.89	
147	11/2/51	2,239.58	2,175.00	2,179.69	2,191.67	2,133.33	2,025.00	
203	7/4/51	2,539.06	2,177.08	1,750.00	1,535.71	1,636.36	1,437.50	
210	14/4/51	2,307.69	2,304.69	2,272.73	2,071.43	2,100.00	2,025.00	

ตารางที่ ข-5 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
17	4/10/50	1.01	0.27	0.06	0.09	0.07	0.07	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
21	8/10/50	0.70	0.12	0.07	0.05	0.07	0.06	
23	10/10/50	1.35	0.21	0.09	0.08	0.07	0.12	
25	12/10/50	2.36	0.75	0.19	0.08	0.05	0.15	
28	15/10/50	0.96	0.93	0.86	0.38	0.16	0.75	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	1.15	0.81	0.51	0.55	0.34	0.46	
32	19/10/50	0.70	0.35	0.30	0.33	0.15	0.14	
35	22/10/50	0.34	0.14	0.17	0.18	0.12	0.07	
39	26/10/50	0.51	0.19	0.19	0.17	0.06	0.10	
42	29/10/50	0.30	0.16	0.20	0.18	0.05	0.10	
46	2/11/50	1.39	0.22	0.24	0.18	0.23	0.33	
49	5/11/50	0.29	0.25	0.24	0.26	0.23	0.11	

ตารางที่ ข-5 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
53	9/11/50	0.98	0.16	0.20	0.10	0.09	0.17	
56	12/11/50	0.36	0.12	0.04	0.02	0.04	0.03	
60	16/11/50	0.31	0.15	0.05	0.11	0.08	0.06	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	0.18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
67	23/11/50	0.38	0.04	0.07	0.12	0.14	0.12	
70	26/11/50	0.19	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	
74	30/11/50	0.36	0.18	0.03	0.02	0.02	0.02	
77	3/12/50	0.25	0.18	0.22	0.21	0.15	0.14	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	0.27	0.16	0.16	0.15	0.09	0.06	
84	10/12/50	0.28	0.12	0.15	0.12	0.04	0.06	
88	14/12/50	0.59	0.06	0.25	0.04	0.02	0.02	
91	17/12/50	0.33	0.05	0.05	0.05	0.02	0.01	

ตารางที่ ข-5 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
95	21/12/50	0.20	0.13	0.09	0.05	0.01	0.01	
98	24/12/50	0.31	0.07	0.06	0.04	0.01	0.03	
102	28/12/50	0.38	0.17	0.14	0.03	0.03	0.03	
104	30/12/50	0.38	0.22	0.02	0.04	0.03	0.03	
108	3/1/51	0.24	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	
112	7/1/51	0.19	0.03	0.06	0.12	0.12	0.03	
119	14/1/51	0.15	0.02	0.02	0.01	0.01	0.005	
126	21/1/51	0.11	0.01	0.005	0.01	0.003	0.01	
133	28/1/51	0.12	0.01	0.01	0.01	0.005	0.02	ระบบคังตัว
140	4/2/51	0.04	0.01	0.01	0.01	0.009	0.01	
147	11/2/51	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
203	7/4/51	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	
210	14/4/51	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	

ตารางที่ ข-6 ค่าพีเอชของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
9	26/9/50	5.71	6.97	7.32	7.27	7.49	7.48	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
11	28/9/50	5.42	6.67	7.20	7.19	7.26	7.33	
14	1/10/50	5.97	6.50	7.02	7.31	7.16	7.15	
17	4/10/50	6.07	6.49	6.88	7.18	7.34	7.37	
21	8/10/50	6.37	6.68	6.89	7.01	6.98	6.86	
23	10/10/50	5.71	6.70	6.98	7.14	7.18	7.02	
25	12/10/50	5.16	6.16	6.74	6.98	7.04	6.74	
28	15/10/50	6.01	6.02	6.07	6.62	6.84	6.31	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	6.01	6.02	6.50	6.49	6.77	6.53	
32	19/10/50	6.40	6.62	6.65	6.74	6.83	6.69	
35	22/10/50	6.96	7.09	7.09	7.00	7.22	7.07	
39	26/10/50	6.60	6.92	7.02	7.06	7.13	7.03	
42	29/10/50	7.02	7.07	7.04	7.01	7.07	7.17	

ตารางที่ ข-6 ค่าพีเอชของน้ำเสียนในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
46	2/11/50	5.63	6.90	6.99	7.06	6.96	6.90	
49	5/11/50	7.11	7.05	7.03	7.00	6.87	6.90	
53	9/11/50	6.12	6.83	6.99	7.04	7.10	7.44	
56	12/11/50	6.88	7.00	6.97	6.94	6.92	7.22	
60	16/11/50	6.84	6.76	6.90	6.85	6.67	6.69	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	7.18	7.29	7.22	7.14	7.06	7.13	
67	23/11/50	6.61	6.92	6.89	6.80	6.64	6.63	
70	26/11/50	7.08	7.14	7.12	7.08	7.03	7.00	
74	30/11/50	6.69	6.79	6.92	6.91	6.78	6.88	
77	3/12/50	6.97	6.97	6.96	6.93	6.95	7.03	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	7.00	7.13	7.10	7.03	6.95	6.93	
84	10/12/50	7.01	7.37	7.26	7.25	7.17	7.18	
88	14/12/50	6.41	6.62	6.62	6.65	6.54	6.51	

ตารางที่ ข-6 ค่าพีเอชของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
91	17/12/50	6.82	6.89	6.93	6.95	6.83	6.79	
95	21/12/50	7.45	7.37	7.33	7.30	7.26	7.24	
98	24/12/50	6.64	6.77	6.87	7.00	6.89	6.90	
102	28/12/50	6.88	7.18	7.43	7.29	7.27	7.31	
104	30/12/50	6.63	6.81	6.95	6.91	6.79	6.74	
108	3/1/51	7.20	7.15	7.14	7.05	7.00	7.10	
112	7/1/51	7.05	7.17	7.05	7.09	7.09	7.04	
119	14/1/51	7.19	7.33	7.20	7.19	7.20	7.14	
126	21/1/51	7.00	7.16	7.16	7.10	7.01	6.99	
133	28/1/51	6.96	6.97	7.00	6.91	6.93	6.98	ระบบคงตัว
140	4/2/51	6.86	6.87	6.89	6.87	6.79	6.81	
147	11/2/51	6.89	6.88	6.83	6.88	6.82	6.78	
154	18/2/50	6.97	7.00	6.97	6.95	6.91	6.90	

ตารางที่ ข-6 ค่าพีเอชของน้ำเสียนในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
158	22/2/51	6.72	6.63	6.82	6.78	6.73	6.69	
161	25/2/51	7.00	7.04	6.98	6.97	6.93	6.89	
165	29/2/51	6.90	6.77	6.72	6.72	6.68	6.70	
179	14/3/51	7.10	7.09	7.06	6.98	6.93	6.86	
186	21/3/51	7.38	7.26	7.17	7.04	6.94	6.97	
200	4/4/51	6.95	6.95	6.92	6.85	6.83	6.80	
203	7/4/51	7.05	6.93	6.84	6.81	6.91	6.80	
207	11/4/51	7.13	7.11	6.99	6.87	6.82	6.74	
210	14/4/51	6.93	6.93	6.95	6.84	6.82	6.85	

ตารางที่ ข-7 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าโออาร์พี (มิลลิโวลต์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
9	26/9/50	-238.80	-163.80	-260.30	-256.20	-270.70	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
11	28/9/50	-220.60	-146.90	-252.20	-251.30	-255.50	
14	1/10/50	-214.70	-183.30	-244.60	-261.40	-252.80	
17	4/10/50	-214.30	-188.80	-237.40	-254.20	-263.60	
21	8/10/50	-225.70	-207.30	-237.60	-244.60	-243.10	
23	10/10/50	-213.30	-154.60	-230.50	-239.80	-241.80	
25	12/10/50	-182.40	-122.40	-216.40	-230.50	-233.60	
28	15/10/50	-175.30	-176.10	-180.10	-215.50	-228.70	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	-188.40	-176.70	-206.10	-206.10	-224.50	
32	19/10/50	-219.80	-208.80	-221.80	-226.80	-231.80	
35	22/10/50	-246.80	-239.80	-245.80	-241.80	-253.80	
39	26/10/50	-236.80	-218.80	-242.80	-244.80	-248.80	
42	29/10/50	-244.80	-241.80	-243.80	-241.80	-245.80	
46	2/11/50	-229.80	-159.80	-235.80	-239.80	-233.80	

ตารางที่ ข-7 ค่าไออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าไออาร์พี (มิลลิโวลท์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
49	5/11/50	-238.80	-242.80	-237.80	-235.80	-228.80	
53	9/11/50	-225.80	-186.80	-234.80	-237.80	-241.80	
56	12/11/50	-235.80	-229.80	-234.80	-232.80	-232.80	
60	16/11/50	-229.20	-233.50	-237.60	-234.60	-224.00	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	-264.40	-257.90	-260.60	-255.80	-251.40	
67	23/11/50	-247.10	-228.40	-245.00	-239.60	-229.70	
70	26/11/50	-260.10	-257.00	-258.60	-256.30	-253.40	
74	30/11/50	-244.00	-238.20	-251.90	-250.90	-243.60	
77	3/12/50	-254.40	-255.20	-255.40	-252.60	-253.00	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
81	7/12/50	-263.60	-256.60	-261.80	-258.60	-254.40	
84	10/12/50	-276.80	-257.40	-271.00	-270.40	-266.50	
88	14/12/50	-245.20	-233.30	-245.80	-247.60	-241.40	
91	17/12/50	-256.50	-260.90	-263.40	-264.20	-257.40	
95	21/12/50	-297.40	-293.30	-290.10	-289.30	-286.30	

ตารางที่ ข-7 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าโออาร์พี (มิลลิโวลท์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
98	24/12/50	-254.80	-262.20	-268.00	-274.70	-268.80	
102	28/12/50	-242.60	-258.80	-272.50	-264.80	-264.20	
104	30/12/50	-223.70	-234.20	-242.40	-240.10	-233.50	
108	3/1/51	-271.80	-267.90	-268.60	-263.40	-260.50	
112	7/1/51	-266.60	-272.60	-266.50	-268.70	-268.30	
119	14/1/51	-269.10	-276.90	-269.60	-268.70	-269.50	
126	21/1/51	-244.00	-251.40	-251.70	-248.50	-243.90	
133	28/1/51	-260.50	-261.20	-263.20	-257.70	-259.30	ระบบคงตัว
140	4/2/51	-270.30	-270.60	-271.00	-271.20	-266.30	
147	11/2/51	-264.50	-264.50	-261.30	-264.10	-260.50	
154	18/2/50	-266.00	-267.80	-265.80	-264.70	-262.10	
158	22/2/51	-258.70	-254.40	-265.10	-262.30	-259.20	
161	25/2/51	-267.00	-269.60	-266.10	-265.40	-263.30	
165	29/2/51	-268.00	-259.20	-256.10	-256.70	-254.60	

ตารางที่ ข-7 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าโออาร์พี (มิลลิโวลต์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
179	14/3/51	-245.80	-245.20	-243.50	-238.60	-236.80	
186	21/3/51	-269.10	-261.40	-255.90	-250.10	-242.70	
200	4/4/51	-239.70	-239.90	-237.90	-233.70	-231.60	
203	7/4/51	-244.80	-237.90	-233.40	-231.70	-237.20	
207	11/4/51	-246.20	-245.20	-238.40	-230.30	-227.60	
210	14/4/51	-247.70	-247.10	-248.50	-241.70	-241.00	

ตารางที่ ข-8 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด
ของห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแข็งระเหย เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด (%)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
29	16/10/50	72.47	73.82	68.20	66.04	65.59	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
30	17/10/50	76.50	75.95	69.31	70.38	69.51	
31	18/10/50	76.36	74.33	68.59	66.31	66.91	
37	24/10/50	73.19	71.85	66.36	64.12	64.89	
39	26/10/50	75.21	73.29	66.55	66.23	68.06	
79	5/12/50	77.01	71.80	67.37	67.54	71.80	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
92	18/12/50	80.40	72.87	67.23	63.05	72.25	
121	16/1/51	79.77	74.59	66.15	66.40	70.83	
171	6/3/51	77.99	71.86	66.58	63.76	61.39	ระบบคงตัว
189	24/3/51	66.87	60.35	65.19	65.80	65.51	
217	21/4/51	79.47	67.68	66.85	68.56	69.24	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
12	29/9/50	2,188.00	0.37 กก./ลบ.ม.-วัน
14	1/10/50	2,318.00	
15	2/10/50	2,362.00	
17	4/10/50	2,407.00	
18	5/10/50	2,412.00	
21	8/10/50	2,314.00	
22	9/10/50	2,332.00	
23	10/10/50	2,352.00	
24	11/10/50	2,349.00	
25	12/10/50	2,387.00	
26	13/10/50	2,318.00	
28	15/10/50	3,238.00	0.59 กก./ลบ.ม.-วัน
29	16/10/50	3,051.00	
30	17/10/50	3,070.00	
31	18/10/50	3,142.00	
32	19/10/50	2,730.00	
33	20/10/50	3,304.00	
35	22/10/50	3,120.00	
36	23/10/50	3,130.00	
37	24/10/50	3,080.00	
38	25/10/50	3,182.00	
39	26/10/50	3,252.00	
40	27/10/50	3,270.00	
42	29/10/50	3,120.00	
43	30/10/50	3,244.00	
44	31/10/50	2,520.00	
45	1/11/50	2,880.00	

ตารางที่ ข-9 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
46	2/11/50	2,780.00	
49	5/11/50	2,864.00	
50	6/11/50	2,872.00	
51	7/11/50	2,980.00	
52	8/11/50	3,028.00	
56	12/11/50	4,872.00	
57	13/11/50	5,242.00	
58	14/11/50	5,846.00	
59	15/11/50	5,662.00	
60	16/11/50	6,444.00	0.87 กก./ลบ.ม.-วัน
63	19/11/50	6,320.00	
64	20/11/50	5,968.00	
65	21/11/50	6,485.00	
66	22/11/50	6,125.00	
67	23/11/50	6,368.00	
70	26/11/50	6,152.00	
71	27/11/50	6,088.00	
72	28/11/50	5,920.00	
73	29/11/50	6,179.00	
74	30/11/50	6,445.00	
77	3/12/50	7,435.00	1.29 กก./ลบ.ม.-วัน
78	4/12/50	7,300.00	
79	5/12/50	7,864.00	
80	6/12/50	7,970.00	
81	7/12/50	8,676.00	
84	10/12/50	8,665.00	
85	11/12/50	8,774.00	

ตารางที่ ข-9 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
86	12/12/50	8,628.00	
88	14/12/50	8,920.00	
91	17/12/50	8,895.00	
93	19/12/50	9,152.00	
94	20/12/50	9,156.00	
95	21/12/50	9,258.00	
98	24/12/50	9,355.00	
99	25/12/50	9,411.00	
100	26/12/50	9,312.00	
101	27/12/50	9,253.00	
102	28/12/50	9,330.00	
104	30/12/50	9,406.00	
107	2/1/51	9,348.00	
108	3/1/51	9,168.00	
109	4/1/51	9,384.00	
112	7/1/51	9,150.00	
113	8/1/51	9,161.00	
114	9/1/51	9,366.00	
115	10/1/51	9,402.00	
116	11/1/51	9,360.00	
119	14/1/51	9,375.00	
121	16/1/51	9,461.00	
122	17/1/51	9,231.00	
123	18/1/51	9,180.00	
126	21/1/51	9,357.00	
127	22/1/51	9,285.00	
128	23/1/51	9,195.00	

ตารางที่ ข-9 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
129	24/1/51	9,385.00	
130	25/1/51	9,330.00	
133	28/1/51	9,240.00	ระบบคงตัว
134	29/1/51	9,240.00	
135	30/1/51	9,240.00	
137	1/2/51	9,240.00	
140	4/2/51	9,195.00	
141	5/2/51	9,420.00	
142	6/2/51	9,105.00	
144	8/2/51	9,393.00	
147	11/2/51	9,510.00	
148	12/2/51	9,307.00	
149	13/2/51	9,339.00	
150	14/2/51	9,258.00	
151	15/2/51	9,320.00	
155	19/2/51	9,310.00	
156	20/2/51	9,240.00	
161	25/2/51	9,370.00	
163	27/2/51	9,186.00	
164	28/2/51	9,195.00	
165	29/2/51	9,186.00	
168	3/3/51	9,195.00	
169	4/3/51	9,265.00	
172	7/3/51	9,145.00	
175	10/3/51	9,050.00	
177	12/3/51	9,123.00	
178	13/3/51	9,050.00	

ตารางที่ ข-9 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
179	14/3/51	9,177.00	
182	17/3/51	9,150.00	
183	18/3/51	9,190.00	
186	21/3/51	9,130.00	
189	24/3/51	9,255.00	
190	25/3/51	9,258.00	
192	27/3/51	9,320.00	
193	28/3/51	9,230.00	
196	31/3/51	9,268.00	
197	1/4/51	9,215.00	
198	2/4/51	9,150.00	
200	4/4/51	9,230.00	
203	7/4/51	9,150.00	
205	9/4/51	9,186.00	
206	10/4/51	9,240.00	
207	11/4/51	9,186.00	
210	14/4/51	9,210.00	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 2 การป้อนน้ำเสียที่ไม่มีและมีแอมโมเนียให้กับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

ตารางที่ ข-10 ค่าซีโอดีของน้ำเข้ากับน้ำออกและค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมด

ลำดับวัน	วันที่	ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)		ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมด (%)	หมายเหตุ
		น้ำเข้า	น้ำออก		
133	28/1/51	1,852.93	47.84	97.42	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	2,146.62	24.85	98.84	
147	11/2/51	2,068.00	29.52	98.57	
154	18/2/51	2,280.00	48.36	97.88	
158	22/2/51	1,872.00	20.57	98.90	
161	25/2/51	1,919.68	22.15	98.85	
165	29/2/51	1,627.19	22.13	98.64	
179	14/3/51	1,864.46	35.28	98.12	
186	21/3/51	2,112.48	42.64	97.98	
200	4/4/51	1,847.65	20.66	98.88	
203	7/4/51	1,993.68	41.79	97.90	
207	11/4/51	2,388.24	23.47	99.02	
210	14/4/51	2,347.20	22.73	99.03	
233	7/5/51	2,218.42	53.76	97.58	3,500 มก.N/ลิตร
240	14/5/51	2,260.58	73.44	96.75	
242	16/5/51	2,396.96	227.21	90.52	
245	19/5/51	2,326.97	145.30	93.76	
249	23/5/51	2,625.00	148.91	94.33	
252	26/5/51	2,030.60	126.00	93.79	
255	29/5/51	2,309.47	178.13	92.29	
261	4/6/51	2,493.52	137.55	94.48	4,500 มก.N/ลิตร
268	11/6/51	2,312.80	147.00	93.64	
269	12/6/51	2,312.80	131.25	94.33	

ตารางที่ ข-11 ค่าซีโอดีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
133	28/1/51	194.30	46.00	38.02	30.62	23.51	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	108.38	26.41	24.85	24.85	22.17	
147	11/2/51	54.90	25.92	36.72	33.12	30.72	
154	18/2/51	153.45	78.12	59.52	63.24	51.34	
158	22/2/51	51.42	143.98	27.42	25.45	27.42	
161	25/2/51	72.00	46.80	32.40	39.60	39.60	
165	29/2/51	81.60	46.08	29.49	29.49	26.88	
179	14/3/51	84.93	34.30	34.30	24.77	21.76	
186	21/3/51	236.16	63.37	45.92	49.20	39.36	
200	4/4/51	55.38	55.38	40.61	25.15	22.15	
203	7/4/51	60.25	29.54	24.77	24.56	23.15	
207	11/4/51	65.25	49.60	36.46	33.96	31.30	
210	14/4/51	60.61	37.88	30.30	22.73	22.73	
233	7/5/51	215.04	204.29	155.30	102.79	64.51	3,500 มก.N/ลิตร
240	14/5/51	94.92	80.784	124.85	83.72	84.46	
242	16/5/51	193.60	161.38	178.16	180.74	149.77	
245	19/5/51	103.78	148.41	121.19	160.86	129.73	
249	23/5/51	173.89	148.91	136.60	129.22	143.99	
252	26/5/51	140.94	136.80	118.80	140.40	144.00	
255	29/5/1	165.06	128.45	187.20	171.65	160.85	
261	4/6/51	149.26	96.58	131.70	105.36	135.21	4,500 มก.N/ลิตร
268	11/6/51	144.55	129.85	120.05	105.35	105.35	
269	12/6/51	128.01	105.36	97.20	103.71	95.64	

ตารางที่ ข-12 ค่ากรดไขมันระเหยของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติก)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
133	28/1/51	276.42	32.31	27.88	26.67	10.46	32.35	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	98.00	23.33	21.00	24.67	19.70	23.58	
147	11/2/51	47.92	18.33	23.13	26.67	21.67	26.67	
203	7/4/51	55.31	23.75	21.00	19.29	19.55	32.50	
210	14/4/51	54.62	26.56	27.45	15.36	16.50	18.33	
233	7/5/51	125.00	101.56	75.00	44.12	27.78	35.71	3,500 มก.N/ลิตร
238	12/5/51	98.21	95.59	92.11	90.28	90.28	83.33	
240	14/5/51	93.75	76.15	76.92	62.50	75.00	63.75	
242	16/5/51	89.29	76.54	91.67	86.54	88.24	67.31	
245	19/5/51	101.17	107.14	107.14	107.14	91.67	96.15	
252	26/5/51	109.38	89.27	90.28	108.33	88.24	102.94	
263	6/6/51	158.33	133.33	166.67	138.16	139.71	108.33	4,500 มก.N/ลิตร
268	11/6/51	133.85	110.71	100.00	93.75	96.15	96.15	

ตารางที่ ข-13 ค่าสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
133	28/1/51	2,321.43	2,288.46	2,281.25	2,270.83	2,134.62	2,058.82	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	2,360.00	2,300.00	2,406.25	2,308.33	2,242.86	2,157.89	
147	11/2/51	2,239.58	2,175.00	2,179.69	2,191.67	2,133.33	2,025.00	
203	7/4/51	2,539.06	2,177.08	1,750.00	1,535.71	1,636.36	1,437.50	
210	14/4/51	2,307.69	2,304.69	2,272.73	2,071.43	2,100.00	2,025.00	
233	7/5/51	2,703.13	2,429.69	1,800.00	1,316.18	1,125.00	1,250.00	3,500 มก.N/ลิตร
238	12/5/51	1,928.57	1,911.76	1,934.21	1,819.44	1,756.94	1,833.33	
240	14/5/51	1,541.67	1,451.92	1,182.69	1,052.08	1,075.00	1,125.00	
242	16/5/51	1,812.50	1,663.46	1,350.00	1,115.38	977.94	980.77	
245	19/5/51	1,468.75	1,428.57	1,437.50	1,392.86	1,291.67	1,221.15	
252	26/5/51	1,390.63	1,383.93	1,368.06	1,391.67	1,323.53	1,286.76	
263	6/6/51	1,700.00	1,608.33	1,475.00	1,210.53	1,117.65	1,066.67	4,500 มก.N/ลิตร
268	11/6/51	1,548.08	1,383.93	1,137.50	895.83	846.15	826.92	

ตารางที่ ข-14 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่างของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยต่อความเข้มข้นสภาพต่าง (มก./ลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมก./ลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
133	28/1/51	0.12	0.01	0.01	0.01	0.005	0.02	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
147	11/2/51	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
203	7/4/51	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	
210	14/4/51	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
233	7/5/51	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	3,500 มก.N/ลิตร
238	12/5/51	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
240	14/5/51	0.06	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06	
242	16/5/51	0.05	0.05	0.07	0.08	0.09	0.07	
245	19/5/51	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	
252	26/5/51	0.08	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	
263	6/6/51	0.09	0.08	0.11	0.11	0.13	0.10	4,500 มก.N/ลิตร
268	11/6/51	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	

ตารางที่ ข-15 ค่าพีเอชของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
133	28/1/51	6.96	6.97	7.00	6.91	6.93	6.98	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	6.86	6.87	6.89	6.87	6.79	6.81	
147	11/2/51	6.89	6.88	6.83	6.88	6.82	6.78	
154	18/2/51	6.97	7.00	6.97	6.95	6.91	6.90	
158	22/2/51	6.72	6.63	6.82	6.78	6.73	6.69	
161	25/2/51	7.00	7.04	6.98	6.97	6.93	6.89	
165	29/2/51	6.90	6.77	6.72	6.72	6.68	6.70	
179	14/3/51	7.10	7.09	7.06	6.98	6.93	6.86	
186	21/3/51	7.38	7.26	7.17	7.04	6.94	6.97	
200	4/4/51	6.95	6.95	6.92	6.85	6.83	6.80	
203	7/4/51	7.05	6.93	6.84	6.81	6.91	6.80	
207	11/4/51	7.13	7.11	6.99	6.87	6.82	6.74	
210	14/4/51	6.93	6.93	6.95	6.84	6.82	6.85	
221	25/4/51	6.91	7.00	7.03	7.01	7.03	6.98	

ตารางที่ ข-15 ค่าพีเอชของน้ำเสียนในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
228	2/5/51	7.21	7.16	7.06	6.96	6.91	6.83	
231	5/5/51	7.13	7.16	7.10	7.15	7.16	7.00	3,500 มก.N/ลิตร
232	6/5/51	6.95	6.96	6.94	6.89	7.00	6.86	
233	7/5/51	7.15	7.27	7.04	7.06	6.86	6.80	
240	14/5/51	7.14	7.00	6.90	6.90	6.94	6.91	
242	16/5/51	7.07	6.98	6.96	6.86	6.81	6.89	
245	19/5/51	7.07	7.05	7.01	6.99	7.00	6.97	
249	23/5/51	7.06	7.02	6.91	6.91	6.78	6.74	
252	26/5/51	7.04	7.03	6.95	6.93	6.97	6.97	
255	29/5/51	6.71	6.82	7.22	7.14	7.04	7.05	
259	2/6/51	6.77	6.78	6.86	6.84	6.81	6.93	4,500 มก.N/ลิตร
261	4/6/51	7.01	6.98	6.93	6.80	6.78	6.92	
268	11/6/51	7.05	7.00	6.94	6.74	6.79	6.84	
269	12/6/51	6.72	6.72	6.93	6.90	6.89	6.84	

ตารางที่ ข-15 ค่าพีเอชของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 และน้ำออก (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าพีเอช						หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	น้ำออก	
270	13/6/51	7.04	6.99	6.98	6.81	6.84	6.92	
275	18/6/51	6.76	6.75	6.77	6.79	6.74	6.89	
277	20/6/51	6.93	6.95	6.90	6.79	6.79	6.86	

ตารางที่ ข-16 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าโออาร์พี (มิลลิโวลต์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
133	28/1/51	-260.50	-261.20	-263.20	-257.70	-259.30	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	-270.30	-270.60	-271.00	-271.20	-266.30	
147	11/2/51	-264.50	-264.50	-261.30	-264.10	-260.50	
154	18/2/51	-266.00	-267.80	-265.80	-264.70	-262.10	
158	22/2/51	-258.70	-254.40	-265.10	-262.30	-259.20	

ตารางที่ ข-16 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าโออาร์พี (มิลลิโวลต์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
133	28/1/51	-260.50	-261.20	-263.20	-257.70	-259.30	ไม่มีแอมโมเนีย
140	4/2/51	-270.30	-270.60	-271.00	-271.20	-266.30	
147	11/2/51	-264.50	-264.50	-261.30	-264.10	-260.50	
154	18/2/51	-266.00	-267.80	-265.80	-264.70	-262.10	
158	22/2/51	-258.70	-254.40	-265.10	-262.30	-259.20	
161	25/2/51	-267.00	-269.60	-266.10	-265.40	-263.30	
165	29/2/51	-268.00	-259.20	-256.10	-256.70	-254.60	
179	14/3/51	-245.80	-245.20	-243.50	-238.60	-236.80	
186	21/3/51	-269.10	-261.40	-255.90	-250.10	-242.70	
200	4/4/51	-239.70	-239.90	-237.90	-233.70	-231.60	
203	7/4/51	-244.80	-237.90	-233.40	-231.70	-237.20	
207	11/4/51	-246.20	-245.20	-238.40	-230.30	-227.60	
210	14/4/51	-247.70	-247.10	-248.50	-241.70	-241.00	
218	22/4/51	-236.60	-239.40	-243.90	-245.10	-240.60	

ตารางที่ ข-16 ค่าไออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าไออาร์พี (มิลลิโวลต์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
226	30/4/51	-240.70	-238.10	-233.90	-229.50	-222.60	
227	1/5/51	-228.80	-227.40	-229.90	-229.50	-228.10	
228	2/5/51	-250.20	-247.80	-242.20	-236.40	-233.90	
231	5/5/51	-232.50	-254.60	-256.10	-261.20	-256.70	3,500 มก.N/ลิตร
232	6/5/51	-245.70	-251.70	-243.50	-270.60	-238.60	
233	7/5/51	-230.50	-261.50	-255.90	-264.50	-250.10	
240	14/5/51	-231.20	-258.60	-237.90	-267.80	-233.70	
242	16/5/51	-222.80	-257.60	-233.40	-254.40	-231.70	
245	19/5/51	-242.30	-268.10	-261.20	-269.60	-230.30	
249	23/5/51	-240.90	-265.40	-264.50	-265.40	-241.70	
252	26/5/51	-238.60	-256.70	-261.70	-257.10	-244.80	
255	29/5/51	-250.10	-238.60	-268.20	-249.70	-246.20	
259	2/6/51	-233.70	-250.10	-261.60	-261.50	-247.70	4,500 มก.N/ลิตร
261	4/6/51	-231.70	-233.70	-267.20	-258.60	-236.60	

ตารางที่ ข-16 ค่าไออาร์พีของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5 (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ค่าไออาร์พี (มิลลิโวลต์)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
268	11/6/51	-230.30	-261.20	-262.80	-257.60	-240.70	
269	12/6/51	-241.70	-264.50	-268.00	-268.10	-228.80	
270	13/6/51	-270.20	-259.90	-258.60	-262.00	-266.10	
273	16/6/51	-265.50	-268.20	-262.00	-256.80	-256.10	
275	18/6/51	-250.20	-245.60	-256.80	-260.40	-243.50	
277	20/6/51	-256.00	-267.20	-260.40	-255.50	-255.90	

ตารางที่ ข-17 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเข้าและน้ำออก

ลำดับวัน	วันที่	ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตรในรูปไนโตรเจน)		หมายเหตุ
		น้ำเข้า	น้ำออก	
154	18/2/51	-	21.00	ไม่มีแอมโมเนีย
158	22/2/51	-	14.00	
161	25/2/51	-	26.60	
165	29/2/51	-	40.60	
186	21/3/51	-	39.20	
200	4/4/51	-	23.80	
249	23/5/51	3,518.53	3,780.00	3,500 มก.N/ลิตร
255	29/5/51	3,507.31	3,594.00	
269	12/6/51	4,531.99	3,122.00	4,500 มก.N/ลิตร

ตารางที่ ข-18 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับ วัน	วันที่	ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตรในรูปไนโตรเจน)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
154	18/2/51	18.20	23.80	26.60	25.20	22.40	ไม่มีแอมโมเนีย
158	22/2/51	26.60	25.20	23.80	22.40	14.00	
161	25/2/51	19.60	25.20	28.00	30.80	28.00	
165	29/2/51	29.40	35.00	35.00	30.80	35.00	
186	21/3/51	21.00	33.60	43.40	33.60	33.60	
200	4/4/51	19.60	22.40	26.60	22.40	23.80	
249	23/5/51	3,780.00	3,738.00	3,836.00	3,780.00	3,654.00	3,500 มก.N/ลิตร
255	29/5/51	3,556.00	3,668.00	3,542.00	3,500.00	3,668.00	
269	12/6/51	2,884.00	3,066.00	3,066.00	3,108.00	3,122.00	4,500 มก.N/ลิตร

ตารางที่ ข-19 ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉิ่งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉิ่งทั้งหมดในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของแฉิ่งระเหยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแฉิ่งทั้งหมด (%)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
171	6/3/51	77.99	71.86	66.58	63.76	61.39	ไม่มีแอมโมเนีย
189	24/3/51	66.87	60.35	65.19	65.80	65.51	
217	21/4/51	79.47	67.68	66.85	68.56	69.24	
239	13/5/51	89.18	85.63	78.85	80.00	79.14	3,500 มก.N/ลิตร
259	2/5/51	90.23	86.21	80.28	81.28	83.19	
267	10/6/51	91.33	89.31	82.75	85.77	87.02	4,500 มก.N/ลิตร
273	16/5/51	92.08	90.67	85.35	88.27	89.13	

ตารางที่ ข-20 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
133	28/1/51	9,340.00	ไม่มีแอมโมเนีย
134	29/1/51	9,340.00	
135	30/1/51	9,340.00	
137	1/2/51	9,340.00	
140	4/2/51	9,295.00	
141	5/2/51	9,520.00	
142	6/2/51	9,205.00	
144	8/2/51	9,493.00	
147	11/2/51	9,610.00	
148	12/2/51	9,407.00	
149	13/2/51	9,439.00	
150	14/2/51	9,358.00	
151	15/2/51	9,420.00	
155	19/2/51	9,410.00	
156	20/2/51	9,340.00	
161	25/2/51	9,470.00	
163	27/2/51	9,286.00	
164	28/2/51	9,295.00	
165	29/2/51	9,286.00	
168	3/3/51	9,295.00	
169	4/3/51	9,365.00	
172	7/3/51	9,245.00	
175	10/3/51	9,150.00	
177	12/3/51	9,223.00	
178	13/3/51	9,150.00	
179	14/3/51	9,277.00	
182	17/3/51	9,250.00	

ตารางที่ ข-20 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
183	18/3/51	9,290.00	
186	21/3/51	9,230.00	
189	24/3/51	9,355.00	
190	25/3/51	9,358.00	
192	27/3/51	9,420.00	
193	28/3/51	9,330.00	
196	31/3/51	9,368.00	
197	1/4/51	9,315.00	
198	2/4/51	9,250.00	
200	4/4/51	9,330.00	
203	7/4/51	9,250.00	
205	9/4/51	9,286.00	
206	10/4/51	9,340.00	
207	11/4/51	9,286.00	
210	14/4/51	9,310.00	
213	17/4/51	9,580.00	
214	18/4/51	9,250.00	
218	22/4/51	9,380.00	
219	23/4/51	9,385.00	
221	25/4/51	9,370.00	
224	28/4/51	9,355.00	
225	29/4/51	9,389.00	
227	1/5/51	9,295.00	
228	2/5/51	9,358.00	
231	5/5/51	9,332.00	3,500 มก.N/ลิตร
232	6/5/51	9,390.00	
233	7/5/51	9,365.00	

ตารางที่ ข-20 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ลำดับวัน	วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล./วัน)	หมายเหตุ
234	8/5/51	9,358.00	
235	9/5/51	9,056.00	
238	12/5/51	9,322.00	
240	14/5/51	9,365.00	
241	15/5/51	9,370.00	
242	16/5/51	9,370.00	
245	19/5/51	9,380.00	
246	20/5/51	9,310.00	
247	21/5/51	9,334.00	
248	22/5/51	9,367.00	
249	23/5/51	9,313.00	
252	26/5/51	9,358.00	
254	28/5/51	9,349.00	
256	30/5/51	9,322.00	
262	5/6/51	9,367.00	4,500 มก.N/ลิตร
263	6/6/51	9,334.00	
266	9/6/51	9,367.00	
270	13/6/51	9,367.00	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA) การวิเคราะห์
การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite) การตรวจสอบสัดส่วนของค่า
ซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)**

การวิเคราะห์ค่าเอสเอ็มเอ (Specific Methanogenic Activity, SMA)

ตารางที่ ข-21 ค่าเอสเอ็มเอของห้อง 1 ถึง 5

ลำดับ วัน	วันที่	ค่าเอสเอ็มเอ (กรัมซีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
171	6/3/51	0.1270	0.1110	0.0330	0.0540	0.0570	ไม่มีแอมโมเนีย
189	24/3/51	0.2230	0.0896	0.0200	0.0330	0.0330	
217	21/4/51	0.1584	0.0980	0.0260	0.0380	0.0410	
239	13/5/51	0.0580	0.0268	0.0140	0.0147	0.0172	3,500 มก.N/ลิตร
259	2/5/51	0.0630	0.0242	0.0162	0.0150	0.0173	
267	10/6/51	0.0435	0.0223	0.0119	0.0081	0.0088	4,500 มก.N/ลิตร
273	16/5/51	0.0271	0.0163	0.0074	0.0068	0.0062	

การวิเคราะห์การเกิดผลึกของสารประกอบสตรูไวท์ (struvite)

ตารางที่ ข-22 ค่าแอมโมเนียในโตรเจนของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับ วัน	วันที่	ค่าแอมโมเนียในโตรเจน (มก./ลิตรในรูปไนโตรเจน)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
154	18/2/51	18.20	23.80	26.60	25.20	22.40	ไม่มีแอมโมเนีย
158	22/2/51	26.60	25.20	23.80	22.40	14.00	
161	25/2/51	19.60	25.20	28.00	30.80	28.00	
165	29/2/51	29.40	35.00	35.00	30.80	35.00	
186	21/3/51	21.00	33.60	43.40	33.60	33.60	
200	4/4/51	19.60	22.40	26.60	22.40	23.80	
249	23/5/51	3,780.00	3,738.00	3,836.00	3,780.00	3,654.00	3,500 มก.N/ลิตร
255	29/5/51	3,556.00	3,668.00	3,542.00	3,500.00	3,668.00	
269	12/6/51	2,884.00	3,066.00	3,066.00	3,108.00	3,122.00	4,500 มก.N/ลิตร

ตารางที่ ข-23 ค่าแมกนีเซียมของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับ วัน	วันที่	ค่าแมกนีเซียม (มก./ลิตรในรูปแมกนีเซียม)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
154	18/2/51	10.92	10.41	10.88	11.26	11.10	ไม่มีแอมโมเนีย
158	22/2/51	11.39	11.54	11.22	11.06	10.30	
161	25/2/51	10.70	10.96	11.44	11.55	11.70	
165	29/2/51	10.87	11.36	11.21	11.13	10.81	
186	21/3/51	10.56	10.45	11.22	10.89	10.23	
200	4/4/51	10.12	10.23	9.46	9.68	9.57	
207	11/4/51	9.90	10.34	10.89	10.23	9.79	
249	23/5/51	10.34	10.23	10.12	9.90	9.79	3,500 มก.N/ลิตร
255	29/5/51	9.35	9.13	9.35	9.79	8.80	
269	12/6/51	9.35	9.35	10.23	9.68	9.68	4,500 มก.N/ลิตร

ตารางที่ ข-24 ค่าฟอสเฟตของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับ วัน	วันที่	ค่าฟอสเฟต (มก./ลิตรในรูปฟอสเฟต)					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
154	18/2/51	14.29	24.16	25.97	23.88	23.40	ไม่มีแอมโมเนีย
158	22/2/51	26.10	18.37	17.44	18.21	17.62	
161	25/2/51	19.80	22.27	23.63	24.07	27.00	
165	29/2/51	14.50	18.34	21.60	17.33	17.30	
186	21/3/51	18.90	21.77	25.04	26.68	25.04	
200	4/4/51	17.17	11.12	15.64	9.89	7.13	
249	23/5/51	13.39	15.43	19.01	21.33	21.45	3,500 มก.N/ลิตร
255	29/5/51	5.82	8.06	22.85	22.08	18.80	
269	12/6/51	9.30	15.43	26.67	27.81	26.83	4,500 มก.N/ลิตร

การตรวจสอบสัดส่วนของค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (COD:N:P ratio)

ตารางที่ ข-25 ค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสของน้ำเสียในห้อง 1 ถึง 5

ลำดับวัน	วันที่	ค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส					หมายเหตุ
		ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ห้อง 5	
154	18/2/51	100 : 23.72 : 3.04	100 : 35.84 : 10.09	100 : 61.16 : 14.23	100 : 61.99 : 12.31	100 : 65.45 : 14.86	ไม่มีแอมโมเนีย
158	22/2/51	100 : 78.23 : 16.55	100 : 19.45 : 4.16	100 : 102.10 : 20.74	100 : 198.04 : 23.33	100 : 91.89 : 20.95	
161	25/2/51	100 : 66.11 : 8.97	100 : 119.66 : 15.52	100 : 146.91 : 23.78	100 : 134.34 : 19.82	100 : 113.13 : 22.24	
165	29/2/51	100 : 78.92 : 5.80	100 : 145.83 : 12.98	100 : 227.86 : 23.88	100 : 265.84 : 19.16	100 : 208.33 : 20.98	
186	21/3/51	100 : 21.34 : 2.61	100 : 83.95 : 11.20	100 : 158.54 : 17.78	100 : 159.35 : 17.68	100 : 156.50 : 20.74	
200	4/4/51	100 : 85.95 : 10.11	100 : 65.73 : 6.55	100 : 96.52 : 12.56	100 : 202.24 : 14.56	100 : 226.85 : 13.45	
249	23/5/51	100 : 2,197.94 : 2.51	100 : 3,864.18 : 3.38	100 : 3,105.33 : 4.54	100 : 2,991.02 : 5.38	100 : 2,916.90 : 4.86	3,500 มก.N/ลิตร
255	29/5/51	100 : 2,273.11 : 1.15	100 : 3,033.91 : 2.05	100 : 1,966.88 : 3.98	100 : 2,153.24 : 4.20	100 : 2,306.53 : 3.81	
269	12/6/51	100 : 2,307.59 : 2.37	100 : 3,016.19 : 4.78	100 : 3,255.14 : 8.95	100 : 3,077.74 : 8.75	100 : 3,293.44 : 9.15	4,500 มก.N/ลิตร

หมายเหตุ : ค่าสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส คือ ค่าสัดส่วนซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) : ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) : ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปฟอสฟอรัส)



ภาคผนวก ค
รายการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค-1 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี

เกิดก๊าซชีวภาพ 0.77 มิลลิลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มาจาก

“1 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 395.00 มิลลิลิตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (Speece, 1996)”

แต่เนื่องจากอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองที่วัดได้อยู่ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ดังนั้นค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 30 องศาเซลเซียส จึงต้องเปลี่ยนค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนี้

$$\begin{aligned}
 (P_1 V_1) / T_1 &= (P_2 V_2) / T_2 \\
 V_2 &= (P_1 V_1 T_2) / (T_1 P_2) && \dots P_1 = P_2 \\
 &= [395 \times (273.15 + 30)] / (273.15 + 35) && \dots K = ^\circ C + 273.15 \\
 &= 388.60 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

แสดงว่า 1 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 388.60 มิลลิลิตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

กำหนดให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ 50% ดังนั้น 1 กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 777.20 มิลลิลิตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

หรือ 1 มิลลิกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.77 มิลลิลิตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค-2 ตัวอย่างการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียอิสระกับค่าพีเอช

ข้อมูลวันที่ 249 ของการเดินระบบวิเคราะห์น้ำเสียในห้อง 1 ได้ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด 3,780.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน ค่าพีเอช 7.06 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียอิสระ คือ

$$\text{NH}_3 = N_T / [1 + (\text{H}^+ / K)]$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่มีค่า $10^{-9.1}$ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \text{NH}_3 &= 3,780.00 / [1 + (10^{-7.06} / 10^{-9.1})] \\ &= 3,780.00 / 110.65 \\ &= 34.16 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน} \end{aligned}$$

NH_3 34.16 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน คิดเป็น 0.90% ของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ค่าพีเอชเป็นกลางในน้ำเสียมีแอมโมเนียอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ (ก๊าซแอมโมเนีย NH_3) ต่ำกว่า 1%

ค-3 ตัวอย่างการคำนวณค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่

คำนวณค่าเอสเอ็มเอปรับแก้ใหม่ของข้อมูลห้อง 1 ในวันที่ 273 (แอมโมเนีย 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปไนโตรเจน) ดังนี้

ในช่วงที่น้ำเสียมีแอมโมเนียจะคิดปริมาณของแข็งระเหยในขวดเอสเอ็มเอจากเซลล์จุลชีพเท่านั้น โดยทำการหักลบปริมาณสตอร์ไวท์ที่เกิดขึ้นออกจากของแข็งระเหย

ช่วงที่น้ำเสียไม่มีแอมโมเนีย (วันที่ 217) ห้อง 1 มีค่า %VS / TS = 79.466%

วันที่ 273 ห้อง 1 มีค่า %VS / TS = 92.08%

%VS / TS ที่เพิ่มขึ้น = 12.614%.....ผลึกสตอร์ไวท์

วันที่ 273 ห้อง 1 ค่า VS ที่วิเคราะห์ได้ = 44.367 กรัม / ลิตร

คิดเป็นค่า VS ที่น่าจะเป็นเซลล์จุลชีพ (หักลบปริมาณสตอร์ไวท์แล้ว) ได้ดังนี้

จาก TS ทั้งหมด 100 ส่วน ที่มี VS อยู่ 92.08 ส่วน → ใน VS นั้นเป็นสตอร์ไวท์ 12.614 ส่วน

ตะกอนที่เก็บมาวิเคราะห์ SMA ที่มี VS ทั้งหมด 44.367 กรัม / ลิตร → ใน VS นั้นจะเป็นสตอร์ไวท์ = $\left(\frac{12.614 \text{ ส่วน}}{92.08 \text{ ส่วน}} \right) \times 44.367 \text{ กรัม / ลิตร} = 6.078$

กรัม / ลิตร

ดังนั้น ตะกอนที่เก็บมาวิเคราะห์ SMA ที่มี VS ทั้งหมด 44.367 กรัม / ลิตร ใน VS นั้นจะเป็นเซลล์จุลชีพ = $44.367 - 6.078 = 38.289$ กรัม / ลิตร

วันที่ 273 ห้อง 1 ปริมาณ VS (เฉพาะในรูปของเซลล์จุลชีพ) ที่มีในขวด SMA ที่ได้จากการเก็บตะกอน 20 มล. มีค่า
ตะกอนที่เก็บมาวิเคราะห์ SMA มีเซลล์จุลชีพ 38.289 กรัม / ลิตร คือ 1,000 มล. มีเซลล์จุลชีพ 38.289 กรัม

$$20 \text{ มล. จะมีเซลล์จุลชีพ } \frac{(38.289 \text{ กรัม} \times 20 \text{ มล.})}{1,000 \text{ มล.}} = 0.76578 \text{ กรัม}$$

วันที่ 217 ห้อง 1 ปริมาณ VS ที่หมายถึงเซลล์จุลชีพ ภายในขวด SMA (ตัวอย่าง 20 มล.) มีค่า
ค่า VS ที่วิเคราะห์ได้ มีค่า 16.37 กรัม / ลิตร คือ 1,000 มล. มีเซลล์จุลชีพ 16.37 กรัม

$$20 \text{ มล. จะมีเซลล์จุลชีพ } \frac{(16.37 \text{ กรัม} \times 20 \text{ มล.})}{1,000 \text{ มล.}} = 0.3274 \text{ กรัม}$$

วันที่ 273 ห้อง 1 ควรมีค่า SMA ดังนี้

วันที่ 217 (ไม่มีแอมโมเนีย) ห้อง 1 มีปริมาณเซลล์จุลชีพในขวด SMA 0.3274 กรัม \longrightarrow ค่า SMA 0.1584 กรัมซีไอดี / กรัมVS-วัน

$$\begin{aligned} \text{วันที่ 273 ห้อง 1 มีปริมาณเซลล์จุลชีพในขวด SMA 0.76578 กรัม} &\longrightarrow \text{ค่า SMA ที่ควรจะเป็น} = \left(\frac{0.1584 \text{ กรัมซีไอดี / กรัมVS-วัน}}{0.3274 \text{ กรัม}} \right) \times 0.76578 \text{ กรัม} \\ &= 0.37049 \text{ กรัมซีไอดี / กรัมVS-วัน} \end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว สุภาวรรณ สุทธิรินากร เกิดเมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2526 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2548 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย