

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยดั่งปฏิกิริยาแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน



นางสาววรรณิศา พงศ์จิตประเสริฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

HARDBOARD MILL WASTEWATER TREATMENT BY ANAEROBIC BAFFLED REACTOR

Miss Wannisa Pongjitprasert



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยถัง
	ปฏิบัติการแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน
โดย	นางสาววรรณิศา พงศ์จิตประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ ฟิ่งรัมย์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กิตติคุณ ตรุยานนท์)

วรรณิศา พงศ์จิตประเสริฐ : การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยถังปฏิกริยาแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน. (HARDBOARD MILL WASTEWATER TREATMENT BY ANAEROBIC BAFFLED REACTOR) อ.ที่ปริภษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ศรีณย์ เตชะเสน, 164 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกทำการศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำเสียต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ถังปฏิกริยามีปริมาตรการใช้งานเท่ากับ 10 ลิตร จำนวน 4 ชุด ในแต่ละชุดมีอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 10 ลิตร/วัน โดยเจือจางน้ำเสียให้มีความเข้มข้น 100 50 25 และ 12.5% ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 7.3 3.9 2.0 และ 1.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ส่วนที่สองทำการศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง โดยทำการแปรค่าอัตราการไหลเท่ากับ 40 20 10 และ 5 ลิตร/วัน ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในการปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 7.0-7.5 ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าเฉลี่ย 7,384 3,939 2,063 และ 1,015 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 71 80 82 และ 83% ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง ซีโอดีน้ำเข้าเฉลี่ย 11,171 มก./ล. เท่ากันทุกชุดการทดลอง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 46 60 71 และ 82% ตามลำดับ โดยสามารถหาซีโอดีส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ประมาณ 7.5-11.2% ของซีโอดีทั้งหมด ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องเจือจางโดยมีประสิทธิภาพ 71 และ 82% คิดเป็นสัดส่วนก๊าซชีวภาพ 2.03 และ 3.57 ลิตรของก๊าซ/ลิตรของน้ำเสีย โดยเป็นความเข้มข้นของมีเทนสูงสุดที่ 77% ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีดีเอสประมาณ 30-45% อัตราการบำบัดที่ซีโอดีละลายเริ่มต้นเฉลี่ย 871-11,171 มก./ล. พบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีเป็นปฏิกริยาลำดับที่หนึ่งขึ้นกับค่าซีโอดีละลายที่ย่อยสลายได้ โดยมีค่าคงที่ (k_1) เท่ากับ 3.15 ต่อวัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถบำบัดซีโอดีละลายและการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการไปเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดจริงในภาคอุตสาหกรรมได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริภษาวิทยานิพนธ์หลัก

5470354421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: ANAEROBIC BAFFLED REACTOR / HARDBOARD MILL WASTEWATER / BIOGAS
/ INDUSTRIAL WASTEWATER

WANNISA PONGJITPRASERT: HARDBOARD MILL WASTEWATER TREATMENT BY ANAEROBIC BAFFLED REACTOR. ADVISOR: ASST. PROF. SARUN TEJASEN, Ph.D., 164 pp.

This research studied the removal efficiencies of COD and TDS in anaerobic baffled reactor process treating real hardboard mill wastewater. The experiment was divided into 2 parts. The first part was to examine the effect of concentrations on COD removal efficiencies. Four laboratory scale anaerobic baffled reactors with a liquid volume of 10 liters each were operated with constant flowrates of 10 l/d. The wastewater was diluted to concentrations of 100, 50, 25, and 12.5 %, equivalent to 7.3, 3.9, 2.0, and 1.0 kg-COD/m³/d as organic loading rates (OLRs), respectively. The second part was to investigate the effects of hydraulic retention time (HRT) on COD removal efficiency at 6, 12, 24, and 48 hours by varying flow rates of 40, 20, 10, and 5 l/d, respectively. Sodium bicarbonate was used to adjust the pH to the range of 7.0-7.5. Results were found that influent COD of 7,384, 3,939, 2,063, and 1,015 mg/l and hydraulic retention time of 24 hour had COD removal efficiencies of 71, 80, 82, and 83 %, respectively. And hydraulic retention times of 6, 12, 24, and 48 hours with average COD 11,171 mg/l, had a COD removal efficiencies of 46, 60, 71, and 82 %, respectively. Results showed that 7.5-11.2% of soluble COD were non-biodegradable. Biogas productions of 2.03 and 3.57 liter-gas per liter-wastewater with 77% methane were predicted with of 24 and 48 hours retention times, respectively. TDS removal efficiencies were 30-45 %. Removal rates of soluble biodegradable COD in range of 871-11,171 mg/L showed a 1st-order kinetic reaction with a kinetic constant (k_1) of 3.15 per day. Results showed that anaerobic baffle reactor (ABR) can treat real wastewater without any dilution and produce biogas effectively. And the kinetic constant from laboratory can be used for designing of real wastewater treatment plant for the industry.

Department: Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study: Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบ
ขอบพระคุณต่อผู้ที่มีส่วนให้ความอนุเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ให้โอกาส คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่กรุณาเป็นประธานในการ
สอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ ฝั่งรัมย์ กรรมการ ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ฝารีโน กรรมการ และดร. กิตติคุณ ตรุยานนท์ กรรมการภายนอก
มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำ ดิชม แก่ในงานวิจัยนี้ให้เป็นไปในแนวทางที่ดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และมอบความ
ปรารถนาดี ให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้
สนับสนุนค่าใช้จ่ายจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท โพรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแต้นส์ จำกัด ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ
ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด) จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้ความ
อนุเคราะห์เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และบริษัท เสริมสุข จำกัด ที่อนุเคราะห์หัว
เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มาตา และครอบครัวที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจและ
ให้คำแนะนำ รวมทั้งสนับสนุนและให้โอกาสทางการศึกษาเป็นอย่างดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด)	4
2.1.1 ข้อมูลโรงงานเบื้องต้น	4
2.1.2 กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ	5
2.1.3 น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต	6
2.1.4 ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากขั้นตอนการผลิต.....	9
2.1.5 ระบบบำบัดน้ำเสียบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด)	10
2.1.6 ปัญหาในการบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	11
2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	11
2.2.1 หลักการเบื้องต้นของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน.....	12
2.2.2 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน.....	14
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	19
2.3 รูปแบบถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิก.....	23
2.3.1 ระบบแอนแอโรบิกเจริญเติบโตแขวนลอย.....	25
2.3.2 ระบบแอนแอโรบิกแบบผสม.....	27

2.3.3 ระบบแอนแอรอบิกแบบฟิล์มตรึง	28
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์ (Anaerobic Baffled Reactor)	30
2.4.1 การทำงานของระบบถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์	31
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์	32
2.4.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์	33
2.5 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
2.5.1 การศึกษาสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	33
2.5.2 การศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	34
2.5.3 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	36
2.5.4 สรุปผลการทบทวนเอกสารและแนวทางการวิจัย	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	41
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	41
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	41
3.1.2 สารเคมี	41
3.2 การออกแบบและจัดทำระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2.1 ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	42
3.2.2 ชุดวัดปริมาตรก๊าซ	45
3.2.3 เครื่องสูบน้ำ (Pump)	45
3.2.4 ถังเก็บน้ำเสียและรองรับน้ำเสีย	45
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	45
3.4 การเตรียมน้ำเสีย	46
3.5 การดำเนินงานวิจัย	46
3.5.1 การเริ่มต้นระบบ (start up)	46
3.5.2 การเดินระบบ	46
3.6 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	54
4.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	54

4.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำของน้ำเสียของพารามิเตอร์ต่างๆ	55
4.2.1 การเริ่มต้นเดินระบบ	55
4.2.2 ซีโอดีทั้งหมด (TCOD)	56
4.2.3 ซีโอดีละลาย (SCOD)	59
4.2.4 พีเอช (pH)	62
4.2.5 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids)	63
4.2.6 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)	65
4.2.7 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมด	66
4.2.8 ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	67
4.2.9 ของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids)	70
4.2.10 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	72
4.2.11 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids)	74
4.3 การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ	76
4.3.1 ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)	76
4.3.2 ร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ (%CH ₄ %CO ₂)	77
4.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	79
4.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด	79
4.4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลาย	81
4.5 อัตราการบำบัดซีโอดี	83
4.6 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผลการวิจัย	88
5.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	88
5.1.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอส	88
5.1.3 การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	89
5.1.4 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์	89

5.2 ข้อเสนอแนะ.....	89
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก.....	94
ภาคผนวก ข.....	161
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	164



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2- 1 ค่าพารามิเตอร์น้ำเสีย black water.....	9
ตารางที่ 2- 2 ค่าพารามิเตอร์น้ำเสีย white water	9
ตารางที่ 2- 3 ปฏิกริยารีดอกซีในการบำบัดน้ำเสีย.....	12
ตารางที่ 2- 4 ธาตุอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	21
ตารางที่ 2- 5 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	22
ตารางที่ 2- 6 ระดับความเข้มข้นของแคโทดไอออนของโลหะเบาที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน	23
ตารางที่ 2- 7 การเปรียบเทียบระบบแอนแอโรบิกที่ใช้ถึงปฏิกรณ์แบบต่างๆ	24
ตารางที่ 2- 8 อัตราการระสาดอินทรีย์สำหรับระบบแอนแอโรบิกแบบแขวนลอยชนิดต่างๆ	27
ตารางที่ 2- 9 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบเอเปอาร์.....	33
ตารางที่ 3- 1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	45
ตารางที่ 3- 2 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ	47
ตารางที่ 3- 3 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่เวลาเก็บกักน้ำต่างๆ	49
ตารางที่ 3- 4 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์	52
ตารางที่ 3- 5 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย.....	53
ตารางที่ 4- 1 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Black water White water และน้ำเสียเข้าระบบ ...	54
ตารางที่ 4- 2 ตารางแสดงวันและเวลาในการเก็บน้ำเสียน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	55
ตารางที่ 4- 3 ค่าพีเอชเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	62
ตารางที่ 4- 4 ค่าพีเอชเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	63
ตารางที่ 4- 5 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	64
ตารางที่ 4- 6 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	64
ตารางที่ 4- 7 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	65
ตารางที่ 4- 8 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	66

ตารางที่ 4- 24 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความ
 เข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 75

ตารางที่ 4- 25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งละลายน้ำ
 ทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 75

ตารางที่ 4- 26 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 76

ตารางที่ 4- 27 ปริมาณก๊าซมีเทนจากซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ต่างๆ ณ
 สภาวะคงตัว 77

ตารางที่ 4- 28 ปริมาณก๊าซมีเทนจากซีโอดีที่ถูกกำจัดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว. 77

ตารางที่ 4- 29 ร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 7.3
 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงตัว 78

ตารางที่ 4- 30 ร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะ
 คงตัว 79

ตารางที่ 4- 31 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์กับงานวิจัยต่างๆ 87

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2- 1 แสดงน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ	7
ภาพที่ 2- 2 น้ำเสีย white water.....	8
ภาพที่ 2- 3 น้ำเสีย black water	8
ภาพที่ 2- 4 บ่ดักไขมันโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ.....	10
ภาพที่ 2- 5 บ่รวบรวมน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ	10
ภาพที่ 2- 6 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์และกลุ่มของแบคทีเรียในระบบแอนแอรอโรบิก	12
ภาพที่ 2- 7 วิธีการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของการสร้างแก๊สมีเทนจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	18
ภาพที่ 2- 8 ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน	19
ภาพที่ 2- 9 ประเภทถังปฏิกรณ์แอนแอรอโรบิกที่มีการใช้งานจริงสำหรับบำบัดน้ำเสีย.....	24
ภาพที่ 2- 10 ถังย่อยสลดจ์แบบผสมสมบูรณ์ (Anaerobic digester)	25
ภาพที่ 2- 11 ถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic contact reactor)	26
ภาพที่ 2- 12 ระบบแอนแอรอโรบิกแบบเอสปีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor).....	27
ภาพที่ 2- 13 ระบบบ่อแอนแอรอโรบิกแบบปิด (Covered Anaerobic Lagoon)	28
ภาพที่ 2- 14 ถังกรองไร้อากาศ (ก) แบบไหลขึ้น (ข) แบบน้ำไหลลง.....	29
ภาพที่ 2- 15 ระบบแอนแอรอโรบิกแบบชั้นขยายตัวและแบบชั้นฟลูอิดไดซ์	30
ภาพที่ 2- 16 ระบบบำบัดน้ำเสียถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์ (Anaerobic Baffled Reactor).....	31
ภาพที่ 3- 1 แสดงองค์ประกอบของระบบการทดลอง.....	42
ภาพที่ 3- 2 รายละเอียดด้านบนของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	43
ภาพที่ 3- 3 รายละเอียดด้านข้างของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	43
ภาพที่ 3- 4 รายละเอียดด้านหน้าของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน	44
ภาพที่ 3- 5 ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนทั้ง 4 ชุดการทดลอง.....	44
ภาพที่ 3- 6 แผนผังรายละเอียดการทดลองส่วนที่ 1	48
ภาพที่ 3- 7 แผนผังรายละเอียดการทดลองส่วนที่ 2	50
ภาพที่ 4- 1 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ	57
ภาพที่ 4- 2 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ	58
ภาพที่ 4- 3 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ.....	60
ภาพที่ 4- 4 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ	61
ภาพที่ 4- 5 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว	80

ภาพที่ 4- 6 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 80

ภาพที่ 4- 7 ซีโอดีทั้งหมดที่เข้าและออกจากระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 81

ภาพที่ 4- 8 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว..... 82

ภาพที่ 4- 9 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 82

ภาพที่ 4- 10 ซีโอดีละลายที่เข้าและออกจากระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว 83

ภาพที่ 4- 11 อัตราการบำบัดต่ออัตราระบรทุกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ที่เข้าระบบตลอดการทดลอง (การทดลองช่วงที่ 1 และ 2)..... 84

ภาพที่ 4- 12 อัตราการบำบัดต่อความเข้มข้นซีโอดีละลายที่ออกจากระบบที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ (การทดลองช่วงที่ 1) 84

ภาพที่ 4- 13 อัตราการบำบัดต่อความเข้มข้นซีโอดีละลายที่ออกจากระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ (การทดลองช่วงที่ 2) 85

ภาพที่ 4- 14 อัตราการบำบัดต่อความเข้มข้นซีโอดีออกที่ย่อยสลายได้ตลอดการทดลอง (การทดลองช่วงที่ 1 และ 2)..... 86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้ไม้อัดแผ่นเรียบ (hardboard) ภายในประเทศ อีกทั้งอัตราการส่งออกและอัตราการนำเข้าแผ่นไม้อัดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากปี 2546 ร้อยละ 7.4 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในปี 2548 (สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, 2549) ความต้องการไม้อัดเพื่อทดแทนไม้จากธรรมชาติจะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ย่อมส่งผลโดยตรงให้มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมากตามไปด้วย กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ (hardboard) จะใช้กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (wet process) กล่าวคือ มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากอีกทั้งปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นยังมีความสกปรกสูงซึ่งเกิดมาจาก 5 สาเหตุ คือ 1. เยื่อ 2. ส่วนของเซลล์ เช่น อนุภาคของเปลือกไม้ 3. อินทรีย์คอลลอยด์ 4. สารอินทรีย์ละลายน้ำที่มาจากเนื้อไม้ 5. สารเคมีละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Gran, 1970) โดยมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นของโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบถึง 4,600 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งหากไม่หาวิธีการบำบัดที่เหมาะสมแล้วอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยทั่วไปนิยมใช้การบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge: AS) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) บ่อไร้อากาศ (Anaerobic Pond) (บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536) ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวมีข้อดีคือ ง่ายต่อการควบคุมระบบ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ในการบำบัดมากอีกทั้งยังอาจส่งกลิ่นรบกวนเนื่องจากเป็นระบบเปิด การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไร้ออกซิเจนแบบปิด เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปริมาณสูง เนื่องจากเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ มีมลพิษที่เกิดขึ้นในปริมาณที่น้อย และยังได้พลังงานทดแทนคือก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้ โดยหนึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไร้ออกซิเจนแบบปิดที่น่าสนใจคือ ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor: ABR) เนื่องจากมีข้อดี คือ ตัวถังปฏิกรณ์มีการแบ่งเป็นช่องย่อย (Compartment) ซึ่งสามารถแยกกระบวนการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกันได้ตามความยาวของถังปฏิกรณ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มจุลินทรีย์ตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีหลายกระบวนการเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ใบเดียว อีกทั้งเป็นรูปแบบถังปฏิกรณ์ที่สามารถเก็บกักเชื้อจุลินทรีย์ได้มากจึงทำให้สามารถรองรับอัตราการระสาดอินทรีย์ได้สูง จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนไปใช้บำบัดน้ำเสียหลายประเภท เช่น น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นต้น แต่ยังมีงานวิจัยที่นำระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนไปใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบอยู่น้อยมาก ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำต่อการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสของน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน และศึกษาภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ ซึ่งผลจากการทดลองสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ บอกถึงความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นสุดท้ายแล้วไปใช้ซ้ำ

เช่น ใช้รดน้ำต้นไม้ และรวมถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่น เรียบอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำต่อการกำจัดซีโอดีและทีเอสของ น้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1.2.2 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบในระบบแผ่น กั้นไร้ออกซิเจน

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ไม่มีการเจือจาง สามารถบำบัดด้วยถังปฏิกริยา แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนได้

1.3.2 ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 24-48 ชั่วโมง เพียงพอต่อการบำบัดด้วยถังปฏิกริยาแบบแผ่น กั้นไร้ออกซิเจน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการด้วยแบบจำลองถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนชนิด มีแผ่นกั้นหรือเอปียาร์ เตินระบบทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในการศึกษาวิจัยได้กำหนดขอบเขตต่างๆของการวิจัยไว้ดังนี้

1.4.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตของโรงงานไม้อัดแผ่น เรียบ โดยใช้น้ำเสีย black water 20% และน้ำเสีย white water 80% ผสมกัน และเจือจางด้วย น้ำประปาให้มีความเข้มข้นซีโอดีตามที่ต้องการ

1.4.2 หัวเชื้อ (Seed) ที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบเป็นหัวเชื้อแอนแอโรบิกจาก ระบบ UASB ของบริษัทเสริมสุข จำกัด

1.4.3 ถังปฏิกริยาแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน 4 ชุด แต่ละชุดมีขนาดความสูง 0.40 เมตร ความ กว้าง 0.10 เมตร และความยาว 0.33 เมตร โดยแบ่งออกเป็น 4 ห้อง

1.4.4 ทำการแปรค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสีย 4 ค่า คือ 100% 50% 25% และ 12.5%

1.4.5 ทำการแปรค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time) 3 ค่า คือ 6 12 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

1.4.6 พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำ สภาพความเป็นด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณก๊าซทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์กำมะถัน โดยวิเคราะห์ตามมาตรฐานสากล (American Water Works Association, 2005)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยใช้กระบวนการไร้ออกซิเจน

1.5.2 ได้ศึกษาการทำงานและข้อจำกัดของการใช้กระบวนการไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

1.5.3 ปริมาณและคุณภาพของก๊าซที่ได้จากงานวิจัยใช้เป็นแนวทางในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด) โดยกล่าวถึงข้อมูลโรงงานเบื้องต้น กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด) และปัญหาในการบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด)

2.1.1 ข้อมูลโรงงานเบื้องต้น

บริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด) ก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ.2547 ได้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับอุตสาหกรรมไม้ จากไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อให้มีคุณภาพโดยโรงงานตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมนิคม 304 จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยโรงงานใช้กรรมวิธีผลิตแบบ Wet Process มีรายละเอียดดังนี้ (ต่อ 1 ไลน์การผลิต)

- กำลังการผลิต	4,000,000	แผ่น/ปี
- ขนาดของบอร์ด	4' x 8'	ตารางฟุต (2.972896 ตารางเมตร)
- ความหนา	3.2	มิลลิเมตร
- ความหนาแน่น	1,000	kg/m ³ /แผ่น (หรือ 1 t/m ³ /แผ่น)

ถ้าให้วันทำงานของโรงงานอยู่ที่ 330 วัน/ปี โรงงานจะมีกำลังการผลิตต่อหนึ่งไลน์การผลิตอยู่ที่

$$\begin{aligned} &= 4,000,000 \text{ แผ่น/ปี} \times 1/330 \text{ ปี/วัน} \times 1 \text{ t/แผ่น} \times 0.0032 \text{ m} \times 2.97289 \text{ m}^2 \\ &= 115.312 \text{ t/day (ประมาณที่ 115 ตันต่อวัน)} \end{aligned}$$

ซึ่งโดยปกติถ้าเป็นการผลิตแบบไม่ประหยัดน้ำ จะต้องการน้ำดิบ 10 – 12 ลูกบาศก์เมตร ต่อการผลิตบอร์ด 1 ตัน ดังนั้น เมื่อคิดคร่าวๆ จะได้ว่า ทางโรงงานต้องการน้ำดิบต่อวันอยู่ที่ (คิดที่ 10 ลบ.ม./ตัน)

$$\begin{aligned} &= 4 \text{ ไลน์การผลิต} \times 115 \text{ ตันบอร์ด/วัน} \times 10 \text{ ลบ.ม./ตันบอร์ด} \\ &= 4,600 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วัน} \end{aligned}$$

มีน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงงานเท่ากับ 4,600 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมีความสกปรกที่สูง จึงจำเป็นต้องหากระบวนการบำบัดที่เหมาะสม โดยทั่วไปนิยมใช้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ถังปฏิกรณ์แบบมีแผ่นกั้นหรือเอปอาร์

2.1.2 กระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ

1) การเตรียมชิ้นไม้สับ วัตถุดิบที่ใช้มาจากแหล่งต่างๆ เช่น หัวซุง ไม้ที่เหลือจากการปอก เศษไม้ ฯลฯ เศษไม้เหล่านี้นำมาเข้าเครื่องสับ สับให้เป็นชิ้นไม้สับ (chip) กองไว้ในโรงงาน จากนั้นชิ้นไม้สับจะถูกนำเข้าสู่ตะแกรงคัดขนาดเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ ชิ้นไม้สับที่คัดขนาดแล้วจะถูกนำเข้าสู่เครื่องล้างเพื่อแยกพวกกรวด ดิน หิน ทราย และชิ้นโลหะที่อาจปนมากับชิ้นไม้สับ หลังจากนั้นชิ้นไม้สับจะถูกลำเลียงไปเก็บในถังชิ้นไม้สับ (chip bin หรือ hopper) ภายในโรงงานเพื่อรอที่จะเข้าเครื่องบดให้เป็นเยื่อต่อไป

2) การเตรียมเส้นใย เมื่อชิ้นไม้สับถูกลำเลียงมาเก็บในถังแล้วก็ผ่านเข้าเครื่อง screw feeder ลำเลียงชิ้นไม้สับเข้าถังหนึ่งชิ้นไม้สับ (preheater) ซึ่งใช้ไอน้ำ (steam) ให้ความร้อนแก่ชิ้นไม้สับที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เพื่อให้ลิกนินของเนื้อไม้อ่อนตัวและบดได้ง่ายขึ้น จากนั้นชิ้นไม้สับจะถูกบดเข้าเครื่องบดหยาบ (defibrator) และเข้าเครื่องบดละเอียด (raffinator) เพื่อให้ได้เยื่อที่มีความละเอียดตามต้องการ เยื่อที่ได้จากการบดแล้วจะถูกเก็บไว้ในถังพักเยื่อ

3) การทำแผ่นเยื่อเปียก เยื่อที่อยู่ในถังพักเยื่อจะมีการปรับความเข้มข้นให้ได้ตามความต้องการโดยการเติมน้ำลงไป เยื่อที่มีความเข้มข้นเหมาะสมแล้วจะถูกส่งไปยังเครื่องทำแผ่นเยื่อเปียก (wet forming machine) เพื่อฟอร์มเยื่อเป็นแผ่นเยื่อเปียก (wet lap) ในขณะที่แผ่นเยื่อเปียกเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องบนเครื่องดังกล่าวจะมีการตัดขอบและตัดให้ได้ขนาดความยาวโดยใช้น้ำผ่านหัวฉีด (water jet) และน้ำบางส่วนในแผ่นเยื่อเปียกจะถูกดูดออกด้วยแรงสุญญากาศและแรงบีบ จากนั้นแผ่นเยื่อเปียกจะเคลื่อนที่ไปวางบนแผ่นเหล็กลำเลียง (transport plate) เพื่อลำเลียงแผ่นเข้าเครื่องอัดความร้อนต่อไป

4) การอัดร้อน แผ่นเยื่อเปียกจะถูกป้อนเข้าไปในแต่ละชั้นของเครื่องอัดจนครบทุกชั้น ด้านบนของเครื่องอัดในแต่ละชั้นจะมีแผ่นเหล็กขัดมัน (polished plate) ติดอยู่เพื่อทำให้ผิวหน้าของไม้อัดแผ่นเรียบเป็นมัน ด้านล่างของแท่นอัดจะมีแผ่นเหล็กรองอัด (wear plate) เครื่องอัดร้อนจะทำงานแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นการบีบน้ำออกจากใช้แรงอัดสูงประมาณ 50 กก./ซม² และอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ใช้เวลาค่อนข้างสั้น หลังจากนั้นจะลดแรงดันลงมาเหลือประมาณ 20 กก./ซม² เพื่อระบายไอน้ำออกจากแผ่น และช่วงสุดท้ายเพิ่มแรงดันให้สูงเท่าหรือเกือบเท่าช่วงแรกเพื่อให้เส้นใยยึดกันอย่างแข็งแรง โดยปกติช่วงกลางและช่วงท้ายใช้เวลานานกว่าช่วงแรก หลังจากอัดได้ที่แล้วแผ่นจะถูกนำออกจากเครื่องอัดด้วยเครื่องลำเลียงแผ่น

5) การอบร้อน เป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบโดยกรรมวิธีที่ไม่ได้เติมกาวหรือสารใด ๆ ลงไปในเยื่อ การอบร้อนจะทำให้แผ่นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และมีค่าการดูดน้ำลดลง ซึ่งจะขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบ ตามปกติจะใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 4-5 ชั่วโมง

6) การเพิ่มความชื้น ไม้อัดแผ่นเรียบที่ออกจากเตาเผาอบร้อนจะมีปริมาณความชื้นต่ำมาก จึงจำเป็นต้องเพิ่มความชื้นให้กับแผ่นเพื่อให้ความชื้นใกล้เคียงกันระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของแผ่นกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในสภาพใช้งาน ปริมาณความชื้นนี้มีค่าประมาณ 8% การเพิ่มความชื้นให้กับแผ่นทำได้โดยการนำแผ่นเข้าห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเป็นเวลาหลายชั่วโมงเพื่อให้แผ่นดูดความชื้นจากอากาศเข้าไป

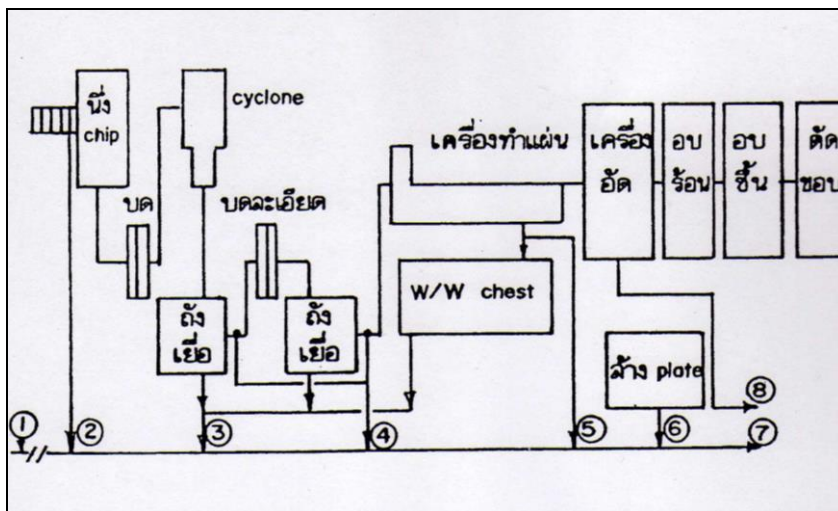
7) การตัดขอบ หลังจากเพิ่มความชื้น แผ่นจะถูกส่งไปตัดขอบและตัดแบ่งครึ่งตามความยาวของแผ่นโดยเลื่อยวงเดือน เพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ การสูญเสียจากการตัดขอบมีประมาณ 6% - 7% โดยปริมาตร เศษจากการตัดขอบนี้จะใช้ทำเชื้อเพลิงมากกว่าที่จะนำกลับไปทำเยื่อใหม่

2.1.3 น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต

น้ำเสียหลักที่ออกจากการผลิต แสดงดังภาพที่ 2-1 ประกอบด้วย

1. น้ำล้างชั้นไม้สับ
2. น้ำล้างซีไม้ผ่าน feed screw
3. น้ำล้างจากถังพักเยื่อ
4. น้ำหล่อเย็นปั๊มต่างๆ
5. น้ำล้าง wire screen
6. น้ำล้าง plate
7. น้ำเสีย white water เป็นน้ำเสียรวมจากข้อ 1 ถึง 6
8. น้ำเสีย black water เป็นน้ำเสียที่ออกจากเครื่องอัดร้อน

สำหรับงานวิจัยนี้จะเก็บน้ำเสีย 2 จุด คือ น้ำเสีย white water และน้ำเสีย black water โดยถือว่าเป็นตัวแทนน้ำเสียทั้งหมดของโรงงาน เนื่องจากน้ำเสีย white water เป็นน้ำเสียรวมจากทุกขั้นตอนการผลิตของโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ ยกเว้นขั้นตอนการอัดร้อน โดยน้ำที่ออกจากขั้นตอนการอัดร้อนนี้จะเป็นน้ำเสีย black water สำหรับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน น้ำเสีย black water มีปริมาณ 20% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ส่วนน้ำเสีย white water มีปริมาณ 80% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด



ภาพที่ 2- 1 แสดงน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบ
ที่มา : (บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536)

น้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าว ทางโรงงานได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำเสีย white water เป็นน้ำเสียที่มาจากน้ำล้างชิ้นไม้สับ น้ำล้างซี่ไม้ผ่าน feed screw น้ำล้างจากถังพักเยื่อ น้ำหล่อเย็นเครื่องจักร น้ำล้าง wire screen น้ำล้าง plate น้ำล้างพื้น ฯลฯ น้ำเสียดังกล่าวไหลลงรางรับน้ำเสียเดียวกัน ซึ่งใช้ชื่อเรียกว่า รางรับน้ำเสีย white water ลักษณะของน้ำเสีย white water จะมีสีน้ำตาล มีของแข็งแขวนลอยสูง ซึ่งทางโรงงานได้ติดตั้งเครื่องสลัดเยื่อ (centrifuge) เพื่อช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย แสดงดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2- 2 น้ำเสีย white water

2. น้ำเสีย black water เป็นน้ำเสียที่ออกจากขั้นตอนการอัดร้อนเพียงแหล่งเดียว ลักษณะของน้ำเสียจะมีสีดำ มีของแข็งแขวนลอยสูง และมีความสกปรกสูง น้ำเสียชนิดนี้จะไหลลงรางรับน้ำเสียซึ่งใช้ชื่อเรียกว่า รางรับน้ำเสีย black water แสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2- 3 น้ำเสีย black water

2.1.4 ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากขั้นตอนการผลิต

ลักษณะของน้ำเสีย black water มีค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีสูงมาก มีของแข็งละลายและของแข็งแขวนลอยสูง มีพีเอชต่ำ และมีอุณหภูมิสูง คุณภาพน้ำมีความแปรปรวน (มีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด) สูง แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2- 1 ค่าพารามิเตอร์น้ำเสีย black water

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้ (ต่ำสุด-สูงสุด)	ค่าเฉลี่ย
บีโอดี (BOD)	8,500 – 20,000 มก./ล.	11,446 มก./ล.
ซีโอดี(COD)	10,648 – 34,340 มก./ล.	25,087 มก./ล.
ของแข็งละลาย (DS)	13,511 – 19,680 มก./ล.	16,592 มก./ล.
ของแข็งแขวนลอย (SS)	520 – 1,040 มก./ล.	780 มก./ล.
พีเอช (pH)	3.8 – 4.4	4.0
อุณหภูมิ (temperature)	43 – 58 °ซ	58 °ซ

ที่มา : (บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536)

ตารางที่ 2- 2 ค่าพารามิเตอร์น้ำเสีย white water

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้ (ต่ำสุด-สูงสุด)	ค่าเฉลี่ย
บีโอดี (BOD)	483 – 6,250 มก./ล.	2,210 มก./ล.
ซีโอดี(COD)	2,095 – 11,296 มก./ล.	6,097 มก./ล.
ของแข็งละลาย (DS)	1,551 – 10,694 มก./ล.	5,614 มก./ล.
ของแข็งแขวนลอย (SS)	245 – 1,306 มก./ล.	809 มก./ล.
พีเอช (pH)	4.3 – 6.9	5.4
อุณหภูมิ (temperature)	31 – 58 °ซ	44 °ซ

ที่มา : (บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536)

คุณภาพน้ำเสีย white water เมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำเสีย black water พบว่า ค่า บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลาย ของแข็งแขวนลอย และอุณหภูมิของน้ำเสีย white water มีค่าต่ำกว่า black water แต่ค่าพีเอชของน้ำเสีย white water จะสูงกว่าน้ำเสีย black water ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย white water มีความแปรปรวนสูง

2.1.5 ระบบบำบัดน้ำเสียบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด)

น้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ เช่น น้ำล้างชิ้นไม้สับ น้ำล้างซีเมนต์ผ่าน feed screw น้ำล้างจากถังพักเยื่อ น้ำหล่อเย็นเครื่องจักร น้ำล้าง wire screen น้ำล้าง plate น้ำล้างพื้น ฯลฯ น้ำเสียดังกล่าวไหลลงรางรับน้ำเสียเดียวกัน ซึ่งใช้ชื่อเรียกว่า รางรับน้ำเสีย white water สำหรับน้ำเสีย black water เป็นน้ำเสียที่ออกจากขั้นตอนการอัดร้อนเพียงแหล่งเดียว น้ำเสียชนิดนี้จะไหลลงรางรับน้ำเสียซึ่งใช้ชื่อเรียกว่า รางรับน้ำเสีย black water โดยน้ำเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะผ่านบ่อดักไขมัน ตะแกรง และไหลลงบ่อรวมน้ำเสียของโรงงาน แสดงดังภาพที่ 2-4 และ 2-5 เพื่อส่งไปบำบัดต่อยังระบบบำบัดส่วนกลางของอุตสาหกรรมนิคม

304



ภาพที่ 2- 4 บ่อดักไขมันโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ



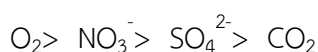
ภาพที่ 2- 5 บ่อรวมน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

2.1.6 ปัญหาในการบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมีของแข็งแขวนลอยมากซึ่งเป็นเยื่อที่ออกมาจากน้ำเสีย อีกทั้งน้ำเสียที่ออกมามีอุณหภูมิสูงถึง 40 – 50 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียเข้าสู่บ่อกักตะกอน เยื่อบางส่วนจะตกอยู่ก้นบ่อและมีบางส่วนไหลปนไปกับน้ำเสีย แต่ในบ่อกักตะกอนดังกล่าวจะมีเยื่อผุดขึ้นมาสู่ผิวน้ำตลอดเวลา และเมื่อน้ำเสียเข้ามาถึงรางลำเลียงทั้งสองจะมีเยื่อลอยขึ้นมาบนผิวน้ำในปริมาณมาก ซึ่งทางโรงงานได้ตักเยื่อที่ลอยนี้ทุกวัน (บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536)

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

สำหรับปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสียนั้นมีทั้งกระบวนการที่ใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการแบบไดลัวนมิกลไกพื้นฐานร่วมกัน คือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้อิเล็กตรอน (Electron donor) และสารรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) โดยสารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นสารให้อิเล็กตรอนเนื่องจากมีพลังงานอยู่ในตัวสูง ส่วนสารอย่างอื่นที่มีอยู่ในน้ำจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศและแบบไร้อากาศนี้จะอยู่ที่ประเภทของสารรับอิเล็กตรอน หากพิจารณาโดยจำแนกกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆจากสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการจะสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 2-3 โดยจะเห็นได้ว่าถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจนอิสระ (O_2) จะเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่าเป็นปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนไม่ใช่ออกซิเจนอิสระ โดยอาจเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรต (NO_3^-) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก็จะเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่าเป็นปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนหรือแอนแอโรบิก แต่สำหรับในกรณีที่มีสารรับอิเล็กตรอนหลายชนิดในน้ำเสียหนึ่งๆ เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็นหลัก ปัจจัยที่จะเป็นตัวตัดสินว่าภายในระบบๆ จะมีสารใดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนนั้นก็คือ ปริมาณพลังงานที่แบคทีเรียจะได้รับจากการใช้สารรับอิเล็กตรอนตัวนั้น เช่น การเปรียบเทียบระหว่างออกซิเจน ไนเตรตซัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถเรียงลำดับปริมาณพลังงานที่ได้จากมากไปน้อย ดังนี้



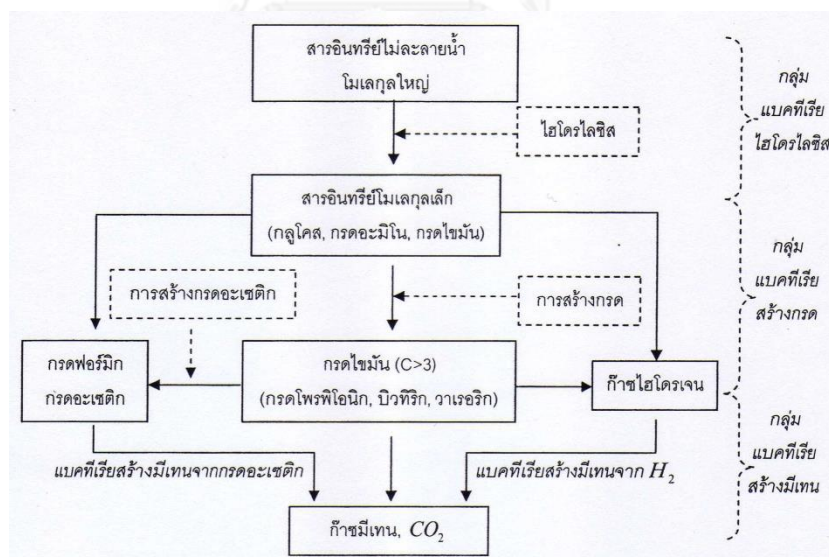
ตารางที่ 2- 3 ปฏิกริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย

สารให้อิเล็กตรอน	สารอินทรีย์				
สารรับอิเล็กตรอน	ออกซิเจน	สารอินทรีย์	ไนเตรต	ซัลเฟต	คาร์บอนไดออกไซด์
ผลของปฏิกิริยา	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	สารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก	ก๊าซไนโตรเจน	ซัลไฟด์	ก๊าซมีเทน
ชื่อปฏิกิริยารีดอกซ์	Aerobic Oxidation	Fermentation	Denitrification	Sulfate Reduction	Methanogenesis

ที่มา : (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.2.1 หลักการเบื้องต้นของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) หมายถึง การเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในสลัดจ์ให้กลายเป็นแก๊สมีเทน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมักจะหมายถึง การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนนั่นเอง ซึ่งผลผลิตสุดท้ายจะได้เป็นแก๊สมีเทนเสมอ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)



ภาพที่ 2- 6 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์และกลุ่มของแบคทีเรียในระบบแอนแอโรบิก

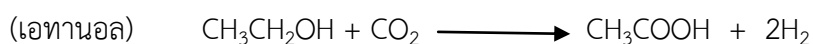
ที่มา : (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2552)

กลุ่มของแบคทีเรียในระบบแอนแอโรบิกสามารถแบ่งออกตามขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ เป็น 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

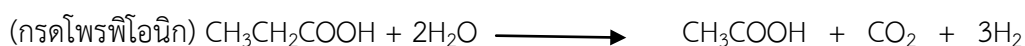
1) แบคทีเรียไฮโดรไลซิส (hydrolysis bacteria) เป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่แตกสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีความซับซ้อน เช่น โปรตีน ไขมัน เซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต และลิกนินให้เป็นสารละลายที่เป็นโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งจะเป็นซับสเตรตสำหรับแบคทีเรียกลุ่มอื่นต่อไป กระบวนการไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์นี้ถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ที่หลั่งออกมา (extracellular enzyme) เช่น โปรติเอส เซลลูโลส และไลเปส เป็นต้น และเนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซิสนี้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ จึงเป็นข้อจำกัดของการใช้ระบบแอนแอโรบิกสำหรับของเสียบางประเภท เช่น ของเสียประเภทเซลลูโลส ซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ

2) แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (acidogenic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันไปเป็นกรดอินทรีย์ (เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดฟอร์มิก และกรดบิวทิริก) แอลกอฮอล์ และคีโตน (เช่น เอทานอล เมทานอล กลีเซอรอล และอะซีโตน) CO_2 และ H_2 ผลผลิตที่เกิดขึ้นจะแปรเปลี่ยนตามประเภทของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ pH และค่า ORP ซึ่งกรดอะซิติกเป็นผลผลิตหลักที่ได้จากการหมักคาร์โบไฮเดรตและแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

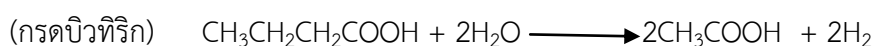
3) แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (acetogenic bacteria) เป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกและ H_2 จากเอทานอลและกรดไขมันระเหย เช่น กรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริก แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการสภาวะแวดล้อมที่มีสัดส่วนความดันของ H_2 ที่ต่ำในการย่อยสลายกรดไขมันระเหย เมื่อสัดส่วนความดันของ H_2 มีค่าสูง การผลิตกรดอะซิติกจะลดลงและสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และเอทานอลมากกว่าก๊าซมีเทน แบคทีเรียอะซิโตเจนมีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียเมทาโนเจนแบบพึ่งพาอาศัยกัน โดยเมทาโนเจนจะช่วยรักษาให้สัดส่วนความดัน H_2 มีค่าต่ำ และได้สารอาหารจากแบคทีเรียอะซิโตเจนิก สมการของปฏิกิริยาการเปลี่ยนเอทานอลและกรดไขมันระเหยไปเป็นกรดอะซิติก เป็นดังต่อไปนี้



(2-1)



(2-2)

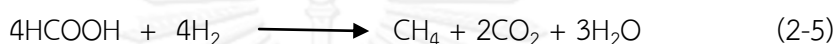
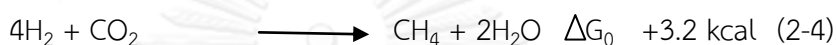


(2-3)

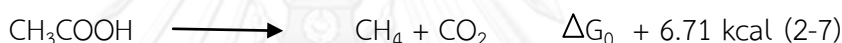
แบคทีเรียอะเซโตเจนิกเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าเมทาโนเจนโดยมีค่า μ_{max} ประมาณ 1 ชม^{-1} และสำหรับเมทาโนเจนมีค่าประมาณ 0.04 ชม^{-1} (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ , 2552)

4) แบคทีเรียสร้างมีเทน (methane forming bacteria, methanogen) เป็นกลุ่มของแบคทีเรียซึ่งเจริญเติบโตช้าและไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะค่า pH อุณหภูมิ และสารพิษ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

4.1) กลุ่มที่สร้างมีเทนจาก CO_2 และ H_2 และกรดฟอร์มิก



4.2) กลุ่มที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติก



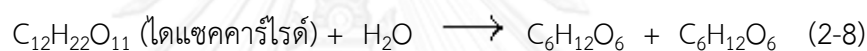
ก๊าซมีเทนส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 70 สร้างจากสมการที่ (2-7) และแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มเมทาโนเจนที่เจริญเติบโตช้าที่สุด และการแบ่งตัวจะต้องใช้ระยะเวลาหลายวัน สำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในรูปของแข็งแขวนลอยที่มีความเข้มข้นสูง จะต้องผ่านขั้นตอนไฮโดรไลซิสโดยกลุ่มแบคทีเรียไฮโดรไลซิส ซึ่งผลิตเอ็กตร้าเซลลูลาเอนไซม์เพื่อย่อยสลายอินทรีย์ของแข็งโมเลกุลใหญ่ให้ได้สารละลายอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก การย่อยสลายของแข็งนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นระบบแอนแอโรบิกสำหรับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยเป็นจำนวนมากจะต้องมีระยะเวลาสัมผัสระหว่างแบคทีเรียและสารอินทรีย์ที่ยาวนานพอเพื่อให้กระบวนการไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับอัตราเร็วของปฏิกิริยาการผลิตกรดและการผลิตก๊าซมีเทนนั้นจะเกิดได้เร็วกว่ากระบวนการไฮโดรไลซิสมาก ดังนั้นถ้าน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่จะสามารถเลือกใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีระยะเวลาที่สั้นกว่าและให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงกว่า

2.2.2 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

เพื่อให้แน่ใจว่าการออกแบบและการใช้ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีความถูกต้องจึงมีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจจุลชีววิทยาและชีวเคมีของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Lema & Omil, 2001) ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนของการย่อยสลายแบบไร้อากาศทั้ง 4 ขั้นตอน ในแง่ของจุลชีววิทยาและชีวเคมี

1. **ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)** เป็นขั้นตอนของกระบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (Depolymerization) ของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน สารเหล่านี้จะถูกทำให้แตกสลายไปเป็นมอนอเมอร์ (Monomer) ด้วยเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเซลล์ (Extracellular enzyme) ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ ตัวอย่างของเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเซลล์ได้แก่ เซลลูเลส อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส เป็นต้น สารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลสจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เช่น กลูโคส กาแล็กโตสไซโลส และอะราบิโนส เป็นต้น (Elefsiniotis & Oldham, 1994) สารประเภทโปรตีนถูกทำให้แตกสลายเป็นกรดอะมิโน เปปไทด์ และ แอมโมเนีย เป็นต้น (Elefsiniotis & Oldham, 1994) ส่วนสารประเภทไขมันจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดไขมันชนิดสายยาวและสั้น และกลีเซอรอล (Glycerol) (Pavlostathis & Giraldo-Gomez, 1991)

ตัวอย่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์บางชนิด



กลุ่มแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในขั้นตอนนี้ได้แก่กลุ่ม ไฮโดรไลติก แบคทีเรีย (Hydrolytic bacteria) และเฟอร์เมนเททิฟแบคทีเรีย (Fermentative bacteria) โดยทั้งสองกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียที่เจริญในสภาวะไร้อากาศชนิดเด็ดขาด (Obligate anaerobes) และเจริญได้ทั้งในสภาวะมี/ไม่มีอากาศ (Facultative anaerobes) ตัวอย่างของแบคทีเรียในทั้งสองกลุ่มได้แก่ *Clostridium* sp. และ *Micrococci* sp. ผลิตเอนไซม์ไลเปสย่อยสลายไขมัน *Bacteroides* sp., *Butyrivibrio* sp., *Clostridium* sp., *Fusobacterium* sp., *Selenomonas* sp. และ *Streptococcus* sp. ผลิตเอนไซม์โปรตีเอสย่อยสลายโปรตีน เป็นต้นโดยพบว่าปริมาณเซลล์ที่เกิดขึ้นมีประมาณ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ (McInerney, 1988)

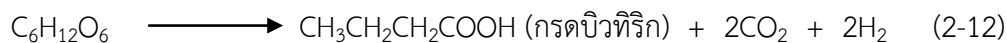
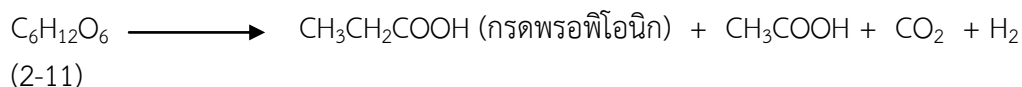
2. **การสร้างกรด (Acidogenesis)** ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไฮโดรไลซิส เช่น น้ำตาล กรดไขมันสายยาว และกรดอะมิโนจะถูกใช้เป็นซับสเตรทเพื่อผลิตกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดพรอปิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น (Kalyuzhnyi, Veeken, & Hamelers, 2000) ซึ่งจะเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid) ชนิดใดนั้นขึ้นกับค่าความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนของระบบ แสดงดังปฏิกิริยา (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ปฏิกิริยาเคมีในขั้นตอนการสร้างกรด

ความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนต่ำ



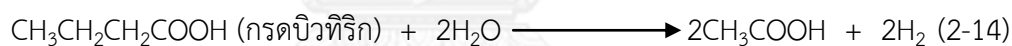
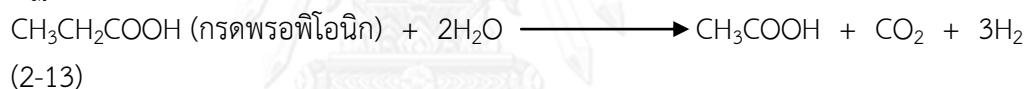
ความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนสูง



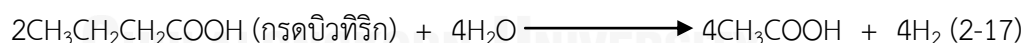
กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic bacteria) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีบทบาทในขั้นตอนนี้ ซึ่งในขั้นตอนการสร้างกรดของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ กรดจะถูกผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนเด็ดขาด (Obligate anaerobes) แบคทีเรียที่มีบทบาทก็คือ *Clostridium* sp. ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ ใช้สารอาหารได้หลากหลาย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น กรดบิวทริก กรดอะซิติก เอทานอล อะซิโตน เป็นต้น และนอกจากนี้ยังมีแบคทีเรีย *Propionibacterium* sp. สร้างกรดโพรพิโอนิก (มันสีน ตัณหุส เวิร์ม, 2546) ซึ่งในขั้นตอนการสร้างกรดนี้จะเกิดเซลล์แบคทีเรียใหม่ที่มีปริมาณน้อยลงกว่าในขั้นตอนไฮโดรไลซิส

3. การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) ปฏิกริยาเคมีที่สำคัญในขั้นตอนนี้
ได้แก่ (ดัดแปลงจาก (Sekiguchi, Kamagata, & Harada, 2001))

ปฏิกิริยาอะซิโตเจนิค (Acetogenic reaction)



ปฏิกิริยาซินโทรฟิก (Syntrophic reaction)



เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังกล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นกรดอะซิติกโดยแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกก่อน ซึ่งได้แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม โดยแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- *แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกอย่างเดียว (Homoacetogenic bacteria)*

แบคทีเรียชนิดนี้เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา ตัวอย่างของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Acetobacterium* sp. และ *Clostridium* sp. เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียในสกุล *Clostridium* sp. พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก เพราะเนื่องมาจากแบคทีเรียสกุลนี้มีเมตาบอลิซึมที่หลากหลาย

- *แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกที่ผลิตแก๊สไฮโดรเจน (H₂-Producing Acetogenic Bacteria)*

แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและแก๊สไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทน โดยพบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้จะอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนแบบ Syntrophy คือให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง กล่าวคือแบคทีเรียสร้างกรดจะสร้างอาหารให้กับจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทน โดยจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนก็ช่วยทำลายแก๊สไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นสูงจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างกรด โดยตัวอย่างของแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกที่ผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Syntrophomonas* sp. และ *Syntrophobacter* sp. เป็นต้น (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

4. การสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) จุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทน (Methanogen) เป็นจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศชนิดดีดขาด ไม่ทนต่อออกซิเจนแม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอาหารประมาณ 10 ชนิด ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ฟอर्मेट เมทานอล เมทิลลาไมด์ ไดมethylลาไมด์ ไตรเมทิลลาไมด์ เมทิลเมอร์เซปแทน ไดมethylซัลไฟด์ และอะซิเตต สารอาหารอื่นนอกจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่นกรดบิวทริก จุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนจะไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้โดยภาพที่ 2-7 แสดงตัวอย่างของวิถีการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของการสร้างแก๊สมีเทนจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าปริมาณเซลล์ที่เกิดขึ้นใหม่ในขั้นตอนนี้มีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

จุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักตามประเภทของสารอาหารที่ใช้ได้แก่

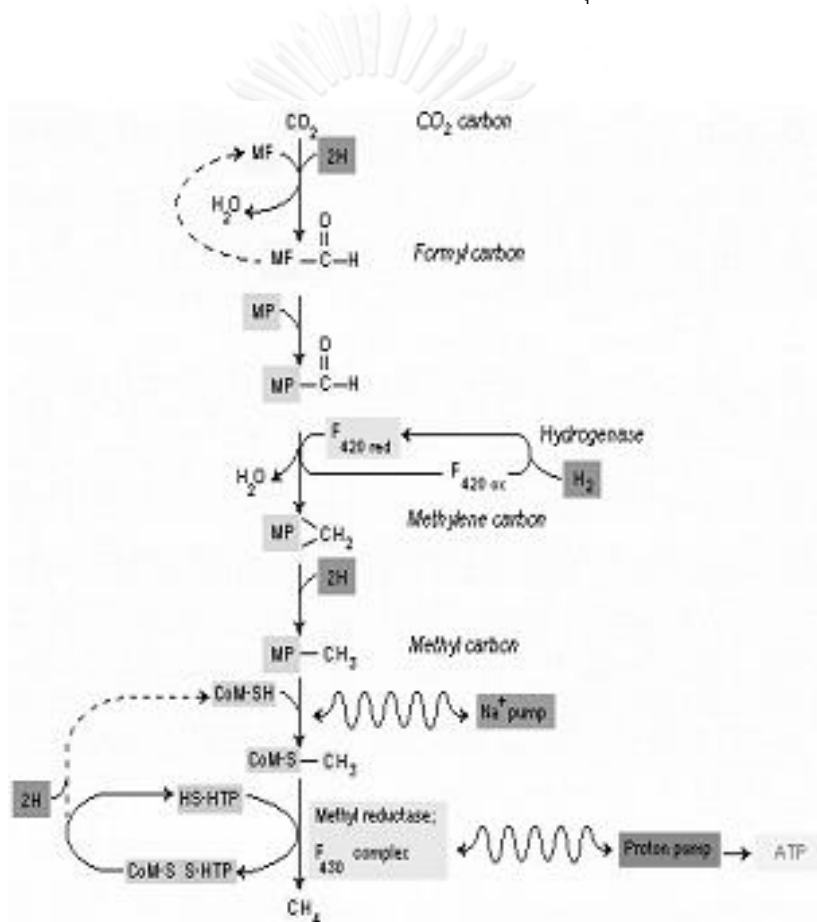
- *เมทาโนเจนที่ใช้อะซิเตต (Obligate acetoclastic methanogen)* เป็นกลุ่มจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้



- เมทาโนเจนที่ใช้แก๊สไฮโดรเจน (*Obligate hydrogenotrophic methanogen* หรือ *Hydrogen utilizer*) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนผลิตแก๊สมีเทนโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนตามสมการดังนี้



- เมทาโนเจนที่ใช้ได้ทั้งแก๊สไฮโดรเจนและอะซิเตต (*Hydrogenotrophic/Acetoclastic methanogen*) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกและแก๊สไฮโดรเจน แต่ใช้แก๊สไฮโดรเจนได้ดีกว่า (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)



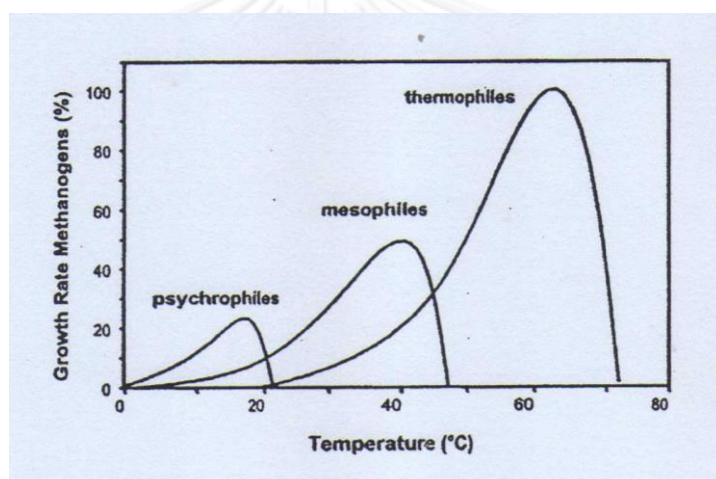
ภาพที่ 2- 7 วิธีการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของการสร้างแก๊สมีเทนจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา: (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกัน โดยที่จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มนั้นจะมีความแตกต่างกันในด้านของการดำรงชีวิตและด้านความต้องการสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต การย่อยสลายสารอินทรีย์รวมทั้งการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย มีดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียแต่ละกลุ่มในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะมีความต้องการอุณหภูมิในการดำรงชีวิตที่ต่างกันแสดงดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2- 8 ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน

ที่มา : (IWA Task Group, 2002)

สามารถแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียได้ ดังนี้

- 1.1) ช่วงไซโคฟิลิก (Psychrophilic range) มีช่วงอุณหภูมิ 5 – 20 °C
- 1.2) ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic range) มีช่วงอุณหภูมิ 10– 40 °C
- 1.3) ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic range) มีช่วงอุณหภูมิ 20 – 70 °C

โดยอัตราการย่อยสลายของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนในช่วงเมโซฟิลิกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 – 40 °C และช่วงเทอร์โมฟิลิกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 70 °C ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะใช้เพียงช่วงเมโซฟิลิกเท่านั้น

2) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มของแบคทีเรียสร้างกรดมีค่าระหว่าง 5.0 – 6.5 แต่ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับเมทาโนเจนมีค่าสูงกว่า 6.5 ดังนั้นในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะต้องควบคุมค่า pH ของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ให้อยู่ในช่วง 6.7 – 7.5 ในสภาวะที่ค่า pH ของระบบมีค่าต่ำและเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยจะมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาของเมทาโนเจนมากกว่ากลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด และแบคทีเรียสร้างกรดยังคงสามารถผลิตกรดได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ค่า pH ลดต่ำลงไปอีก

3) ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความสามารถของจุลินทรีย์ในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เมื่อมีปริมาณกรดในน้ำเสียเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ สารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ ทำให้ความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียลดลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด หรือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นอัลคาไลนิตีจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการต้านการลดลงของความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย เมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำเสียสูงขึ้น โดยค่าอัลคาไลนิตีที่เหมาะสมต่อน้ำเสียในระบบอยู่ในช่วง 2,000 – 4,000 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต

4) ความต้องการธาตุอาหาร (Nutrients)

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยมีอัตราส่วนซีไอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 2.1 : 0.6 ซึ่งถ้ามีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอจะส่งผลให้แบคทีเรียเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ นอกจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้วพบว่ามีธาตุอาหารที่จำเป็นอีกหลายชนิดที่ต้องการในปริมาณน้อยสำหรับเมทาโนเจน ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล โซเดียม แบริียม ทังสแตน โมลิบดีนัม และซิลิเนียม แม้ว่าโดยปกติในน้ำเสียจะมีธาตุอาหารเหล่านี้เพียงพอ แต่ควรตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้ในน้ำทิ้งและตรวจสอบว่าในน้ำทิ้งยังคงมีธาตุอาหารเหล่านี้ในรูปที่ละลายน้ำอย่างเพียงพอหรือไม่ เนื่องจากในช่วงการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน โลหะหลายชนิดถูกทำให้ตกผลึกในรูปของเกลือโลหะคาร์บอเนตหรือเกลือโลหะซัลไฟด์ซึ่งละลายในน้ำได้น้อยมาก และทำให้มีปริมาณโลหะเหล่านี้ไม่พอเพียงสำหรับเมทาโนเจนโดยธาตุอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนแสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2- 4 ธาตุอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

สารเคมี	ความเข้มข้น (มก./ล.)	สารเคมี	ความเข้มข้น (มก./ล.)
NH ₄ Cl	400	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	400	NH ₄ VO ₃	0.5
KCl	400	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.5
Na ₂ S·9H ₂ O	300	ZnCl ₂	0.5
CaCl ₂ ·2H ₂ O	50	AlCl ₃ ·6H ₂ O	0.5
(NH ₄) ₂ HPO ₄	80	NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.5
FeCl ₂ ·4H ₂ O	40	H ₃ BO ₃	0.5
CoCl ₂ ·6H ₂ O	10	NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.5
KI	10	NaWO ₄ ·2H ₂ O	0.5
(NaPO ₃) ₆	10	Na ₂ SeO ₃	0.5
Cysteine	10	NaHCO ₃	6,000

ที่มา : (Speece, 2008)

5) สารพิษ (Toxic substances)

ปฏิกิริยาการผลิตก๊าซมีเทนของแบคทีเรียจะหยุดลงหรือมีค่าต่ำลงเมื่อมีสารพิษหรือสารยับยั้งปฏิกิริยาที่มีผลต่อแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทนหรือเมทาโนเจนเข้าสู่ระบบ โดยปกติเมทาโนเจนสามารถทนต่อสารพิษได้ที่มีความเข้มข้นระดับหนึ่ง แต่ในบางกรณีอาจทนความเข้มข้นที่มากกว่าปกติได้ถ้าแบคทีเรียสามารถปรับตัวให้เคยชินต่อสารพิษ (acclimatization) สารพิษที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนหลายชนิด ได้แก่

5.1) กรดไขมันระเหย

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. เทียบกับกรดอะเซติก ถ้ามีการสะสมของกรดไขมันระเหยจะทำให้ค่า pH ลดลง ผลกระทบของกรดไขมันระเหยจะเกี่ยวข้องกับค่า pH และความเข้มข้นของอัลคาโลนิตีที่มีในถังปฏิกรณ์โดยจะมีผลต่อระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน ซึ่งกรดไขมันระเหยที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียและสามารถแพร่กระจายผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่เซลล์ได้ และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง

5.2) แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบแอนแอโรบิกได้มาจากการย่อยสลายของเสียที่มีโปรตีนหรือกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบ แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำเสียมมีทั้ง 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และอยู่ในสภาวะสมดุลซึ่งกันและกัน การยับยั้งปฏิกิริยาการผลิตก๊าซมีเทนจะขึ้นจากความเข้มข้นของ NH_4^+ และ NH_3 ความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดจะสัมพันธ์กันและขึ้นกับค่า pH โดยปกติ NH_3 มีผลยับยั้งปฏิกิริยาการผลิตก๊าซมีเทนที่ความเข้มข้นต่ำกว่า NH_4^+ มาก ดังตารางที่ 2-5 แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 2- 5 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ล.)	ผลกระทบต่อระบบแอนแอโรบิก
50 – 200	กระตุ้นปฏิกิริยา
200 – 1,000	ไม่มีผลกระทบ
1,500 – 3,000	มีผลยับยั้งที่ค่า pH สูง
>3,000	เป็นพิษ

ที่มา : (McCarty, 1964)

5.3) แคลท์ไอออนของโลหะเบา

แคลท์ไอออนของโลหะเบา เช่น โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมอาจมีความเข้มข้นสูงมากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น น้ำเสียจากโรงหมักสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น และเป็นสาเหตุสำคัญที่ยับยั้งการทำงานของเมทาโนเจนในระบบแอนแอโรบิก นอกจากนี้แคลท์ไอออนบางส่วนยังได้มาจากเกลือของต่างที่ใช้ปรับค่า pH ในถังปฏิกรณ์ ตารางที่ 2-6 แสดงระดับความเข้มข้นของแคลท์ไอออนที่กระตุ้นการทำงานและระดับความเข้มข้นที่ยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน

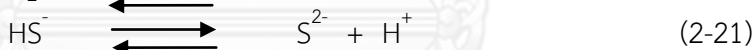
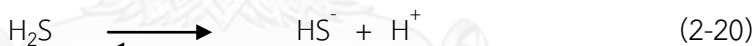
ตารางที่ 2- 6 ระดับความเข้มข้นของแคทไอออนของโลหะเบาที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน

แคทไอออน	ระดับความเข้มข้น (มก./ล.)		
	กระตุ้นการทำงาน	ยับยั้งปานกลาง	ยับยั้งรุนแรง
โซเดียม	100 – 200	3,500 – 5,500	8,000
โปแตสเซียม	200 – 400	2,500 – 4,500	12,000
แคลเซียม	100 – 200	2,500 – 4,500	8,000
แมกนีเซียม	75 – 150	1,000 – 1,500	3,000

ที่มา : (McCarty, 1964)

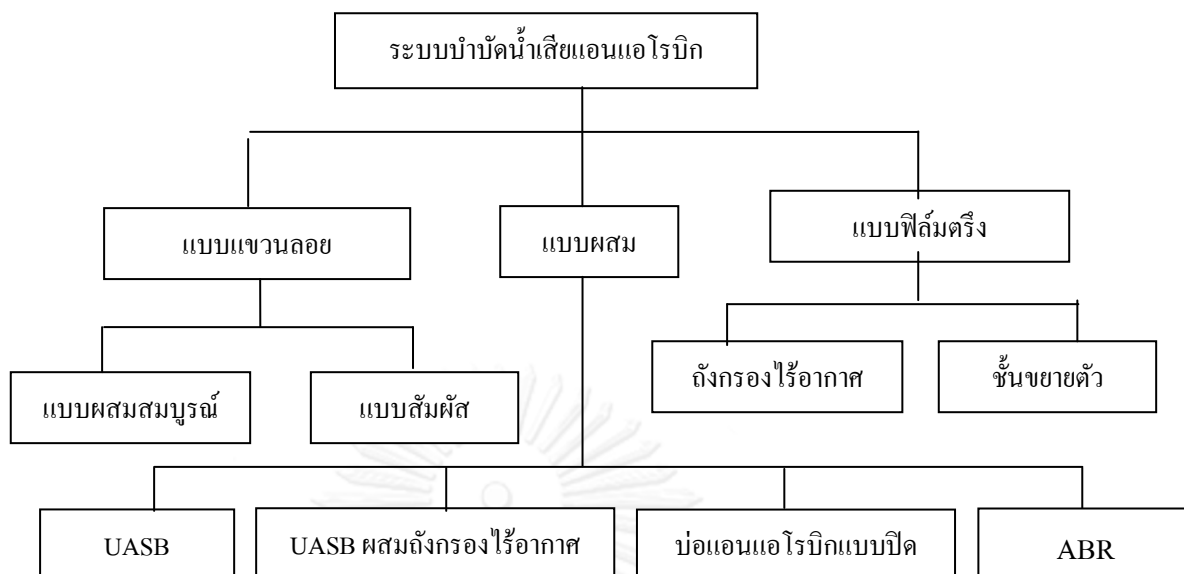
5.4) ซัลไฟด์ (S^{2-})

ซัลไฟด์ที่พบในระบบแอนแอโรบิกมาจาก (1) น้ำเสียที่มีองค์ประกอบของซัลไฟด์ (2) ปฏิกิริยาชีวเคมีในถังปฏิกรณ์จากการรีดักชันของซัลเฟต (SO_4^{2-}) และสารประกอบซัลเฟอไรด์ในรูปออกซิโดซันได้อื่น ซัลเฟตรีดิคซึ่งแบคทีเรียสามารถใช้สารประกอบเหล่านี้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการผลิตพลังงาน ซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักได้โลหะซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยมากและตกผลึกแยกออกจากน้ำจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับแบคทีเรีย ซัลไฟด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของกรดอ่อนที่แตกตัวในสารละลาย ดังสมการที่ 2-20 และ 2-21 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้น้อยจึงออกจากระบบไปพร้อมกับก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น



2.3 รูปแบบถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิก

รูปแบบถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกที่มีการใช้งานจริงอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ถังปฏิกรณ์แบบแขวนลอย (suspended growth) ถังปฏิกรณ์แบบฟิล์มตรึง (attached growth) และถังปฏิกรณ์แบบผสม (hybrid) ดังแสดงในภาพที่ 2-9 ถังปฏิกรณ์แบบเจริญเติบโตแขวนลอยเหมาะสำหรับบำบัดสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียหรือน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ย่อยสลายได้สูง ถังปฏิกรณ์แบบเจริญเติบโตเกาะติดเหมาะสำหรับน้ำเสียที่สารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารละลาย สำหรับถังปฏิกรณ์แบบผสมสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ย่อยสลายได้ปานกลาง แต่โดยปกติเหมาะสำหรับน้ำเสียประเภทสารละลายมากกว่า ตารางที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบระบบแอนแอโรบิกที่ใช้ถังปฏิกรณ์แบบต่างๆ



ภาพที่ 2- 9 ประเภทถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกที่มีการใช้งานจริงสำหรับบำบัดน้ำเสีย
ที่มา : (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2552)

ตารางที่ 2- 7 การเปรียบเทียบระบบแอนแอโรบิกที่ใช้ถังปฏิกรณ์แบบต่างๆ

รายการ	แบบแขวนลอย	แบบผสม	แบบฟิล์มตรึง
ความเข้มข้นของแบคทีเรีย	ต่ำ	สูง	สูง
ระยะเวลาพักของแข็ง	ต่ำ	สูง	สูง
น้ำเสียมีของแข็งแขวนลอยสูง	เหมาะสม	กำจัดของแข็งได้บางส่วน	กำจัดของแข็งได้ไม่ดี
น้ำเสียมีความเข้มข้นสูง	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ประสิทธิภาพการบำบัด	ต่ำ	สูง	สูง
ความทนทานต่อสารพิษ	ต่ำเนื่องจาก θ_c ต่ำ	ทนได้ดีเนื่องจาก θ_c สูง	ทนได้ดีเนื่องจาก θ_c สูง
การบำรุงรักษา	ง่ายเมื่อใช้ไบโควน	ง่ายเมื่อใช้การสูบน้ำย้อนกลับ	เกิดการอุดตันได้
ความต้องการพลังงาน	ต่ำกว่าระบบอื่น	สูงเมื่อใช้การสูบน้ำย้อนกลับ	สูงเมื่อใช้ระบบชั้นขยายตัว

ที่มา : (Hall, 1992)

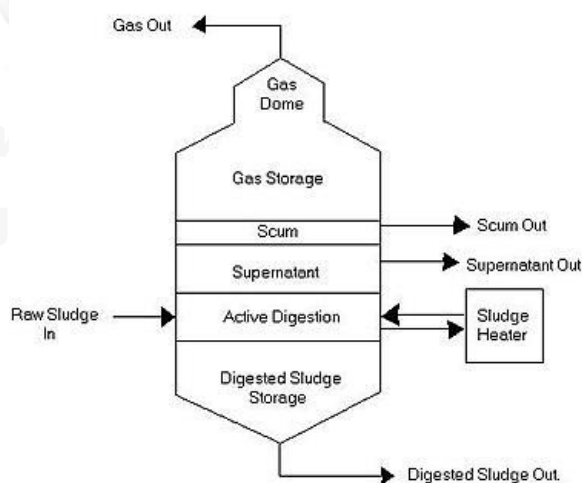
2.3.1 ระบบแอนแอโรบิกเจริญเตบโตแชนวलय

รูปแบบถังปฏิกรณ์แบบต่างๆของระบบแอนแอโรบิกแบบเจริญเตบโตแชนวलय แสดงดังภาพที่ 2-10 รายละเอียดของแต่ละแบบมีดังต่อไปนี้

1) ถังย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก (Anaerobic digester)

เป็นระบบที่ใช้ถังปฏิกรณ์ใบเดียวไม่มีการสูบสลัดจ์กลับและออกแบบสำหรับย่อยสลัดจ์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ อาจไม่มีการกวนผสม มีกวนผสมอย่างต่อเนื่องหรือกวนผสมแบบไม่ต่อเนื่อง การกวนผสมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ใบกวนต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้า การหมุนเวียนก๊าซที่ผลิตขึ้น หรือการหมุนเวียนน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำ สำหรับถังปฏิกรณ์แบบผสมสมบูรณ์ระยะเวลากักน้ำจะมีความเท่ากับระยะเวลากักของแข็ง ซึ่งปกติมีค่าประมาณ 15 – 30 วัน เมื่อใช้ระยะเวลากักน้ำที่ยาวนานจะทำให้สามารถป้อนน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องโดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ และเนื่องจากไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์กลับเข้าถังปฏิกรณ์ ระบบจึงเหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยสูงหรือน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์สูงมาก อัตราการระสารถอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับถังย่อยสลัดจ์นิยมใช้ค่าอัตราการระสารถอินทรีย์เนื่องจากในน้ำสลัดจ์มีของแข็งปริมาณสูงและค่าที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 0.5 – 6.0 กก.วีเอสเอส/ลบ.ม.-วันและอัตราการระสารถอินทรีย์สำหรับน้ำเสียที่ใช้ถังย่อยสลัดจ์มีค่าประมาณ 1 – 10 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

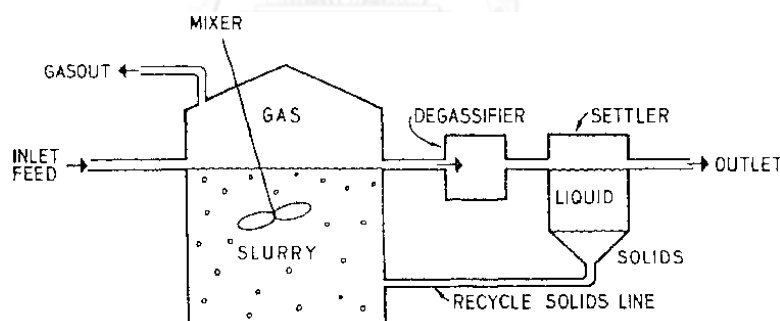
Single Stage, Standard Rate Anaerobic Digester



ภาพที่ 2- 10 ถังย่อยสลัดจ์แบบผสมสมบูรณ์ (Anaerobic digester)

2) ถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic contact reactor)

เป็นระบบที่ใช้แก้ไขปัญหของถังปฏิกรณ์แบบแรกซึ่งไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์ โดยมวลชีวภาพจะถูกแยกออกจากน้ำเสียและถูกส่งกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ทำให้สามารถเพิ่มระยะเวลาพักของแข็งให้มีค่าสูงขึ้นและมีค่ามากกว่าระยะเวลาพักน้ำ จึงสามารถออกแบบระบบให้มีค่า θ_c สูงได้ตามที่ต้องการและสามารถเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ทำให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดเล็กลง การแยกมวลชีวภาพออกจากน้ำเสียนิยมใช้ถังตกตะกอน อย่างไรก็ตามมวลชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ไม่รวมตัวกันเป็นฟล็อกและตกตะกอนได้ยาก และเนื่องจากเป็นระบบที่ผลิตก๊าซจึงทำให้ก๊าซติดไปกับสลัดจ์ ทำให้การตกตะกอนไม่มีประสิทธิภาพ จึงมีการใช้กระบวนการเสริมสำหรับแยกก๊าซออกจากสลัดจ์ก่อนเข้าสู่ถังตกตะกอน โดยอาจใช้วิธีการกวนหรือใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศโดยระบบนี้สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีค่า COD ในช่วงกว้างแต่อาจไม่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีค่า COD ต่ำกว่า 2,000 มก./ล. สำหรับน้ำเสียที่มีค่า COD สูง สามารถใช้ระบบแอนแอโรบิกแบบสัมผัสได้ดี トラบเท่าที่มวลชีวภาพสามารถตกตะกอนได้ดี ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกแบบสัมผัสมีค่าสูงกว่าระบบถังย่อยสลัดจ์แบบผสมสมบูรณ์โดยสามารถลดค่า COD ของน้ำเสียได้ร้อยละ 90 – 95 สำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 2 – 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. โดยปกติอัตราภาระสารอินทรีย์จะอยู่ในช่วง 0.5 – 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. และระยะเวลาพักน้ำ 0.5 – 5 วัน

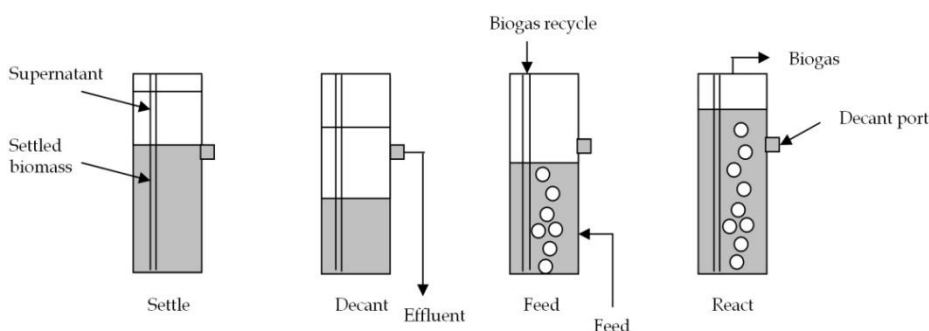


ภาพที่ 2- 11 ถังปฏิกรณ์แบบสัมผัส (Anaerobic contact reactor)

3) ระบบแอนแอโรบิกแบบเอสปีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor)

เป็นระบบเดียวกันกับระบบเอสปีอาร์ของระบบเอเอส ประสิทธิภาพของระบบขึ้นกับความสามารถในการรวมตัวกันเป็นเม็ดของสลัดจ์ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับที่พบในระบบ UASB การดำเนินงานประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การเติมน้ำเสีย การทำปฏิกิริยา การตกตะกอน และการระบายน้ำออก ระบบนี้สามารถกำจัดซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 92 – 98 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 1.2 – 2.4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. และระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 – 24 ชม. ที่ 25°C ระยะเวลาตกตะกอนที่ใช้เท่ากับ 30 นาที หลังจากการเดินระบบไประยะเวลาหนึ่งจะ

ได้สลัดจ์ที่รวมตัวกันเป็นเม็ดที่มีความหนาแน่นสูง ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 50 – 100 มก./ล. ระยะเวลาที่กักสลัดจ์มีค่าเท่ากับ 50 – 200 วัน ที่ระยะเวลา กักน้ำ 6 – 24 ชม.



ภาพที่ 2- 12 ระบบแอนแอโรบิกแบบเอสปีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor)

ตารางที่ 2- 8 อัตราการระสาดอินทรีย์สำหรับระบบแอนแอโรบิกแบบแขวนลอยชนิดต่างๆ

ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	อัตราการระสาดอินทรีย์ต่อปริมาตร (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ระยะเวลาที่กักน้ำของถังปฏิกรณ์ (วัน)
แบบกวนผสมสมบูรณ์	1.0 – 5.0	15 - 30
แบบสัมผัส	1.0 – 8.0	0.5 - 5
เอสปีอาร์	1.2 – 2.4	0.5 – 1.0

ที่มา : (Tchobanoglous, Burton, Stensel, Metcalf, & Eddy, 2004)

2.3.2 ระบบแอนแอโรบิกแบบผสม

1) ระบบบ่อแอนแอโรบิกแบบปิด (Covered Anaerobic Lagoon)

ระบบบ่อแอนแอโรบิกแบบปิดเป็นระบบบ่อแอนแอโรบิกที่ได้รับการพัฒนาขึ้นและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน บ่อที่ใช้ อาจเป็นบ่อขุดหรือเป็นบ่อที่ก่อสร้างเหนือพื้นดินที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและปูแผ่นพลาสติกกันซึม น้ำเสียจะถูกสูบเข้าบ่อทางด้านหนึ่งผ่านระบบกระจายน้ำเพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและชั้นสลัดจ์ของแบคทีเรียแอนแอโรบิกให้มากที่สุดบริเวณทางเข้าของน้ำเสีย ก๊าซที่เกิดขึ้นจำนวนมากในช่วงทางเข้านี้จะช่วยทำให้เกิดการผสมที่ดี บริเวณทางน้ำออกจะมีการผลิตก๊าซต่ำที่สุดจึงเกิดสภาพน้ำนิ่ง ทำให้ได้น้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยต่ำ ในระบบแบบใหม่มีการติดตั้งเครื่องกวนน้ำภายในบ่อและติดตั้งระบบสูบสลัดจ์กลับ ด้านบนของบ่อถูกปิดด้วยแผ่นพลาสติกที่ลอยเหนือน้ำ ซึ่งเป็นฉนวนความร้อนและเป็นที่รวบรวมก๊าซเพื่อนำไปใช้ประโยชน์



ภาพที่ 2- 13 ระบบบ่อแอนแอโรบิกแบบปิด (Covered Anaerobic Lagoon)

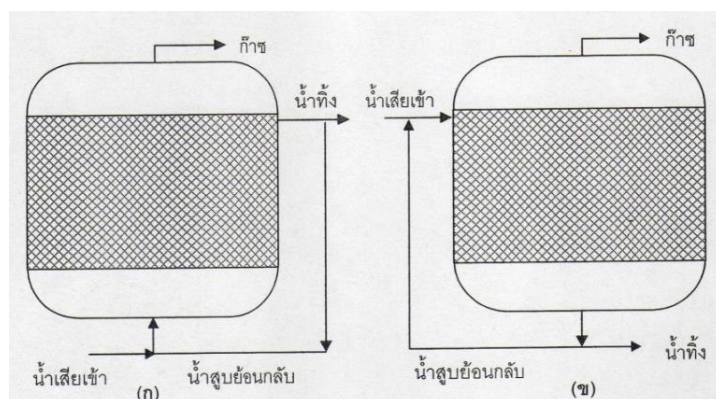
ที่มา : (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2552)

2.3.3 ระบบแอนแอโรบิกแบบฟิล์มตรึง

ระบบแอนแอโรบิกแบบฟิล์มตรึงเป็นระบบที่ใช้แบคทีเรียที่เจริญเติบโตบนผิวของตัวกลาง ซึ่งบรรจุอยู่ภายในถังปฏิกรณ์และเดินระบบในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตบนผิวตัวกลาง การเกาะติดของแบคทีเรียเป็นการป้องกันถูกชะล้างออกจากถังปฏิกรณ์ทำให้ความเข้มข้นของแบคทีเรียและระยะเวลาพักของแข็งมีค่าสูง

1) ระบบแอนแอโรบิกแบบตัวกลางอยู่กับที่

ระบบแอนแอโรบิกแบบฟิล์มตรึงเป็นระบบที่ใช้ตัวกลางอยู่กับที่ โดยมีตัวกลางและให้น้ำเสียไหลขึ้นผ่านตัวกลาง แบคทีเรียจะเจริญเติบโตบนผิวของตัวกลางทำให้สามารถรองรับอัตราภาระสารอินทรีย์ได้สูงและระยะเวลากักน้ำสั้นและนิยมเรียกระบบแบบนี้ว่า ถังกรองไร้อากาศ (anaerobic filter) โดยตัวกลางที่ใช้เป็นพลาสติก พลาสติกมีช่องเปิดขนาดใหญ่และมีสัดส่วนของช่องว่างสูงถึงร้อยละ 95 ช่องว่างเหล่านี้ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในระดับสูงเนื่องจากมีช่องว่างจำนวนมากสำหรับสะสมแบคทีเรียที่เจริญเติบโตแบบแขวนลอยและมีพื้นที่ผิวจำนวนมากสำหรับแบคทีเรียที่เจริญเติบโตแบบเกาะติด โดยการใช้ตัวกลางแบบไหลแนวขวางให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าตัวกลางประเภทอื่น สิ่งที่สำคัญสำหรับระบบนี้คือจะต้องมีระบบกระจายน้ำเสียใต้ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพ และควรออกแบบให้น้ำเสียที่ออกจากท่อกระจายน้ำเสียมีความเร็วไม่ต่ำกว่า 1 ม./วินาที และขนาดท่อกระจายน้ำเสียควรมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อป้องกันการอุดตัน



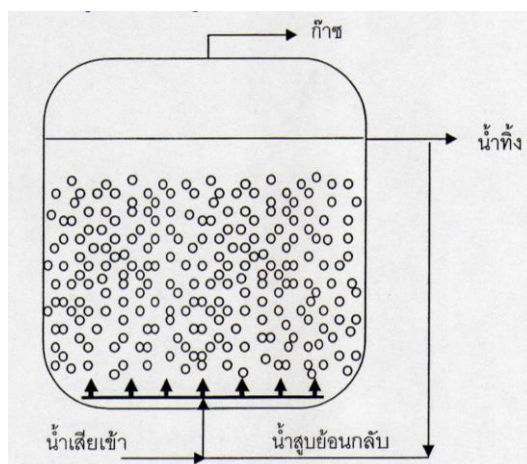
ภาพที่ 2- 14 ถังกรองไร้อากาศ (ก) แบบไหลขึ้น (ข) แบบน้ำไหลลง

ที่มา : (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2552)

2) ระบบแอนแอโรบิกแบบตัวกลางขยายตัว

ระบบแอนแอโรบิกแบบตัวกลางขยายตัว ได้แก่ ระบบชั้นขยายตัว (expanded bed) และระบบชั้นฟลูอิดไดซ์ (fluidized bed) ซึ่งปรับปรุงการแพร่กระจายมวลในถังปฏิกรณ์ด้วยการใช้ตัวกลางขนาดเล็ก เช่น ทรายที่มีค่าสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก โดยปกติในระบบตัวกลางอยู่กับที่เมื่อใช้ตัวกลางที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีสัดส่วนของช่องว่างน้อยและเกิดการอุดตันอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับระบบตัวกลางขยายตัวซึ่งใช้น้ำไหลขึ้นด้วยความเร็วสูงทำให้ตัวกลางเกิดการขยายตัวและเพิ่มปริมาตรช่องว่างในตัวกลาง ในระบบชั้นขยายตัวขยายตัวความเร็วน้ำที่ใช้ต้องเพียงพอที่ทำให้ชั้นตัวกลางขยายตัวร้อยละ 15 – 30 ณ จุดนี้บางส่วนของอนุภาคจะถูกหมุนด้วยการไหลขึ้นของน้ำ และบางส่วนถูกหมุนด้วยอนุภาคที่อยู่ด้านล่าง สำหรับระบบชั้นฟลูอิดไดซ์ต้องใช้ความเร็วน้ำสูงมากเพื่อให้ชั้นตัวกลางขยายตัวร้อยละ 25 – 30 และอนุภาคตัวกลางทั้งหมดถูกหมุนด้วยการไหลของน้ำอย่างเดียว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่อย่างอิสระในชั้นตัวกลางแสดงดังภาพที่ 2-15 ข้อเสียเปรียบหลักของทั้งสองระบบคือต้องใช้พลังงานสูงสำหรับการสูบน้ำกลับ

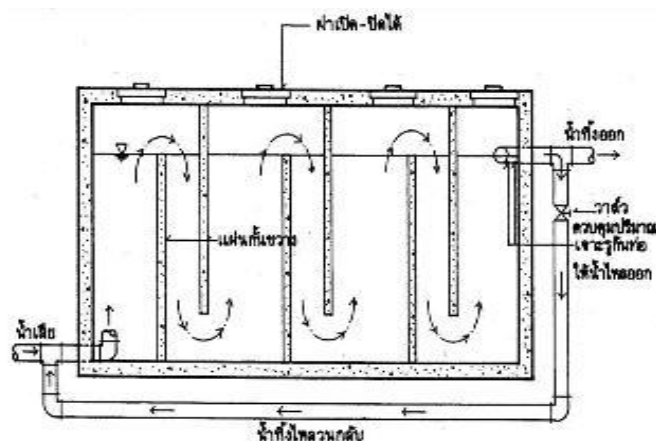
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2- 15 ระบบแอนแอโรบิกแบบชั้นขยายตัวและแบบชั้นฟลูอิดไดซ์
ที่มา : (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2552)

2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปียาร์ (Anaerobic Baffled Reactor)

ระบบเอปียาร์ถูกออกแบบริเริ่มพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 (Barber & Stuckey, 1999) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อ หลักการทำงานของระบบเอปียาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีอัตราการบำบัดสูง ซึ่งอาศัยหลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) ดัดแปลงเป็นระบบเอปียาร์ โดยเป็นระบบที่มีแผ่นกั้น (baffle) ขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ตามแนวยาวของถัง เพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำขึ้นลงในแนวดิ่งของน้ำเสียเข้าสู่ระบบสลับกันไปมาหลายครั้ง ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้มาก (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551) ระบบนี้สามารถรับปริมาณซีโอดีได้สูงถึง 110 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) และยังสามารถลดการสูญเสียเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้เกิดการสะสมมวลจุลินทรีย์ในระบบเป็นจำนวนมาก และเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่ของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กๆ นอกจากนี้ยังเป็นระบบที่มีการจัดทิศทางการไหลของน้ำเสียขึ้นลงทำให้มีความเร็วได้สูงถึง 0.2 - 0.4 เมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นความเร็วการไหลของน้ำเสียมากกว่าระบบที่บำบัดน้ำเสียแบบไหลขึ้น (upflow) ถึง 2 เท่า ดังนั้นระบบเอปียาร์จึงน่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบยูเอเอสบี โดยระบบเอปียาร์มีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2- 16 ระบบบำบัดน้ำเสียถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปียาร์
(Anaerobic Baffled Reactor)

2.4.1 การทำงานของระบบถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปียาร์

- ลักษณะการไหล

ลักษณะทางไฮโดรไดนามิกส์และความสามารถในการกวนผสม (Degree of mixing) จะส่งผลต่อการสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์และสารอาหารในน้ำเสีย ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบ ได้มีงานวิจัยของ (Barber & Stuckey, 1999) พบว่าระบบเอปียาร์มีระดับการเกิด Hydraulic dead space (พื้นที่ที่ไม่ถูกใช้งาน) น้อยกว่า 8% สำหรับถังเปล่าที่ไม่มีเซลล์จุลินทรีย์ และที่ 18% เมื่อมีเซลล์จุลินทรีย์ 8 กรัม วีเอสเอส/ลิตร ซึ่งน้อยกว่าถึงปฏิกรณ์แบบอื่นๆ และการเกิด Dead space จะไม่ขึ้นอยู่กับเซลล์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์หากเดินระบบที่ HRT ต่ำๆ แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและจำนวนช่องของถัง (การวางแผ่นกั้น) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับ Biological dead space (บริเวณที่แบคทีเรียไม่ทำงาน) ที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ อัตราการเกิดก๊าซและอัตราการไหล โดยค่า Biological dead space จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น (HRT ลดลง) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าที่ค่า HRT สูงๆ Dead space ของระบบจะเกิดจาก Biological Dead Space เป็นส่วนหลักและจะส่งผลกระทบต่อระบบน้อยลงเมื่อ HRT ต่ำลง

- ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์

เนื่องจากแบคทีเรียมีการเติบโตที่ช้าในระบบแอนแอโรบิก ดังนั้นในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) จึงต้องมีไหลที่ต่ำและอัตราการไหลที่ต่ำ โดย (Barber & Stuckey, 1999) ได้พบว่าการเริ่มต้นเดินระบบด้วยค่า HRT ที่สูงๆ (มากกว่า 80 ชม.) แล้วค่อยๆ ลด HRT ลงเป็นขั้นๆ โดยควบคุมให้ความเข้มข้นของซับสเตรตคงเดิม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความคงตัวของระบบได้ดี

1. การนำระบบเอปียอร์ไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

เนื่องจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำจะมีแรงผลักดันในการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer driving force) ต่ำลง ซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายต่ำลงด้วย นอกจากนี้ยังทำให้เป็นการยากที่จะแยกกลุ่มแบคทีเรียในแต่ละช่อง และยังพบว่า การบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ ต้องใช้ค่าอายุตะกอนที่สูงเพื่อต้องกักเก็บปริมาณจุลินทรีย์ในระบบให้มาก เพราะอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเสียนี้นี้จะมีค่าต่ำจึงทำให้ชั้นตะกอนน้อยลง

2. การนำระบบเอปียอร์ไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

ในทางตรงกันข้ามกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง อาจต้องทำการเจือจางหรือเดินระบบที่ HRT ต่ำ เนื่องจากมีการเกิดก๊าซจำนวนมากในระบบ ทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอน ดังนั้นความสามารถในการตกตะกอนจึงลดลงและมีโอกาสที่เซลล์จุลินทรีย์จะถูกชะล้างออกไปได้ เมื่อพิจารณาในแง่ของ Kinetic การที่น้ำเสียมีความเข้มข้นสูงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่มีค่า K_s สูง มีการเติบโตมากขึ้นและผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปียอร์

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพระบบเอปียอร์ มีดังนี้

1. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate; OLR) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ หรือเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราป้อนสารอินทรีย์จะมีผลต่อระยะเวลาที่กักพักเซลล์ด้วย

2. การกวน (mixing) เป็นสิ่งสำคัญในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีหลักการคือ ทำให้ออกซิเจนอยู่ในสภาพแขวนลอยเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ตามจุดต่างๆของถังปฏิกรณ์ และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

3. จำนวนแผ่นกั้น (baffles) หรือจำนวนห้อง (compartments) โครงสร้างของระบบเอปียอร์ประกอบด้วยแผ่นกั้นขวางหลายๆแผ่นติดตั้งอยู่ภายในระบบทำให้สามารถแบ่งเป็นหน่วยย่อยหรือเป็นห้อง ซึ่งทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียให้สัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นลงสลับไปมา เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียน้อยลง ดังนั้นจำนวนแผ่นกั้นจึงน่าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบ

2.4.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์

ตารางที่ 2- 9 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบเอปีอาร์

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่ต้องใช้เครื่องจักรสำหรับกวนผสม ไม่ต้องใช้พลังงาน จึงมีค่าดำเนินงานที่ต่ำ 2. การกักเก็บตะกอนจะถูกดักและตกตะกอนอยู่ในแต่ละห้องและมีการเปลี่ยนของกลุ่มจุลินทรีย์ภายในระบบ 3. สามารถกักเก็บตะกอนในระบบหรือป้องกันการหลุดออกของตะกอนได้ดี มีมวลเซลล์สะสมในระบบสูง 4. สามารถลดระยะเวลาที่พักทางชีวศาสตร์ได้น้อย โดยที่ระยะเวลาการกักเก็บของแข็ง (SRT) ยังสูงอยู่ 5. มีการกักเก็บตะกอนนานในแต่ละห้อง จึงสามารถรับภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ได้สูง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง เนื่องจากอาจเกิดการสะสมของตะกอนในแต่ละห้องโดยแขวนลอยบริเวณด้านหน้าของแผ่นกั้นทำให้เกิดขวางการไหลของน้ำเสียและก๊าซ 2. กรณีน้ำเสียที่ป้อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติอย่างกะทันหัน อาจเกิดผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในห้องแรกของถัง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ระบบล้มเหลว

2.5 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การศึกษาสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

(Gran, 1970) สาเหตุความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมาจาก 5 สาเหตุ คือ 1. เยื่อ 2. ส่วนของเซลล์ เช่น อนุภาคของเปลือกไม้ 3. อินทรีย์คอลลอยด์ (colloidal organic) ซึ่งมาจากเนื้อไม้ 4. สารอินทรีย์ละลายน้ำ (soluble organic) มาจากเนื้อไม้ 5. สารเคมีละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำที่ใช้ในขบวนการผลิต เช่น สารส้ม พาราฟิน เรซินสังเคราะห์ ฟังจิไซด์ (fungicides) จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียในขบวนการผลิตแบบ Asplund-Defibrator โดยใช้ไม้จำพวกมะเดื่อ (beech) เป็นวัตถุดิบพบว่ามีสารละลายน้ำจำพวกคาร์โบไฮเดรต 75% มีพวกลิกนินเล็กน้อย และมีกรดอะซิติก 10%

(Bernard, 1977) การศึกษาสาเหตุความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบพบว่า น้ำเสียที่ถูกบิบบอกจากแผ่นเยื่อเปียก (wet laps) ประกอบด้วยสารละลายน้ำหรืออนุภาคคอลลอยด์ ประมาณ 80% และสารแขวนลอยประมาณ 20% อัตราส่วนโดยน้ำหนัก โดยปัจจัยที่ทำให้ น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมีความสกปรกมีปัจจัยดังนี้

1. ชนิดของไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ จากการศึกษาพบว่า ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) มีส่วนประกอบคือ เซลลูโลส 50% ลิกนิน 30% เรซิน 5% เฮมิเซลลูโลส 15% และไม้เนื้อแข็ง (hard wood) จะประกอบด้วย เซลลูโลส 43% ลิกนิน 22% เรซิน 5% เฮมิเซลลูโลส 30% จากส่วนประกอบดังกล่าวจะพบว่าไม้เนื้อแข็ง จะทำให้เกิดความเป็นมลพิษมากกว่า

2. อุณหภูมิและแรงดันของไอน้ำที่ใช้ในการบดเยื่อ ถ้า pulp yield สูง จะทำให้ความสกปรกจากน้ำทิ้งโรงงานมีค่าต่ำ และการลดเวลาในการนึ่งจะทำให้ได้ pulp yield สูง ซึ่งทำให้น้ำเสียมีความสกปรกน้อย

(Jannsson, 1982) น้ำ white water มีส่วนประกอบพวกสารละลายน้ำและพวกคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่มาจาก เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) จากเนื้อไม้และพวกลิกนิน ซึ่งพวกเซลลูโลสในเนื้อไม้จะไม่ละลายในระหว่างขบวนการบด น้ำ white water จะมีพวกวัสดุอนินทรีย์ (inorganic material) เป็นส่วนใหญ่ และยังมีพวกกรดอินทรีย์ (organic acid) กับเศษไม้ และถ้ามีการเพิ่มสารอลูมิเนียมซัลเฟต หรือ phenolic resin ในขบวนการผลิต ก็จะมีสารเหล่านี้ในน้ำ white water ส่วนที่ละลายน้ำของเนื้อไม้เป็นแหล่งที่ทำให้เกิดความสกปรกที่ออกจากขบวนการผลิตอยู่ในรูปของค่า บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลาย ฯลฯ

2.5.2 การศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

1.การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

(Johanson, 1975) การบำบัดทางเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่ดีที่สุดสำหรับการลดของแข็งแขวนลอย โดยการใช้สาร polyelectrolytes จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุด ส่วนการใช้ปูนขาว (lime) ร่วมกับสารส้ม (aluminum sulphate) ที่ pH ประมาณ 4.0 สามารถลดค่าบีโอดีได้เพียง 25-30%

(Jannsson, 1982) การบำบัดทางเคมีสามารถลดของแข็งแขวนลอยและคอลลอยด์ และยังสามารถใช้ในการบำบัดขั้นสุดท้ายหลังจากการบำบัดทางชีวภาพมาแล้ว ซึ่งสามารถลดสารอาหารที่เติมลงไป เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยตะกอนทางเคมีที่ได้จะถูกกำจัดโดยวิธีตกตะกอน (sedimentation) หรือการทำให้ลอย (floatation) นอกจากการใช้ปูนขาวและสารส้มในการตกตะกอนยังมีการศึกษาสารตัวอื่น คือ phenolic resin และ electrolytes โดยโรงงานแห่งหนึ่งในประเทศสวีเดนได้ใช้สาร cationic polyelectrolyte ชื่อ Gendriv 162 ในน้ำ white water พบว่าลดค่าบีโอดีได้ 30% และลดค่าซีโอดีได้ 35-40% และลดของแข็งแขวนลอยได้ประมาณ 50%

(อุษาพร เลิศวิบูล, 2545) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยใช้กระบวนการโฟโตออกซิเดชัน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และสี พบว่าเมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ที่ pH 3 ประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ pH 9 และ pH 7.6 ตามลำดับ โดยที่ H₂O₂ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้น H₂O₂ เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และได้ศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของ TiO₂ แบบยึดติดกับตัวกลางและแบบแขวนลอย พบว่ารูปแบบที่เหมาะสมในการบำบัด คือ แบบยึดติดกับตัวกลาง

จากการเปรียบเทียบสถานะที่เหมาะสมแต่ละสถานะพบว่า UV/H₂O₂ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด รองลงมาคือ UV/TiO₂/H₂O₂ และ UV/TiO₂ ตามลำดับ

สถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการฟิโตนิกออกซิเดชัน คือ น้ำเสียมีความเข้มข้นไม่เกิน 700 mgCOD/L pH 3 เติม H₂O₂ 2000 mg/L และระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป บีโอดี ซีโอดี และสี เท่ากับ 50% 81.65% และ 84.38% ตามลำดับ

2.การบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

(Gran, 1970) การใช้ระบบบำบัดแบบ activated sludge โดยน้ำเสียจะผ่านถังตกตะกอนขั้นต้น ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอนขั้นที่สอง ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าถังเติมอากาศจะมีการเติมสารอาหาร คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยมีอัตราส่วนของ BOD: N: P เท่ากับ 100: 5: 1 ไนโตรเจนที่เติมจะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม และฟอสฟอรัสจะเติมในรูปกรดฟอสฟอริกหรือฟอสเฟต ระบบดังกล่าวสามารถลดค่าบีโอดีได้ 75-85% ถ้าต้องการให้ค่าสูงกว่านี้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศและใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ข้อเสียเปรียบของระบบ activated sludge คือ มีค่าลงทุนและค่าปฏิบัติการสูง และปัญหาการกำจัดตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) การกำจัดตะกอนส่วนเกินทำโดยการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้ตะกอนมีความเข้มข้นสูงขึ้นซึ่งจะนำไปกำจัดด้วยการเหวี่ยงเอาน้ำออก (centrifugation) และ ริดน้ำออก (filtration) ในทางปฏิบัติหากน้ำเสียมีความเข้มข้นมากเกินไป จำเป็นต้องเจือจางเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อถังตกตะกอนขั้นที่สอง

(Johanson, 1975) โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งหลายแห่งในยุโรปใช้การบำบัดทางชีววิทยา โดยระบบ activated sludge และระบบ aerated lagoon สามารถกำจัดบีโอดีได้ 60-95% แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบทางชีววิทยาในน้ำเสียจากการผลิตใยไม้อัดแข็งคือมีสารแขวนลอยที่ออกจากระบบบำบัดลงสู่แหล่งน้ำปริมาณมาก

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบอื่นๆที่น่าสนใจ คือ trickling filter แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1.แบบ tower ซึ่งจะใช้ media เป็นพลาสติก 2. แบบ RBS (Rotating Biological Surface) ซึ่งจะใช้แผ่นดิสก์พลาสติกถูกผูกยึดกับเพลาแนวราบและมีการหมุนอยู่ตลอดเวลา มีส่วนที่จมน้ำประมาณ 40% จากการศึกษา น้ำเสียจากการผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งด้วยระบบ RBS ใน pilot plant scale พบว่าให้ผลการบำบัดได้ดีและมีการนำไปติดตั้งในโรงงานแห่งหนึ่งด้วย

(Jannsson, 1982) ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการลด บีโอดี ซีโอดี และของแข็งละลายทั้งหมด ระบบที่น่าสนใจคือ activated sludge และ aerated lagoon โดยระบบ activated sludge จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ อุณหภูมิ สารอาหาร ระบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง ส่วนระบบ aerated lagoon การควบคุมดูแลจะง่ายกว่าระบบแรก ระบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศนานและไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหาร

(Chaparro & Pires, 2011) การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดของสารอินทรีย์ที่มีความสัมพันธ์อย่างไ้กับการลดลงของความเป็นพิษและผลกระทบของสารก่อการกลายพันธุ์เมื่อใช้ระบบบำบัด HPBR (Horizontal packed-bed anaerobic reactor) ในการบำบัดน้ำเสียการฟอกสีจากโรงงานไม้ พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ เช่น COD, DOC, AOX (adsorbable organic halogen), ASL (acid soluble lignin), สี คลอไรด์ ฟีนอล และ UV-VIS ผลการทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ประมาณ 45-55% ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัด AOX ประมาณ 40-45% ผลกระทบของความเป็นพิษ เช่น ความเป็นพิษต่อเซลล์นั้นลดลงเนื่องจากสัดส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ของสารอินทรีย์ถูกกำจัดไป จากผลการทดลองนี้การวัดอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียด้วยนั้นบ่งชี้ได้ว่าน้ำเสียนี้ไม่ได้มีความเป็นพิษ อย่งไรก็ตามสารประกอบของสีนั้นจะเป็นที่มาของจุลินทรีย์แต่ไม่ใช่สาเหตุของความเป็นพิษเรื้อรัง ในการปล่อยน้ำเสียนี้จำเป็นต้องจะมีการบำบัดต่อด้วยกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมีหรือบำบัดด้วยการเติมอากาศก่อน

(บุญส่ง ศิลปเจริญกุล, 2536) การออกแบบเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมีกำลังผลิต 200 ตัน/วัน ใช้กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก น้ำเสียที่ออกจากโรงงานประกอบด้วยน้ำเสีย black water 329 m³/d บีโอดีเฉลี่ย 11446 mg/l และน้ำเสีย white water 1712 m³/d บีโอดีเฉลี่ย 2735 mg/l โดยแบ่งการปรับปรุงออกเป็น 2 ทางเลือก คือ ทางเลือกที่ 1 เป็นการปรับปรุงระบบบ่อเติมสำหรับรองรับน้ำเสียในปัจจุบันทั้ง black water และ white water โดยเพิ่มบ่อไร้อากาศบ่อ A ความจุ 6900 m³ ลึก 2.3 m พื้นที่ผิว 3000 m² เพื่อรับน้ำเสีย black water และแยกน้ำเสีย white water ออกเป็นสองส่วนปริมาณเท่าๆกันเข้าบ่อไร้อากาศบ่อ 1 และบ่อ 2 และทางเลือกที่ 2 เพื่อเพิ่มศักยภาพของระบบบำบัดน้ำเสยรวมหลังจากได้ทำการปรับปรุงโดยทางเลือกที่ 1 เพื่อรับน้ำเสียในอนาคต ซึ่งจะมีน้ำเสียออกจากโรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ประมาณ 810 m³/d บีโอดี 1000 mg/l โดยการปรับปรุงจะเพิ่มบ่อไร้อากาศบ่อ B ความจุ 11500 m³ ลึก 2.3 m พื้นที่ผิว 5000 m² เพื่อรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) และน้ำ black water ส่วนหนึ่ง คุณภาพน้ำหลังการบำบัดมีค่าบีโอดีได้ตามมาตรฐานสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

2.5.3 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

(Grobiki & Stuckey, 1991) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอปีอาร์ประกอบด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ทำการทดลองมีถึงปฏิกรณ์ 4 ถัง ใช้ช่วงระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสม เพื่อให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนคาร์บอนให้เป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพดี จากการทดลองพบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 95% และมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบในปริมาณน้อย เมื่อใช้ระยะเวลาพักชลศาสตร์ 20 ชั่วโมง นอกจากนี้ ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่ำและอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์มาก ทำให้เกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้สูงอีกด้วย และเพื่อจะหาค่าที่เหมาะสมของอัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระดับสูง ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และความจำกัด

ในการถ่ายเทมวลในระบบและจะพบว่าฟอร์เมตเป็นสารตัวกลางที่สำคัญภายใต้กระบวนการที่มีอัตรา
การระบรทุกสารอินทรีย์สูง

(Barber & Stuckey, 1999) ถึงปฏิกรณ์แบบเอปียาร์ถูกออกแบบพัฒนาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1980 และมีข้อดีหลายประการมากกว่าระบบอื่นๆ เช่น ระบบถังไร้อากาศ ระบบยูเอเอสบี คือ สามารถรับ
การเปลี่ยนแปลงอัตราสารอินทรีย์ได้มาก เชื้อจุลินทรีย์สามารถอยู่ในระบบได้นาน แยกส่วน
ระหว่างจุลินทรีย์ชนิดต่างๆได้ ในส่วนหลังเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถป้องกันสารพิษหรือการ
เปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น เช่น ค่าพีเอชและอุณหภูมิ โครงสร้างทางกายภาพของระบบ
เอปียาร์จำเป็นต้องมีการปรับปรุง เช่น การเติมส่วนที่เป็นการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ จะทำให้
สามารถบำบัดน้ำเสียที่บำบัดได้ยาก ใช้ถึงปฏิกรณ์หลายขั้นตอน รวมทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่าย

(Grover, Marwaha, & Kennedy, 1999) การศึกษาผลของพีเอช อุณหภูมิ ระยะเวลาเก็บ
กักน้ำ และอัตราสารอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนของน้ำ
เสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3
compartment มีปริมาตรการใช้งาน 10 ลิตร โดยใส่น้ำเสียที่เจือจางต่อหัวเชื้อในอัตราส่วน 3:1 โดย
ปริมาตร ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ คือ มีพีเอชเท่ากับ 9 ของแข็งแขวนลอยเท่ากับ
11,000-15,000 มก./ล.ของแข็งละลายน้ำเท่ากับ 29,000-35,000 มก./ล.และความเข้มข้นซีไอดี
เท่ากับ 32,000-40,000 มก./ล. ในการศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำ พีเอช อุณหภูมิ และอัตรา
สารอินทรีย์ ทำการแปรค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 5 4 3 และ 2 วัน แปรค่าพีเอชที่ 6.5
7.5 8.5 และ 9.5 แปรค่าอุณหภูมิที่ 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส โดยเจือจางน้ำเสียให้มีความ
เข้มข้นซีไอดีประมาณ 4,000 มก./ล. และแปรค่าอัตราสารอินทรีย์ที่ 2 3 5 และ 6
กิโลกรัมซีไอดี-ลูกบาศก์เมตร-วัน ผลการทดลองพบว่าสามารถลดซีไอดีได้ 60% ที่อัตราสารอินทรีย์
สารอินทรีย์ 5 กิโลกรัมซีไอดี-ลูกบาศก์เมตร-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน พีเอชเท่ากับ 8 และ
อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอัตราสารอินทรีย์เท่ากับ 6 กิโลกรัมซีไอดี-
ลูกบาศก์เมตร-วัน จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

(Faisal & Unno, 2001) ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม
โดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (Modified Anaerobic Baffled
Reactor; MABR) โดยเพิ่มความสูงของถังปฏิกรณ์ และปรับเปลี่ยนปริมาตรของห้องในส่วนท้ายของ
ถังปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับอนุภาคขนาดเล็ก ติดตั้งแผ่นกั้นที่สลาย
ทำมุม 45 องศา และให้สัดส่วนความกว้างของส่วนที่น้ำไหลขึ้นต่อส่วนที่น้ำไหลลงเท่ากับ 4:1 จากผล
การทดลองพบว่าระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.32 – 0.42 ลิตรมีเทน/กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด โดย
ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 67.3-71.2 เมื่อใช้เวลากักพักชลศาสตร์ 3-10 วัน
โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีประมาณร้อยละ 87.4-95.3 และที่เวลากักพักชลศาสตร์ 3 วัน จะ
เกิดการดไขมันระเหยรวม 1,450 มก./ล.และเมื่อเพิ่มเวลากักพักชลศาสตร์เป็น 10 วัน ค่ากรดไขมัน
ระเหยรวมจะลดลงเหลือ 608 มก./ล. สมการจลนพลศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัด
น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบ MABR และสามารถอธิบายถึงการผลิตมีเทนในการทดลอง
และพฤติกรรม (behavior) ของถังปฏิกรณ์ได้ดี

(J. Wang, Huang, & Zhao, 2004) สมรรถนะและลักษณะการทำงานของระบบเอปปีอาร์ ทำในห้องปฏิบัติการ ใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ห้อง โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFAs) ที่แตกต่างกันและพบว่าอะซิเตทเป็นตัวกลางสำคัญในขั้นตอนการย่อยสลายกลูโคสให้เปลี่ยนเป็นกรด ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายจะลดลงตามความยาวของถังปฏิกรณ์ การวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากห้องที่ 1 ถึงห้องที่ 5 ในขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาตรลดลงในส่วนแรกและไม่พบก๊าซไฮโดรเจนในสองส่วนสุดท้ายของถังปฏิกรณ์ โดยประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนของตะกอนแบบไร้อากาศในแต่ละส่วนของถังปฏิกรณ์ขึ้นอยู่กับสารอาหาร มีการเสนอแนะว่าปริมาณที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกรณ์ในแต่ละส่วนของถังปฏิกรณ์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำสารอาหารไปใช้และความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม ระบบเอปปีอาร์จะมีประสิทธิภาพสูงถ้าได้รับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในปริมาณสูงและสามารถนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแม้จะมีตัวยับยั้งหรือขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา

(Sun, Zhang, Sun, Li, & Wu, 2009) ผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียเยื่อไม่ เมื่อให้ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 4,000 มก./ล. แปรค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำลดลงจาก 40 ชั่วโมง ถึง 18 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการลดลงของซีโอดีเพียง 6% ลดลงจาก 81.9% เหลือ 75.7% จะเห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่มากนัก จากนั้นทำการแปรค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียจาก 4,002-6,560 มก./ล. โดยให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำคงที่เท่ากับ 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 81.1% และ 75.1% ตามลำดับ ค่าพีเอชในแต่ละ compartment นั้นลดลงเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาภายในถัง ABR เกิดปฏิกิริยา acidogenesis ใน compartment แรก และเกิดปฏิกิริยา methanogenesis ใน compartment ถัดมา ถึงปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนสามารถดัดแปลงและมีความสามารถในการรองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์และระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆในการบำบัดน้ำเสียเยื่อไม่

(Malakahmad, Ezlin, & Shahrom, 2011) ความสามารถของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนดัดแปลงในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง มีปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงในช่วงแรกของการย่อยสลายเนื่องจากระยะเวลาเก็บกักน้ำและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ไม่แน่นอน ในการศึกษาใช้ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนดัดแปลงแบ่งเป็น 4 compartment มีขนาดถัง 50 ลิตร ซึ่งถูกออกแบบเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดและอัตราการเกิดมีเทนของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โดยใน compartment แรกของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนนั้นออกแบบให้มีขนาดเท่าตัวหนึ่ง เพื่อให้มีระยะเวลากักจุลินทรีย์มากขึ้น โดยใช้ของเสียจากในครัว 62% กากตะกอนน้ำเสีย 38% นำมาผสมกันใช้เป็นซับสเตรทและป้อนเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง ในตอนเริ่มต้นจะวัดสมบัติของเสียจากในครัว และจำนวนของไขมัน โปรตีน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่พบอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายในระบบแอนแอโรบิก และผลจากการแปรค่าของระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 5 4 3 และ 2 วัน และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 2 3 4 5 และ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถกำจัดซีโอดีได้สูงที่สุด คือ 74.5% และ 75.4% ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน อัตราภาระ

บรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ในขณะที่ผลของการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดเท่ากับ 7.40 และ 9.10 ลิตร/วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน อัตราการะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

(Li et al., 2013) ประสิทธิภาพของระบบ HABR (Hybrid Anaerobic Baffled Reactor) ในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง โดยทำการดัดแปลงระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนใน compartment แรกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยสถานะที่เหมาะสมสำหรับ compartment แรก คือการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำจะช่วยให้มีการตกตะกอนที่ดียิ่งขึ้นและมีระยะเวลาพักเซลล์ให้อยู่ภายใน compartment แรก นานขึ้น โดยใช้ความเข้มข้นซีไอดี 700-7,000 มก./ล. และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย(SS) 300-2,800 มก./ล. ทำการเดินระบบ 187 วัน ที่ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น 7,000 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีถึง 94% และที่ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย 2,800 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยถึง 93%

2.5.4 สรุปผลการทบทวนเอกสารและแนวทางการวิจัย

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบจะมีพวกสารละลายน้ำและพวกคอลลอยด์ประมาณ 80% ที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่มาจาก เฮมิเซลลูโลสจากเนื้อไม้และมีลิกนินเล็กน้อย และสารแขวนลอยประมาณ 20% (Bernard, 1977) สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบสามารถบำบัดได้ทั้งกระบวนการทางเคมี ทางชีวภาพ ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สาร polyelectrolytes เป็นวิธีหนึ่งที่ดีที่สุดในการลดสารแขวนลอย แต่มีข้อเสียคือจะทำให้เกิดตะกอนส่วนเกินเป็นจำนวนมาก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของสารเคมี ส่วนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบ activated sludge นั้น ระบบดังกล่าวสามารถลดค่าบีโอดีได้ 75-85% ถ้าต้องการให้ค่าสูงกว่านี้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศและใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยข้อเสียเปรียบของระบบ activated sludge คือ มีค่าลงทุนและค่าปฏิบัติการสูง และปัญหาการกำจัดตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) (Gran, 1970) การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศมีข้อดีกว่าแบบเติมอากาศ คือ ประหยัดพลังงานได้มากกว่า มีตะกอนที่เกิดขึ้นน้อย และได้ผลพลอยได้คือก๊าซชีวภาพ โดยในงานวิจัยนี้สนใจระบบถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบเนื่องจาก มีข้อดีหลายประการมากกว่าระบบอื่นๆ เช่น ระบบถังไร้อากาศ ระบบยูเอเอสบี คือ สามารถรับการเปลี่ยนแปลงอัตราการะสารอินทรีย์ได้มาก เชื้อจุลินทรีย์สามารถอยู่ในระบบได้นาน สามารถแยกส่วนระหว่างจุลินทรีย์ชนิดต่างๆได้ ในส่วนหลังเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถป้องกันสารพิษหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น เช่น ค่าพีเอช และอุณหภูมิ โดยถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจนแบ่งออกเป็น 4 compartment แผ่นกั้นทำมุม 45 องศา เพื่อช่วยบังคับทิศทางหลักของการไหลของน้ำส่วนที่ไหลขึ้นให้อยู่ในแนวตรงกลาง ทำให้เกิดการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด deadspace บริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้นและใน

บริเวณทิศทางที่มีการไหลของน้ำได้ (Barber & Stuckey, 1999) และช่วงของความเข้มข้นซีโอดีในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 1,000-8,000 มก./ล. ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ใช้ความเข้มข้นน้ำเสียเริ่มต้นอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีถึง 81.1% (Sun et al., 2009)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบมีแผ่นกั้นหรือเอปีอาร์ (Anaerobic Baffled Reactor) ขนาด 10 ลิตร
- 2) เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) อัตราการสูบสูงสุด 24 ล./วัน
- 3) เครื่องวัดค่าพีเอช
- 4) โถทำแห้ง
- 5) ตู้อบที่ปรับอุณหภูมิได้ 150 °ซ
- 6) ตาชั่งละเอียด
- 7) เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
- 8) อุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซ (Gas Counter)
- 9) เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography; GC)

3.1.2 สารเคมี

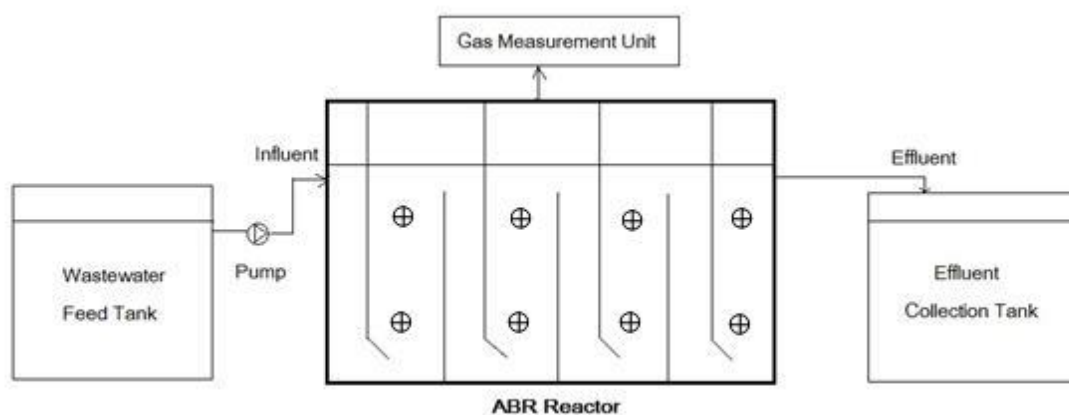
- 1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
- 2) สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- 3) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 4) สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin Indicator)
- 5) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)
- 6) ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)
- 7) เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)
- 8) แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
- 9) นิกเกิลคลอไรด์ ($NiCl_2$)
- 10) โคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2$)
- 11) โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

3.2 การออกแบบและจัดทำระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง

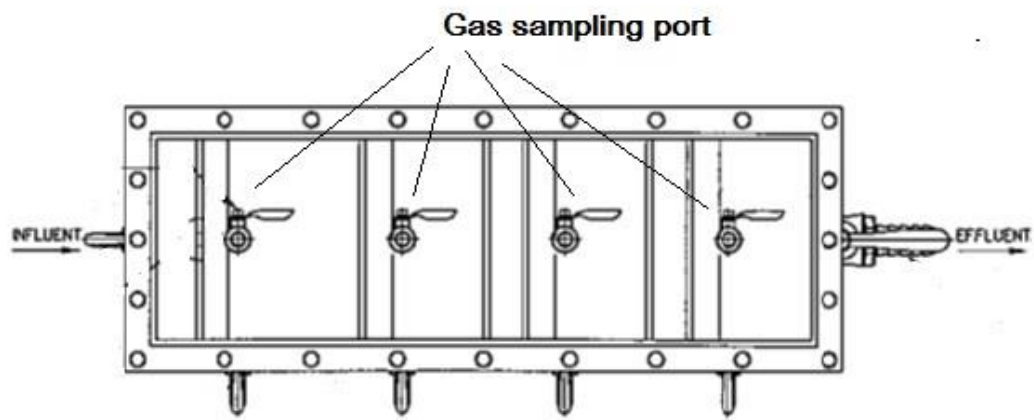
ในการทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์การทดลอง 4 ชุด ในแต่ละชุดมีลักษณะเหมือนกันทั้งหมด

3.2.1 ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ใช้ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนจำนวน 4 ห้อง ถังปฏิกรณ์ทำจากวัสดุอะครีลิคใส กว้าง 0.10 เมตร ยาว 0.33 เมตร สูง 0.40 เมตร แต่ละถังมีปริมาตรการใช้งาน (Effective Volume) 10 ลิตร มีการติดตั้งแผ่นกั้นในแนวตั้ง (Vertical Baffles) โดยในแต่ละห้องจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่น้ำไหลลง (Down Comer) และส่วนที่น้ำไหลขึ้น (Up Comer) มีความกว้างส่วนที่น้ำไหลลงและส่วนที่น้ำไหลขึ้นเท่ากับ 0.02 และ 0.06 เมตร ตามลำดับโดยคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 3 เพื่อช่วยให้เกิดการกักฟักตะกอนได้ดี ส่วนปลายของแผ่นกั้นทำมุม 45 องศา กับแนวราบ เพื่อช่วยบังคับทิศทางหลักของการไหลของน้ำ ส่วนที่ไหลขึ้นให้อยู่ในแนวตรงกลาง ทำให้เกิดการผสมผสานและสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนล่างของห้อง และลดการเกิด deadspace บริเวณส่วนที่น้ำไหลขึ้น และในบริเวณทิศทางที่มีการไหลของน้ำได้ ส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีช่องต่อไปยังอุปกรณ์วัดก๊าซ (Gas Counter) บริเวณด้านข้างของถังมีท่อเพื่อรับน้ำเสียเข้าสู่ระบบและจุดปล่อยน้ำเสียออกจากระบบ ในการทดลองแต่ละห้องมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจุลินทรีย์อย่างละจุด อยู่บริเวณใต้อัตราส่วนน้ำประมาณ 0.0225 เมตร และบริเวณเหนือก้นถังประมาณ 0.0500 เมตร



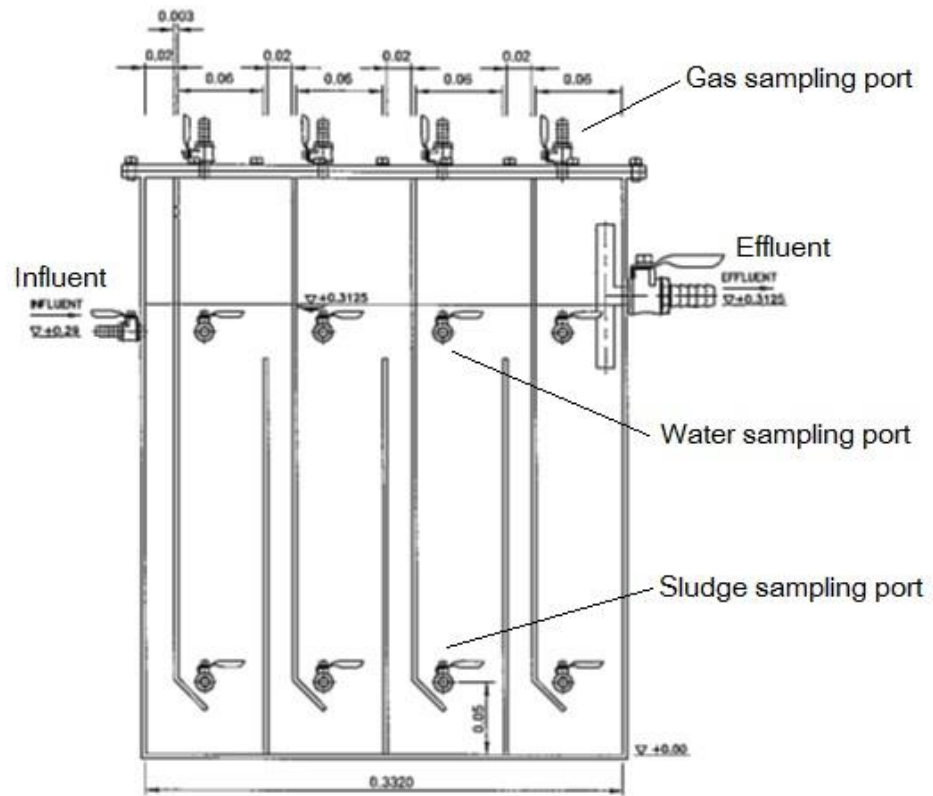
ภาพที่ 3- 1 แสดงองค์ประกอบของระบบการทดลอง



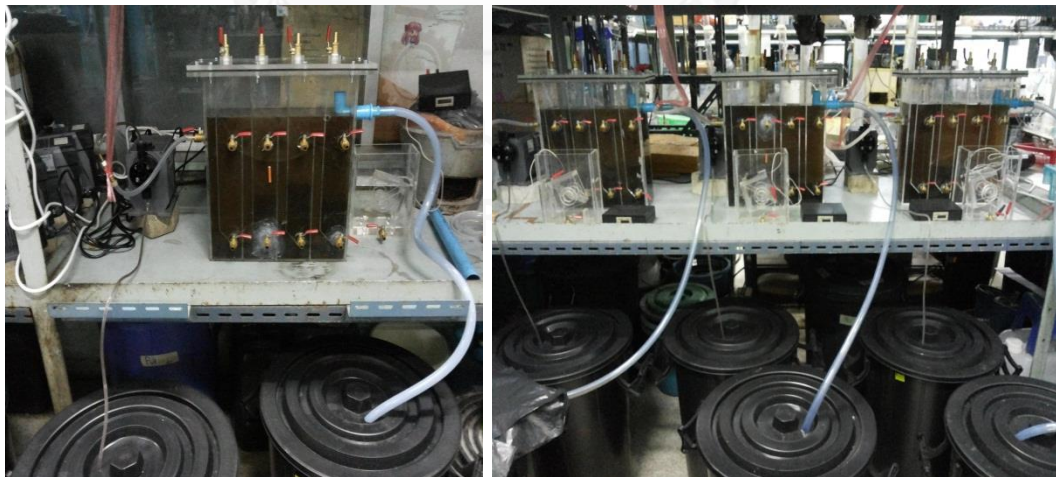
ภาพที่ 3- 2 รายละเอียดด้านบนของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน



ภาพที่ 3- 3 รายละเอียดด้านข้างของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (ตัวเลขแสดงในหน่วยเมตร)



ภาพที่ 3- 4 รายละเอียดด้านหน้าของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน
(ตัวเลขแสดงในหน่วยเมตร)



ภาพที่ 3- 5 ถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนทั้ง 4 ชุดการทดลอง

3.2.2 ชุดวัดปริมาตรก๊าซ

ใช้เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ (Gas Counter) โดยบรรจุน้ำที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 เพื่อไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ละลายลงไปในน้ำได้ เชื่อมต่อกับถังปฏิกรณ์

3.2.3 เครื่องสูบน้ำ (Pump)

ใช้เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) มีอัตราการสูบสูงสุด 24 ลิตร/วัน

3.2.4 ถังเก็บน้ำเสียและรองรับน้ำเสีย

ใช้ถังเก็บน้ำเสียและรองรับน้ำเสียขนาด 60 ลิตร

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่พิจารณาในการทดลองประกอบด้วยตัวแปรคงที่ (fixed variable) ตัวแปรอิสระ (independent variables) และตัวแปรตาม (dependent variables) แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3- 1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรคงที่ -ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (Effective Volume)	10 ลิตร
ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา -อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ -ระยะเวลาเก็บกักน้ำ	1.0, 2.0, 3.9 และ 7.3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง
ตัวแปรตาม -พีเอช -ซีโอดีทั้งหมด -ซีโอดีละลายน้ำ -ความเป็นด่างทั้งหมด -กรดไขมันระเหยรวม -ของแข็งละลายน้ำ	- ของแข็งทั้งหมด - ของแข็งที่ระเหยได้ - ของแข็งแขวนลอย - ปริมาณก๊าซทั้งหมด - เปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ

3.4 การเตรียมน้ำเสีย

นำน้ำเสีย black water และ น้ำเสีย white water จากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ มาผสมกันในอัตราส่วน 20:80 โดยปริมาตร โดยสัดส่วนนี้มาจากปริมาณที่ต่างกันของน้ำเสีย black water และ white water นำมาทำการวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้นของน้ำเสีย ได้แก่ ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำ พีเอช สภาพต่างรวม กรดไขมันระเหยรวม เพื่อศึกษาความเพียงพอของปริมาณสารอาหาร และใช้ในการปรับค่าซีโอดี พีเอช และสภาพความเป็นต่าง ทำการกรองน้ำตัวอย่างที่ผสมกันเรียบร้อยแล้วด้วยผ้าขาวบางเพื่อให้คล้ายกับการผ่านถังตกตะกอนจากนั้นจึงค่อยทำการเจือจางน้ำเสียให้มีความเข้มข้นซีโอดีที่ต้องการได้แก่ ที่ความเข้มข้น 100% 50% 25% และ 12.5% โดยพบว่ามีความเข้มข้นซีโอดีละลายเฉลี่ย 7,384 3,939 2,063 และ 1,015 มก./ล. และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ให้มีพีเอชอยู่ในช่วง 7.1-7.5 เพื่อรักษาสภาพต่าง และเติมธาตุอาหารที่จำเป็นตามอัตราส่วน COD: N: P: Fe: Co: Ni เท่ากับ 100: 2.1: 0.6: 1.7: 0.007: 0.007 (Speece, 2008) จากนั้นจึงนำน้ำเสียที่เตรียมไว้ป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

3.5 การดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การเริ่มต้นระบบ (start up)

ทำการเติมตะกอนจุลชีพที่ได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากบริษัทเสริมสุขจำกัด จำนวน 30% ของปริมาตรทั้งหมด ใส่ลงในถังปฏิกิริยา เติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีละลายเท่ากับ 7,384 มก./ล. ที่ปรับพีเอชและธาตุอาหารให้เหมาะสมแล้ว ทำการวิเคราะห์ พีเอช สภาพความเป็นต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย ซีโอดี เตินระบบจนความเข้มข้นของซีโอดีลดลงครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นเริ่มต้น จึงสามารถเริ่มเดินระบบได้

3.5.2 การเดินระบบ

ในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นต่อการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสของน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน และการทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่อการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสของน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

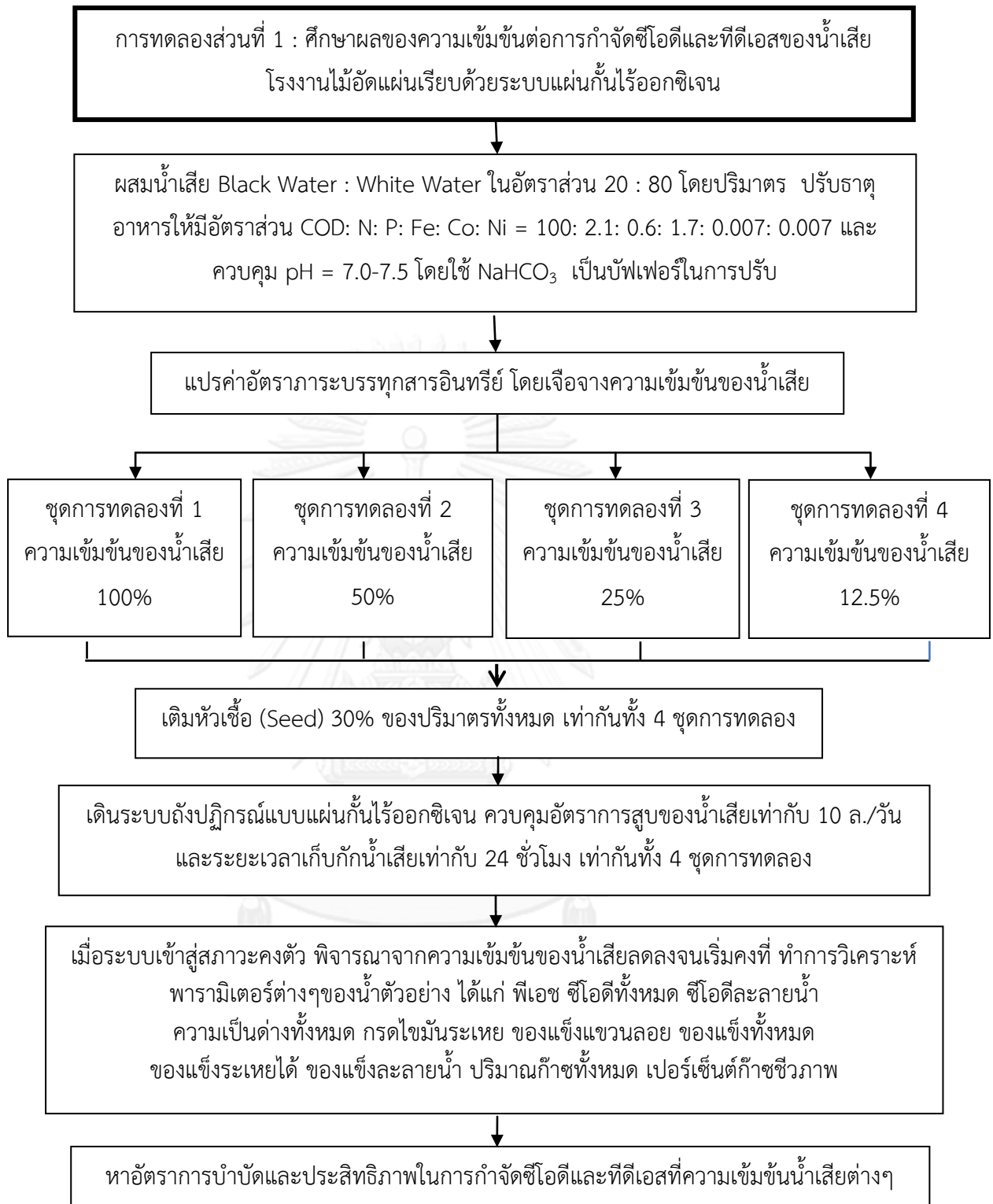
การทดลองส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นต่อการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสของ
น้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1. ป้อนน้ำเสียที่ทำการแปรค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสีย 4 ค่า คือ ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% 50% 25% และ 12.5% จะได้ค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 7.3 3.9 2.0 และ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยให้อัตราการสูบเท่ากับ 10 ลิตร/วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากับ 24 ชั่วโมง เท่ากันทั้ง 4 ชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2
2. ทำการเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยพิจารณาจากความเข้มข้นซีโอดีละลายของน้ำเสียลดลงจนเริ่มคงที่
3. วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของน้ำตัวอย่าง
4. หาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ

ตารางที่ 3- 2 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ

การทดลองชุดที่	อัตราการสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเข้มข้นน้ำเสียเข้า (มก.ซีโอดี/ล.)	ความเข้มข้นน้ำเสียเข้า (%)	อัตราการสูบ (ล./วัน)	เวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)
1	7.3	7,384	100	10	24
2	3.9	3,939	50	10	24
3	2.0	2,063	25	10	24
4	1.0	1,015	12.5	10	24

*Effective Volume ของ Reactor = 10 ลิตร



ภาพที่ 3- 6 แผนผังรายละเอียดการทดลองส่วนที่ 1

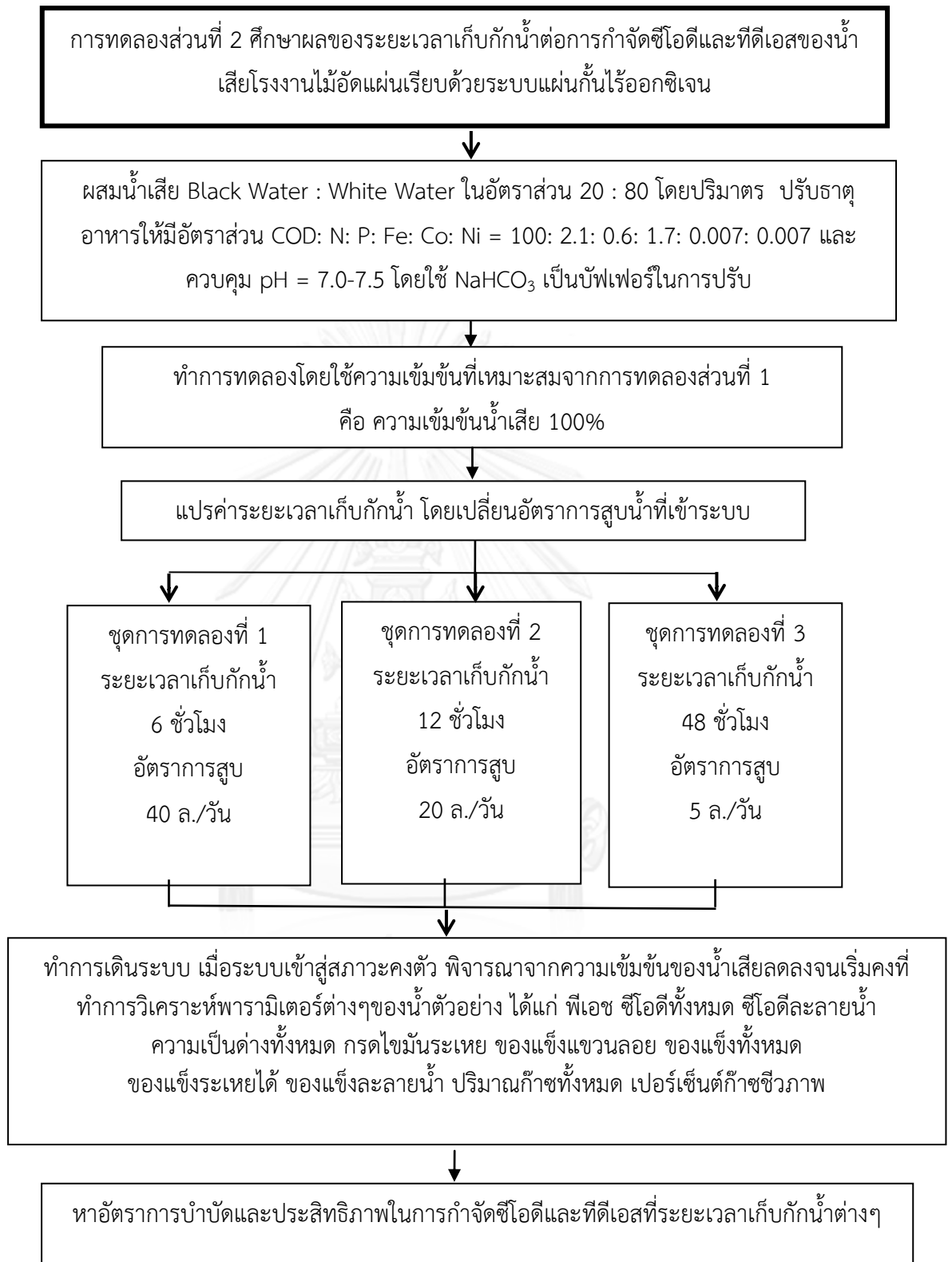
การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่อการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสของ
น้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

1. เลือกความเข้มข้นที่มีอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ดีที่สุดจากการทดลองช่วงที่ 1 คือ ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% เพื่อนำมาแปรค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำโดยแปรค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 ค่า คือ 6 12 และ 48 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนอัตราการสูบเท่ากับ 40 20 และ 5 ล./วัน โดยใช้ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% คงที่ทั้ง 3 ชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-3
2. ทำการเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยพิจารณาจากความเข้มข้นซีโอดีละลายของน้ำเสียลดลงจนเริ่มคงที่
3. วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของน้ำตัวอย่าง
4. หาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและทีดีเอสที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ

ตารางที่ 3- 3 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่เวลาเก็บกักน้ำต่างๆ

การทดลองชุดที่	อัตราการสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเข้มข้นน้ำเสียเข้า (มก.ซีโอดี/ล.)	ความเข้มข้นน้ำเสียเข้า (%)	อัตราการสูบ (ล./วัน)	เวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)
1	44.684	11,171	100	40	6
2	22.342	11,171	100	20	12
3	5.586	11,171	100	5	48

*Effective Volume ของ Reactor = 10 ลิตร



ภาพที่ 3- 7 แผนผังรายละเอียดการทดลองส่วนที่ 2

3.6 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จะเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุด คือ น้ำเสียที่เข้าระบบจากถังพักน้ำเสีย น้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (เก็บตัวอย่างบริเวณด้านบนของภายในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์) และน้ำเสียที่ออกจากระบบซึ่งเก็บจากถังพักน้ำออก โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอทีและทีดีเอส

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยใช้เข็มฉีดยาดูดขึ้นมาจากถังปฏิกรณ์ใส่ไว้ในหลอดเก็บก๊าซ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี (GC)

การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลชีพ จะทำการเก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณส่วนล่างของภายในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ โดยจะทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ ก่อนเริ่มเดินระบบ และที่สภาวะคงตัวแล้ว นำมาวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ ของแข็งแขวนลอยและของแข็งละลายน้ำในตะกอนจุลชีพแสดงดังตารางที่ 3-4 และ 3-5

ตารางที่ 3- 4 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง		
	น้ำเสีย	ภายในถัง ABR	น้ำออก
- พีเอช	①	①	①
- ซีโอดีทั้งหมด	②	-	②
- ซีโอดีละลายน้ำ	②	-	②
- ความเป็นด่างทั้งหมด	③	③	③
- กรดไขมันระเหยรวม	③	③	③
- ของแข็งแขวนลอย	③	③	③
- ของแข็งทั้งหมด	③	③	③
- ของแข็งระเหยได้	③	③	③
- ของแข็งละลายน้ำ	③	③	③
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	③	-
- เปอร์เซ็นต์ก๊าซ	-	③	-

หมายเหตุ

- ① หมายถึงทุกวัน
- ② หมายถึงอาทิตย์ละ 2 ครั้ง
- ③ หมายถึงที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 3- 5 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	4500-H ⁺ B. Electrometric Method
ซีโอดีทั้งหมด (Total COD)	5220 C. Close Reflux, Titrimetric Method
ซีโอดีละลายน้ำ (Soluble COD)	5220 C. Close Reflux, Titrimetric Method
ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)	Direct Titration
กรดไขมันระเหยรวม (Volatile Fatty Acid)	Direct Titration
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	2540 D. Total Residual Dried at 103-105 °C
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	2540 B. Total Solids Dried at 103-105 °C
ของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids)	2540 E. Fixed and Volatile Solid Ignite at 550 °C
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)	Count Meter Method
เปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ	2720 C. Gas Chromatographic Method

ที่มา : (American Water Works Association, 2005)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

งานวิจัยนี้เก็บน้ำเสีย 2 แหล่ง คือ น้ำที่ออกจากขั้นตอนการอัดรีด (Black water) และ น้ำเสียรวมจากทุกขั้นตอนการผลิตของโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ ยกเว้นขั้นตอนการอัดรีด (White water) โดยถือว่าเป็นตัวแทนน้ำเสียทั้งหมดของโรงงาน โดยที่ Black water มีประมาณ 20% และ White water มีประมาณ 80% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบทั้งสองคือ White water มีสีน้ำตาล ส่วน Black water มีสีดำโดยน้ำเสียทั้งสองชนิดนี้มีค่าพีเอชอยู่ที่ 3.5 - 3.8 ซึ่งหมายถึงการไม่มีสภาพความเป็นต่างอยู่พอที่จะให้กรดไปสะเทินได้ จึงไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดได้ น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบจึงจำเป็นต้องปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.0 - 7.5 เพื่อความเหมาะสมต่อจุลชีพในการเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน Black water มีความเข้มข้นซีไอดีที่สูงกว่า White water ในส่วนของตะกอน ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียทั้งสองชนิดเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้วมีปริมาณที่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากทางโรงงานได้ติดตั้งเครื่องสลัดเยื่อ (centrifuge) เพื่อช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อน จึงทำให้มีปริมาณของแข็งละลายน้ำเป็นส่วนหลักของของแข็งทั้งหมด โดยสมบัติอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4-1 โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท อะโกร ไฟเบอร์ จำกัด (ฮาร์ดบอร์ด) ทั้งหมด 7 ครั้ง โดยแสดงวันและเวลาในการเก็บตัวอย่างดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4- 1 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Black water White water และน้ำเสียเข้าระบบ

พารามิเตอร์	Black water	White water	น้ำเสียเข้าระบบ
พีเอช	3.8	3.5	7.4
ซีไอดีทั้งหมด (มก./ล.)	16,805	10,151	12,960
ซีไอดีละลาย (มก./ล.)	12,573	8,311	11,171
กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)	638	338	703
สภาพความเป็นต่างทั้งหมด (มก./ล.)	N/A	N/A	5,273
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	14,540	9,735	10,000
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	1,725	1,690	1,680
ของแข็งละลายน้ำ (มก./ล.)	12,815	8,045	8,320
ของแข็งระเหยได้ (มก./ล.)	12,935	8,955	9,520

หมายเหตุ : N/A หาค่าไม่ได้

ตารางที่ 4- 2 ตารางแสดงวันและเวลาในการเก็บน้ำเสียน้ำเสียจากโรงงานไม่อัด
แผ่นเรียบ

ครั้งที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	เวลาที่เก็บตัวอย่าง
1	วันพฤหัสบดีที่ 8 สิงหาคม 2556	10.00-11.00 น.
2	วันศุกร์ที่ 13 กันยายน 2556	10.00-11.00 น.
3	วันพฤหัสบดีที่ 31 ตุลาคม 2556	10.00-11.00 น.
4	วันพฤหัสบดีที่ 26 ธันวาคม 2556	10.00-11.00 น.
5	วันจันทร์ที่ 27 มกราคม 2557	10.00-11.00 น.
6	วันศุกร์ที่ 7 กุมภาพันธ์ 2557	10.00-11.00 น.
7	วันจันทร์ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2557	10.00-11.00 น.

4.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำของน้ำเสียของพารามิเตอร์ต่างๆ

การทดลองช่วงที่ 1 คือ การศึกษาผลของความเข้มข้นต่ออัตราการบำบัด โดยแปรค่าความเข้มข้นน้ำเสียที่ 100% 50% 25% และ 12.5% โดยมีความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ย 9,211 4,571 2,587 และ 1,289 มก./ล. ตามลำดับ โดยใช้อัตราการไหลคงที่ที่ 10 ลิตร/วัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน เท่ากันทุกชุดการทดลอง โดยจะเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองที่ 2

การทดลองช่วงที่ 2 คือ การศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่ออัตราการบำบัด โดยเลือกใช้ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% เนื่องจากเป็นความเข้มข้นน้ำเสียจริงและได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง โดยศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ 6 12 48 ชั่วโมง เพื่อเทียบกับอัตราการบำบัดเดิมที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 24 ชั่วโมง

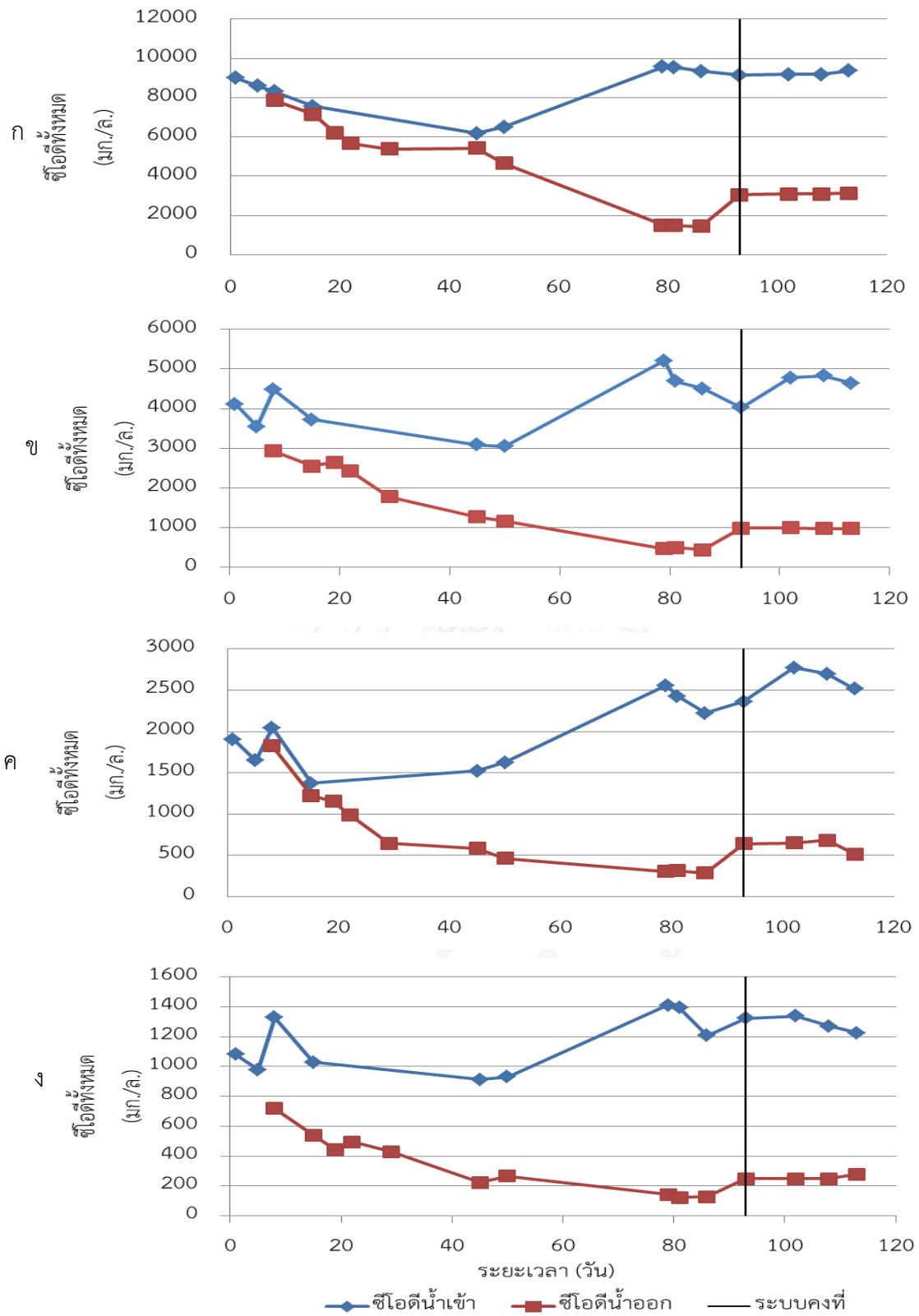
4.2.1 การเริ่มต้นเดินระบบ

การเริ่มต้นเดินระบบ (startup) ทำโดยเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จากบริษัทเสริมสุขจำกัด จำนวน 30% ของปริมาตรทั้งหมด ใส่ลงในถังปฏิกริยา ทำการเลี้ยงโดยการเติมน้ำเสียจากโรงงานไม่อัดแผ่นเรียบที่ผสมจากน้ำเสีย black water และ white water ด้วยสัดส่วน 20:80 ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีละลายเฉลี่ย 7,384 มก./ล. และเติมธาตุอาหารต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Speece, 2008) ทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.0-7.7 ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยใช้เวลา 93 วัน เพื่อให้ความเข้มข้นของซีโอดีลดลงครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นที่เริ่มต้นจึงเริ่มเดินน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง

4.2.2 ซีโอดีทั้งหมด (TCOD)

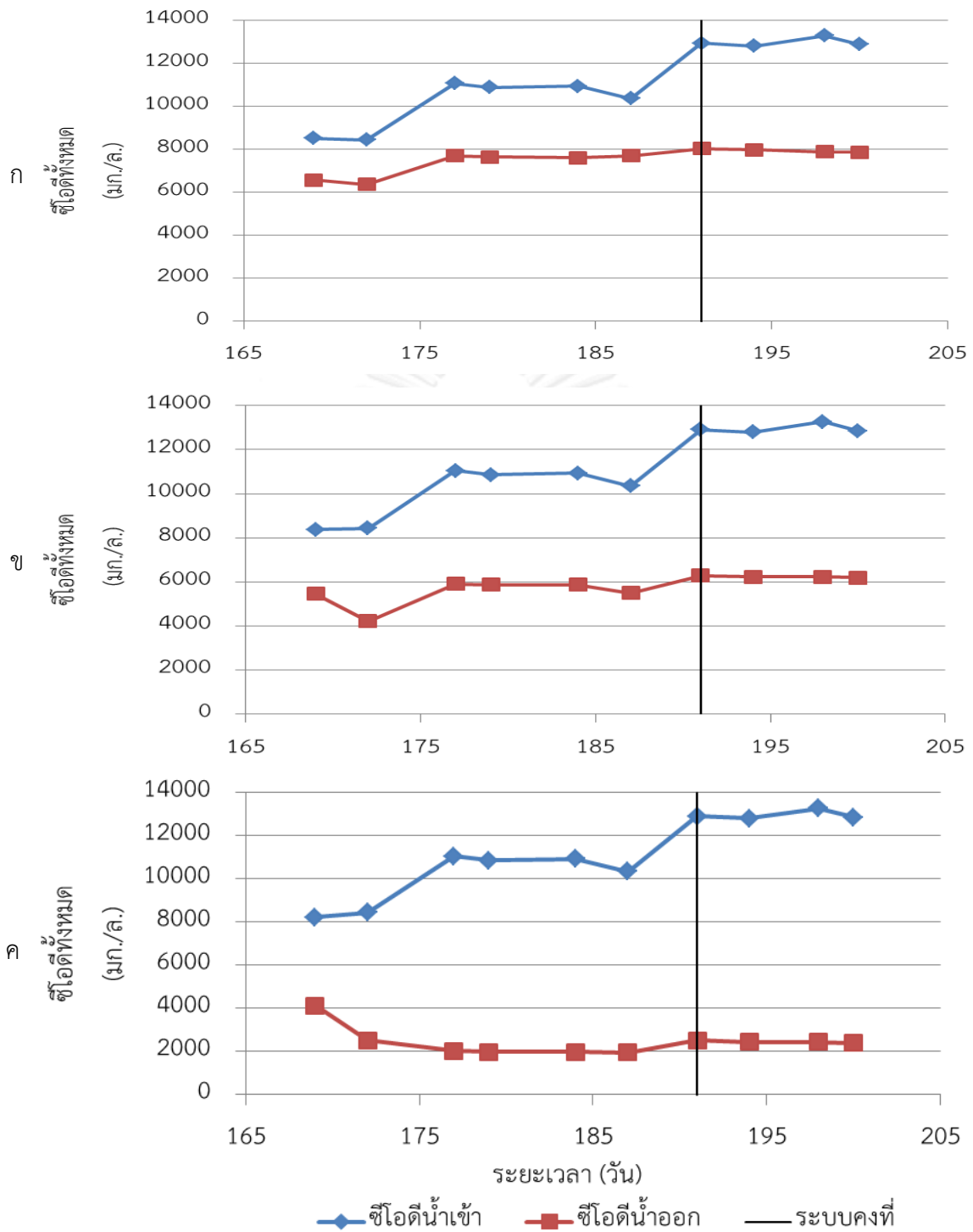
การวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมด น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ใช้บ่อน้ำเข้าสู่ระบบในการทดลองยังมีตะกอนปนมาอยู่มากจึงจำเป็นต้องทำการกรองน้ำตัวอย่างที่ผสมกันเรียบร้อยแล้วด้วยผ้าขาวบางก่อนบ่อน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อให้คล้ายกับการผ่านถังตกตะกอนโดยเมื่อพิจารณาผลการทดลองจากภาพที่ 4-1 พบว่าใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบค่อนข้างนาน ในการทดลองช่วงที่ 1 นี้จึงได้มีการหยุดบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ จากนั้นจึงเริ่มบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบและวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกพบว่ายังมีค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกที่สูงอยู่ จึงทำการหยุดบ่อน้ำเสียในวันที่ 51 ถึงวันที่ 78 เพื่อให้ความเข้มข้นซีโอดีลดลงครึ่งหนึ่งของค่าซีโอดีเริ่มต้น เดินระบบต่อโดยพิจารณาว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจากค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ และค่าซีโอดีของน้ำเสียออกที่ค่อนข้างคงที่ พบว่าใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 93 วัน ค่าซีโอดีทั้งหมดน้ำออกจึงเริ่มคงที่ โดยชุดที่มีความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดเข้าเฉลี่ย 9,211 4,571 2,587 และ 1,289 มก./ล. (เทียบเป็นอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 9.2 4.6 2.6 และ 1.3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ) เมื่อระบบคงที่จะเหลือซีโอดีทั้งหมดน้ำออกเฉลี่ยประมาณ 3,092 984 624 และ 256 มก./ล. ตามลำดับ

ในการทดลองช่วงที่ 2 เริ่มเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนวันที่ 148 โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ซีโอดีละลาย (SCOD) เทียบกับเวลา จนกระทั่งค่าซีโอดีละลายของน้ำเสียที่ออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเริ่มคงที่จึงเริ่มวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมดโดยเริ่มวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมดวันที่ 169 จากภาพที่ 4-2 จะเห็นว่าค่าซีโอดีทั้งหมดที่เข้าระบบมีค่าสูงขึ้นตามเวลาเนื่องจากใช้น้ำเสียจริงในการทดลองจึงไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นซีโอดีให้คงที่ได้ตามต้องการ โดยซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกค่อนข้างคงที่เนื่องจากระบบน้ำจะเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจากการทดลองช่วงที่ 1 จึงทำให้ซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยระบบใช้ระยะเวลาในการเดินถึงวันที่ 191 ค่าซีโอดีทั้งหมดน้ำออกเริ่มคงที่ โดยชุดที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 48 ชั่วโมง (อัตราการไหลเท่ากับ 40 20 5 ลิตร/วัน ตามลำดับ) ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าเฉลี่ย 12,960 มก.ซีโอดี/ล. เท่ากันทุกชุดการทดลอง เมื่อระบบคงที่จะเหลือซีโอดีทั้งหมดน้ำออกเฉลี่ยประมาณ 7,935 6,233 2,444 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 4- 1 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีนทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ

ก : ความเข้มข้น 100 % ข : ความเข้มข้น 50 % ค : ความเข้มข้น 25 % ง : ความเข้มข้น 12.5 %

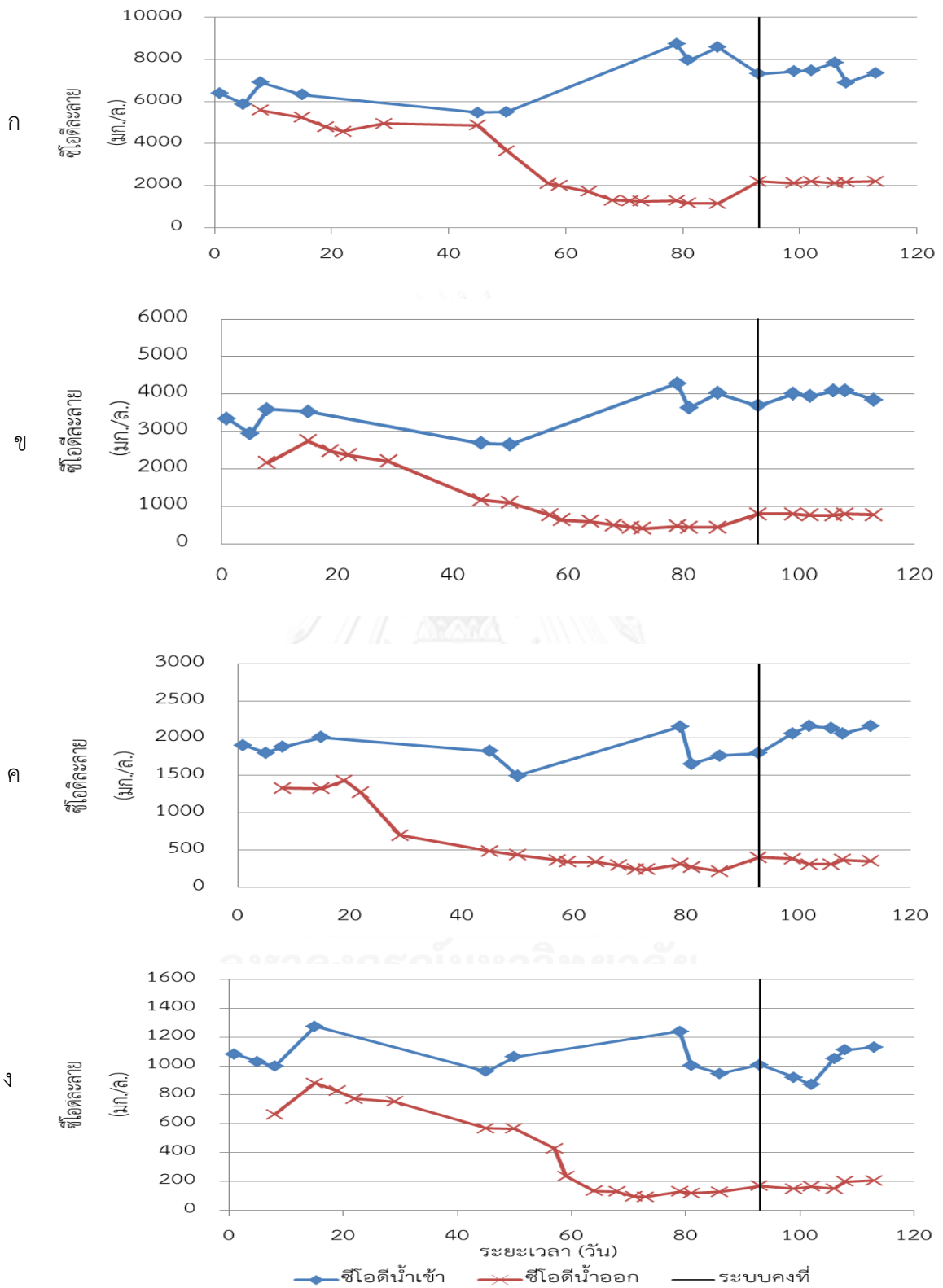


ภาพที่ 4- 2 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ
 ก : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง ข : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ค : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

4.2.3 ซีไอทีละลาย (SCOD)

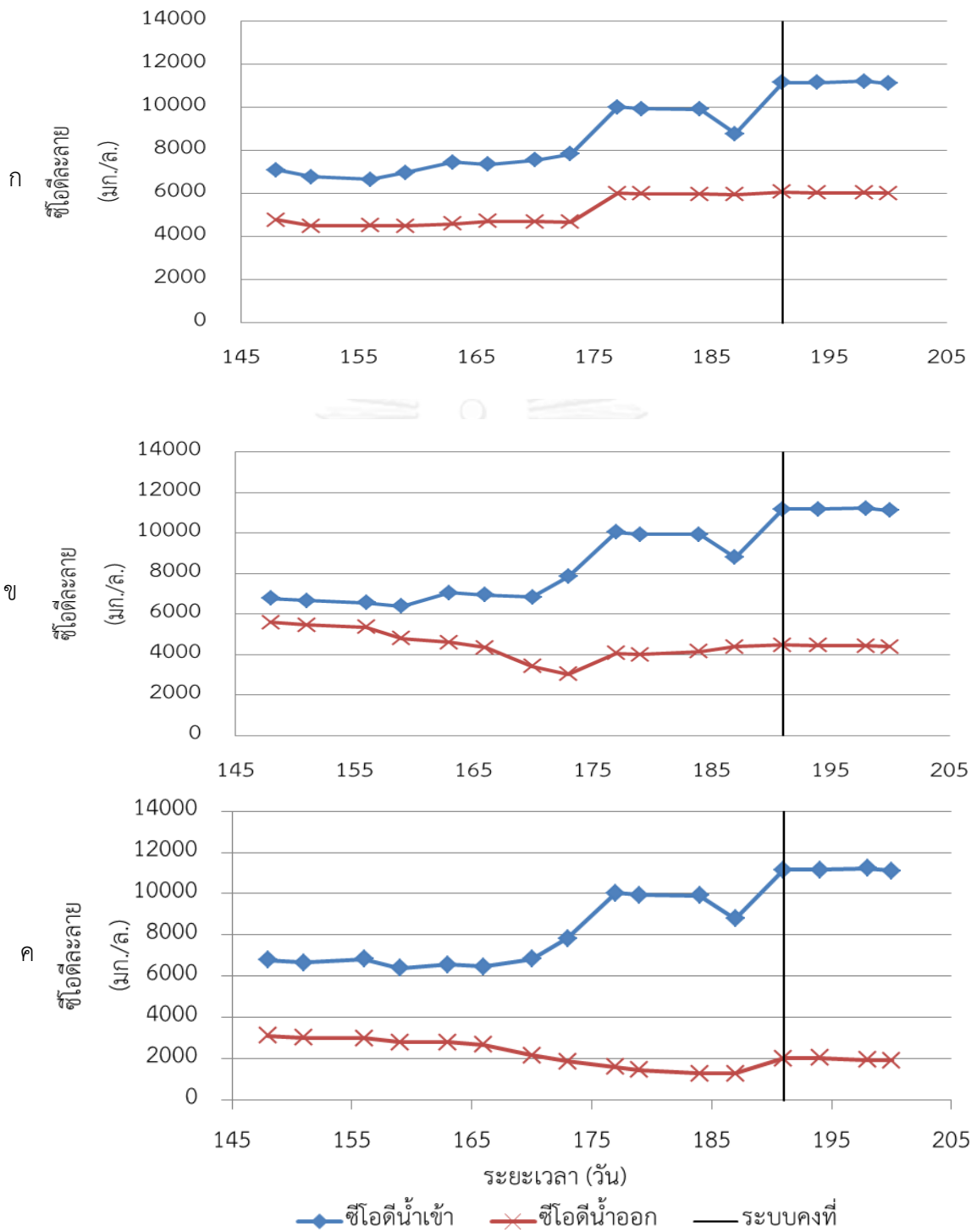
จากผลการทดลองช่วงที่ 1 น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบที่ใช้ในการทดลองยังมีตะกอนปนมาอยู่มากจึงจำเป็นต้องทำการกรองน้ำตัวอย่างที่ผสมกันเรียบร้อยแล้วด้วยผ้าขาวบางก่อนป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อให้คล้ายกับการผ่านถังตกตะกอนเมื่อพิจารณาภาพที่ 4-3 พบว่าระบบใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 93 วัน ค่าซีไอทีละลายน้ำออกจึงเริ่มคงที่ โดยชุดที่มีความเข้มข้นซีไอทีละลายเข้าเฉลี่ย 7,384 3,939 2,063 และ 1,015 มก./ล. (เทียบเป็นอัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 7.3 3.9 2.0 และ 1.0 กก.ซีไอที/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ) เมื่อระบบคงที่จะเหลือซีไอทีละลายน้ำออกเฉลี่ยประมาณ 2,165 778 353 และ 173 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีไอทีละลายของน้ำออกที่เหลืออยู่น่าจะเป็นส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ทางแอนแอโรบิกเนื่องจากเมื่อพิจารณาภาพที่ 4-12 ร่วมพบว่ามีค่าซีไอทีละลายที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางแอนแอโรบิกประมาณ 11.2%

ในการทดลองช่วงที่ 2 ทำการเริ่มเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนวันที่ 148 เดินระบบจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยพิจารณาจากค่าซีไอทีละลายของน้ำเสียที่ออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่มีค่าคงที่ ได้ทำการเก็บน้ำเสียที่ออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าซีไอทีละลาย (SCOD) จากภาพที่ 4-4 พบว่าใช้ระยะเวลาในการเดินระบบถึงวันที่ 191 ค่าซีไอทีละลายน้ำออกเริ่มคงที่ โดยชุดที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 48 ชั่วโมง (อัตราการไหลเท่ากับ 40 20 5 ลิตร/วัน ตามลำดับ) ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าเฉลี่ย 11,171 มก./ล. เท่ากันทุกชุดการทดลอง เมื่อระบบคงที่จะเหลือซีไอทีละลายน้ำออกเฉลี่ยประมาณ 6,051 4,436 1,978 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งซีไอทีละลายของน้ำออกที่เหลือน่าจะเป็นส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ทางแอนแอโรบิกซึ่งมีค่าประมาณ 7.5% แสดงดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4- 3 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ

ก : ความเข้มข้น 100 % ข : ความเข้มข้น 50 % ค : ความเข้มข้น 25 % ง : ความเข้มข้น 12.5 %



ภาพที่ 4- 4 การเปลี่ยนแปลงซีโอดีละลายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ
 ก : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง ข : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ค : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

4.2.4 พีเอช (pH)

การทดลองช่วงที่ 1 ทำการควบคุมพีเอชภายในถังปฏิกิริยาแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนให้อยู่ในช่วงระหว่าง 7.0– 7.5 เพื่อให้เหมาะสมต่อแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจน โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) โดยบางช่วงที่มีค่าพีเอชต่ำอาจเกิดจากการสะสมตัวของกรด ทั้งนี้จะพบว่าพีเอชของน้ำที่เข้าระบบมีค่าขึ้นลงเล็กน้อยเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้เตรียมน้ำเสียเพื่อป้อนเข้าระบบเฉลี่ยอาทิตย์ละ 2 ครั้ง ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับค่าสภาพต่างทั้งหมดและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยการเพิ่มค่าสภาพต่างทั้งหมดส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ส่งผลทำให้ค่าพีเอชลดลง โดยข้อมูลค่าพีเอชเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ณ สภาวะคงตัว แสดงดังตารางที่ 4-3

แนวโน้มค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆตลอดการทดลองช่วงที่ 2 เมื่อเดินระบบถึงวันที่ 191 ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชน้ำเข้าและน้ำออกนั้นอยู่ในช่วงที่เป็นกลางซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนและเมื่อพิจารณาค่าพีเอชในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว พบว่าค่าพีเอชในห้องที่ 1 จะมีค่าต่ำกว่าในห้องอื่นๆเนื่องจากเป็นห้องแรกที่ต้องรับภาระสารอินทรีย์ที่มากกว่าจึงทำให้ค่าพีเอชลดลงและจะค่อยๆมากขึ้นและมากที่สุดในห้องที่ 4 และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง เป็นชุดการทดลองที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำนานที่สุด จึงทำให้ค่าพีเอชในแต่ละห้องสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 และ 12 ชั่วโมง เนื่องจากจุลินทรีย์มีเวลาได้ย่อยสลายสารอินทรีย์นานกว่าจึงทำให้ค่าพีเอชไม่ลดลงอย่างรวดเร็วข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4- 3 ค่าพีเอชเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
100	7.1±0.4	7.0±0.3	7.1±0.3	7.3±0.2	7.4±0.1	7.5±0.1
50	6.8±0.5	7.0±0.2	7.0±0.5	7.3±0.5	7.4±0.4	7.4±0.4
25	7.0±0.5	7.0±0.2	7.0±0.2	7.1±0.2	7.1±0.1	7.1±0.1
12.5	7.1±0.4	7.0±0.3	7.0±0.3	7.1±0.3	7.2±0.3	7.2±0.3

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4- 4 ค่าพีเอชเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไรร็อกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
6	7.4±0.1	6.8±0.1	6.9±0.1	6.9±0.1	7.1±0.1	7.1±0.1
12	7.5±0.2	6.8±0.1	6.9±0.1	7.0±0.2	7.1±0.3	7.3±0.3
48	7.5±0.2	7.1±0.2	7.2±0.2	7.2±0.2	7.3±0.2	7.4±0.2

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.5 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids)

กรดไขมันระเหยง่ายเป็นตัวแปรที่บอกถึงสภาพของระบบได้ โดยปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามค่าซีโอดีละลายของระบบ ถ้าซีโอดีละลายสูงก็จะทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงตามไปด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ส่วนที่เป็นสารละลายเพื่อนำไปใช้สร้างกรดและเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนต่อไป (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งถ้ามีการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายที่มากเกินไปจะส่งผลให้ค่าพีเอชนั้นลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดในระบบมีน้อย

ในการทดลองช่วงที่ 1 เมื่อพิจารณาตารางที่ 4-5 จะเห็นว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีสัดส่วนที่น้อยลงตามการเจือจางของน้ำเสีย ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสีย (มีการเพิ่มของอัตราสารบรรทุกสารอินทรีย์ด้วย) ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในห้องต่างๆจะมีค่าเพิ่มขึ้น และยังพบว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยจะมีค่ามากที่สุดในห้องที่ 1 และมีค่าลดลงตามลำดับจนถึงห้องที่ 4 อาจเป็นเพราะว่าห้องที่ 1 เป็นห้องแรกที่รับความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงที่สุดจึงเกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยง่ายตามด้วยเช่นกัน และมีการนำกรดไขมันระเหยง่ายไปใช้ในขณะที่มีน้ำเสียไหลจากห้องที่ 1 ไปยังห้องที่ 4 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายจึงลดลงตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Gelegenis, Georgakakis, Angelidaki, & Mavris, 2007) ที่ว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในระบบบำบัดแบบไรร็อกซิเจนควรอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. ยกเว้นที่ความเข้มข้น 100% ที่มีค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงกว่า เนื่องจากเป็นเป็นความเข้มข้นที่สูงที่สุดซึ่งค่ากรดไขมันระเหยง่ายจะแปรผันตามค่าซีโอดีละลาย และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลือในแต่ละห้องสามารถบอกถึงความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้และเมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันระเหยง่ายในน้ำออกพบว่ามีย่าน้อยลงซึ่งอาจเกิดจากการที่แบคทีเรียนำกรดไขมันระเหยง่ายไปใช้ ทำให้ไม่เกิดการสะสมในระบบ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจึงน้อยลง โดยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำออกจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4-6 แสดงกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนของช่วงการทดลองที่ 2 ณ สภาวะคงตัว ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ พบว่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง มีแนวโน้มปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าและออกจากระบบที่คล้ายคลึงกัน แสดงว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำไม่มีผลต่อค่ากรดไขมันระเหยง่าย แต่น่าจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมากกว่าและเมื่อพิจารณาภายในแต่ละห้องพบว่าเมื่อมีการลดระยะเวลาเก็บกักน้ำ (มีการเพิ่มของอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เนื่องจากอัตราการไหลที่มากขึ้น) ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในห้องต่างๆจะมีค่าเพิ่มขึ้น และยังพบว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีค่ามากที่สุดในห้องที่ 1 และมีค่าลดลงตามลำดับจนถึงห้องที่ 4 อาจเป็นเพราะว่าห้องที่ 1 เป็นห้องแรกที่ได้รับอัตราการไหลสูงที่สุดจึงทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทัน จึงเกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยง่ายตามด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองจะเห็นว่ามีมีการนำกรดไขมันระเหยง่ายไปใช้ในขณะที่มีน้ำเสียไหลจากห้องที่ 1 ไปยังห้องที่ 4 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายจึงค่อยๆลดลง และค่ากรดไขมันระเหยง่ายในห้องที่ 4 และน้ำที่ออกจากระบบนั้นมีค่าต่างกันค่อนข้างมากอาจเป็นเพราะน้ำไม่ไหลผ่านจุดเก็บตัวอย่างในห้องที่ 4 ทำให้ความเข้มข้นต่างกับน้ำออกมา

ตารางที่ 4- 5 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย(%)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
100	547±47	1,175±161	875±140	716±107	772±108	428±30
50	371±83	516±51	310±130	106±30	119±41	69±30
25	181±94	125±34	79±27	25±14	29±6	25±0

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)

ตารางที่ 4- 6 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ(ชั่วโมง)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
6	703±46	3,406±76	2,738±17	2,300±39	2,106±42	566±36
12	841±38	3,331±48	2,913±10	1,413±19	1,438±10	463±39
48	863±31	2,681±87	2,431±48	2,225±10	2,256±19	419±26

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก)

4.2.6 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างทั้งหมดบอกถึงความสามารถในการรักษาพีเอชให้เหมาะสมกับจุลชีพกลุ่มเมทาโนเจน โดยจากผลการทดลองครั้งที่ 1 ดังตารางที่ 4-7 แสดงค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียที่สภาวะคงตัวพบว่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดสูงขึ้นตามความเข้มข้นน้ำเสียที่เพิ่มมากขึ้น ที่สภาพความเป็นด่างทั้งหมดสูงขึ้นเนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โดยเมื่อความเข้มข้นน้ำเสียสูงขึ้นจะต้องเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเพื่อให้ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์มากขึ้น เพื่อรองรับกรดไขมันระเหยง่ายที่สูงขึ้นตามความเข้มข้นน้ำเสียที่สูงขึ้นเพื่อควบคุมให้ระบบอยู่ในสมดุลและรักษาค่าพีเอชของระบบไม่ให้ต่ำเกินไปจนทำให้แบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และเมื่อพิจารณาสภาพด่างทั้งหมดภายในแต่ละห้องพบว่าที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% และ 50% มีค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดเพียงพอต่อการทำงานของระบบ เนื่องจากระบบไร้อากาศที่ติดตั้งควรมีสภาพความเป็นด่าง 1,500-2,000 มก./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) แต่ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 25% มีค่าสภาพความเป็นด่างอยู่ในช่วง 746-796 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต นั้นเป็นเพราะค่ากรดไขมันระเหยง่าย แสดงดังตารางที่ 4-5 ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 25% มีค่าน้อย คืออยู่ในช่วง 25-125 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก ดังนั้นค่าสภาพความเป็นด่างจึงเพียงพอต่อการเดินระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการวิเคราะห์ในช่วงการทดลองที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4-8 พบว่าค่าสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ที่เข้าระบบนั้นมีค่าที่สูงกว่าในช่วงการทดลองที่ 1 (ตารางที่ 4-7) เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่มีในระบบของช่วงการทดลองที่ 2 นั้นสูงกว่าช่วงการทดลองที่ 1 (ตารางที่ 4-6) ซึ่งค่ากรดไขมันระเหยง่ายนี้จะแปรผันตามค่าซีโอดี ซึ่งค่าซีโอดีละลายในช่วงการทดลองที่ 2 ก็มีค่าสูงกว่าในการทดลองที่ 1 เช่นเดียวกัน (ดังหัวข้อที่ 4.2.3) โดยจากค่าสภาพด่างทั้งหมดของระบบนี้เมื่อเทียบกับ (มันลิน ตัณฑุลเวศม์ & มันรัชช์ ตัณฑุลเวศม์, 2547) จะพบว่ามีค่ามากกว่า จึงจำเป็นต้องทำการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อให้มีสัดส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างทั้งหมดไม่ให้เกิน 0.4 จึงจะถือได้ว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ที่ดี และเมื่อพิจารณาค่าสภาพด่างภายในแต่ละห้องของระบบ

ตารางที่ 4- 7 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
100	2,827±865	2,970±774	2,877±720	2,110±405	2,540±527	1,977±306
50	1,552±196	1,640±466	1,640±424	1,575±302	1,306±171	1,127±128
25	646±235	767±196	796±204	746±150	758±108	735±156

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)

ตารางที่ 4- 8 ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดเฉลี่ยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
6	5,273±569	7,083±34	6,875±45	6,046±90	5,683±805	4,185±171
12	4,942±37	7,642±110	5,933±65	5,608±219	6,033±84	4,808±63
48	5,850±81	6,550±174	6,342±45	6,317±103	6,183±6	5,683±75

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)

4.2.7 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมด

ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมด สามารถบอกถึงสภาพการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนได้ โดยทั่วไปแล้วค่าสัดส่วนนี้ควรน้อยกว่า 0.4 จึงจะถือได้ว่าระบบมีกำลังบำบัดที่ดี แต่ถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากขึ้นแสดงว่าระบบกำลังเสถียรลดลง ซึ่งถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าค่าพีเอชกำลังจะลดลงอย่างรวดเร็วหรืออาจลดลงไปแล้ว (มันลิน ตันฑุลเวศม์, 2542) โดยจากตารางที่ 4-9 จะเห็นว่าค่าสัดส่วนเฉลี่ยในแต่ละห้อง ณ สภาวะที่ระบบคงตัว มีค่าไม่เกิน 0.4 นั้นหมายถึงภายในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีกำลังบำบัดเพียงพอต่อการเดินระบบ

จากตารางที่ 4-10 พบว่าค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมดของทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆมีค่าน้อยกว่า 0.4 แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 และ 12 ชั่วโมง พบว่าในห้องที่ 1 มีค่าสัดส่วนของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมดมากกว่า 0.4 เล็กน้อยแต่ยังมีค่าไม่เกิน 0.8 นั้นหมายถึงระบบยังมีบำบัดเพียงพอในการควบคุมไม่ให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนระบบล่มได้

ตารางที่ 4- 9 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
100	0.20±0.11	0.41±0.10	0.31±0.04	0.34±0.03	0.31±0.03	0.22±0.03
50	0.25±0.08	0.33±0.09	0.18±0.04	0.07±0.01	0.09±0.02	0.06±0.03
25	0.39±0.37	0.17±0.07	0.11±0.06	0.04±0.03	0.04±0.01	0.04±0.01

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)

ตารางที่ 4- 10 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยของความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเข้มข้นสภาพต่างทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	เข้าระบบ	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4	ออกจากระบบ
6	0.13±0.007	0.48±0.008	0.40±0.003	0.38±0.004	0.38±0.061	0.14±0.003
12	0.17±0.007	0.44±0.013	0.49±0.007	0.25±0.007	0.24±0.002	0.10±0.006
48	0.15±0	0.41±0.002	0.38±0.005	0.35±0.007	0.36±0.003	0.07±0.004

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติกต่อมิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)

4.2.8 ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

ในการพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดในการทดลองนี้ คือปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ผ่านการกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อให้คล้ายกับการผ่านถังตกตะกอนมาแล้ว จากนั้นจึงค่อยป้อนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 4-11 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้าระบบมีปริมาณน้อยลงตามสัดส่วนการเจือจางของน้ำเสียที่เข้าระบบและระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 40-50 % จึงสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสีย (อัตราภาระสารอินทรีย์เพิ่ม) ปริมาณตะกอนที่เข้ามาที่น้ำเสียจะเยอะขึ้นตามความเข้มข้นจึงทำให้มีปริมาณตะกอนสะสมในระบบมากขึ้นและเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดในแต่ละห้อง ดังตารางที่ 4-12 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 9.2 4.6 2.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จะเห็นว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง ประมาณ 20,000-30,000 มก./ล. เนื่องจากในตอนเริ่มต้นเดินระบบได้ทำการใส่ตะกอนจุลินทรีย์จากบริษัทเสริมสุข จำกัด จำนวน 30% ของปริมาตรทั้งหมด ลงไปจึงทำให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบสูง โดย

ปริมาณของแข็งทั้งหมดภายในห้องที่ 4 มีค่าน้อยกว่าห้องอื่นๆ อาจเป็นเพราะมีตะกอนจุลชีพลุดออกไปกับน้ำทิ้งบางส่วน จึงทำให้เหลือปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยลง

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2 ในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 4-13 น้ำเสียที่เข้าระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่สภาวะคงตัวเฉลี่ย 17,443 18,800 และ 20,066 มก./ล. ตามลำดับ โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เข้าระบบมีปริมาณเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่สูงกว่าในช่วงการทดลองที่ 1 เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบไม่ได้เก็บมาพร้อมกัน ซึ่งในการทดลองช่วงที่ 2 น้ำเสียที่ไปเก็บจากทางโรงงานมีความเข้มข้นซีไอดีที่สูงกว่าช่วงการทดลองแรก จึงน่าจะทำให้ปริมาณตะกอนที่เข้าสู่ระบบของช่วงการทดลองที่ 2 นั้นมากกว่าด้วย ส่วนในน้ำออกมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 9,695 9,281 และ 10,006 มก./ล. ตามลำดับ และระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 44-51% จึงสรุปได้ว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มมากขึ้น ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2 วัน จะทำให้มีเวลาที่ตะกอนจะสะสมตัวอยู่ในระบบนานกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ออกจากระบบจะน้อยลง ความสามารถในการกำจัดของแข็งทั้งหมดจึงเพิ่มมากขึ้นไปด้วยและเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดในแต่ละห้องพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดค่อนข้างสูง โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนส่วนหลักมาจากการเติมตะกอนจุลชีพในตอนเริ่มต้นเดินระบบ และอาจมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นบางส่วนจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดภายในแต่ละห้องแสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4- 11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	อัตราการสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ของแข็งทั้งหมดเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งทั้งหมดออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็งทั้งหมด (%)
100	9.2	6,937	3,537	49
50	4.6	3,750	1,830	51
25	2.6	2,067	1,217	41

ตารางที่ 4- 12 ค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	อัตราการสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
100	9.2	33,537±2,093	34,210±770	35,047±2,770	29,540±645
50	4.6	23,163±1,069	24,880±3,894	35,760±3,037	25,550±1,495
25	2.6	21,967±2,407	20,763±1,952	27,717±1,057	15,730±662

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ 4- 13 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ของแข็งทั้งหมดเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งทั้งหมดออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็งทั้งหมด (%)
6	17,443	9,695	44
12	18,800	9,281	51
48	20,066	10,006	50

ตารางที่ 4- 14 ค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
6	32,491±1,317	32,057±1,385	31,897±6,755	35,073±2,061
12	24,411±1,661	34,297±1,877	33,280±2,186	33,023±3,073
48	24,234±3,241	31,817±4,010	31,554±1,489	35,029±2,118

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

4.2.9 ของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids)

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งระเหยได้ในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 4-15 น้ำเสียที่เข้าระบบที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% 50% และ 25% มีปริมาณของแข็งระเหยได้ที่สภาวะคงตัวเฉลี่ย 5,127 2,963 และ 1,487 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในน้ำออกมีปริมาณของแข็งระเหยได้ที่สภาวะคงตัวเฉลี่ย 1,977 1,120 และ 717 มก./ล. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยได้ 52-62% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพโดยรวมของการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นตะกอนและที่ละลายน้ำและเมื่อเทียบค่าของแข็งระเหยได้กับค่าซีโอดีละลายพบว่าการย่อยตะกอนของสารอินทรีย์ได้ 41-51% และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งระเหยได้ภายในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 4-16 ปริมาณของแข็งระเหยได้เป็นส่วนหนึ่งของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อลดอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ ค่าของแข็งระเหยได้ในแต่ละห้องก็จะมีค่าน้อยลงตามความเข้มข้นของน้ำเสียด้วยเช่นกัน

ในการทดลองช่วงที่ 2 ปริมาณของแข็งระเหยได้ในน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 4-17 น้ำเสียที่เข้าระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% มีปริมาณของแข็งระเหยได้ที่สภาวะคงตัวเฉลี่ย 9,975 11,219 และ 10,457 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในน้ำออกมีปริมาณของแข็งระเหยได้ที่สภาวะคงตัวเฉลี่ย 3,688 5,199 และ 3,916 มก./ล. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยได้ 54-63% ซึ่งน่าจะเป็นประสิทธิภาพโดยรวมของการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นตะกอนและที่ละลายน้ำ และปริมาณของแข็งระเหยได้เฉลี่ยภายในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมด (ตารางที่ 4-14) สามารถบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบในด้านกำจัดสารอินทรีย์ นั้นหมายถึง ยิ่งมีปริมาณของแข็งระเหยได้สูงแสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี จากตารางที่ 4-18 พบว่าสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยได้เพิ่มขึ้นอาจมาจากปริมาณของจุลชีพที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบปริมาณของแข็งระเหยได้และของแข็งทั้งหมดจะเห็นว่าในห้องที่ 1 ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 และ 48 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าห้องที่ 2-4 เนื่องจากเป็นห้องแรกที่ได้รับน้ำเสียจึงได้รับสารอินทรีย์สูงสุด โดยในห้องที่ 2-4 มีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้เมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้วจะน้อยลง เนื่องจากสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีนนั้นมีความเข้มข้นน้อยลง

ตารางที่ 4- 15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งระเหยได้ ที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้น น้ำเสีย (%)	อัตราการระ สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./ วัน)	ของแข็งระเหยได้ เข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งระเหยได้ ออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัด ของแข็งระเหย ได้ (%)
100	9.2	5,127	1,977	61
50	4.6	2,963	1,120	62
25	2.6	1,487	717	52

ตารางที่ 4- 16 ค่าของแข็งระเหยได้เฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความ เข้มข้นน้ำ เสีย (%)	อัตราการระ สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม./วัน)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
100	9.2	28,920±3,703	28,637±3,016	30,980±4,489	25,897±1,592
50	4.6	21,610±488	21,580±3,938	33,307±4,673	21,930±1,401
25	2.6	19,803±3,122	17,787±3,382	23,980±2,790	12,913±908

ตารางที่ 4- 17 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งระเหยได้ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ของแข็งระเหยได้ เข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งระเหยได้ออก ระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็ง ระเหยได้ (%)
6	9,975	3,688	63
12	11,219	5,199	54
48	10,457	3,916	63

ตารางที่ 4- 18 ค่าของแข็งระเหยได้เฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
6	24,900±2,562	25,614±1,718	25,481±7,427	28,467±3,475
12	20,190±2,176	27,194±5,617	24,643±9,505	27,007±5,383
48	18,156±1,508	22,543±4,507	22,317±6,676	27,786±3,044

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มีลลิกกรัมต่อลิตร)

4.2.10 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

จากตารางที่ 4-19 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วในการทดลองช่วงที่ 1 โดยที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 9.2 4.6 และ 2.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยที่เข้าระบบ 1,497 980 และ 370 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 538 492 และ 208 มก./ล. ตามลำดับ และสามารถหาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับ 44-64% ซึ่งน่าจะมาจากกระบวนการตกตะกอน เนื่องจากระบบมีระยะเวลาเก็บกักน้ำสูงถึง 24 ชม. ซึ่งการที่ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้นั้นหมายถึงการสะสมของตะกอนในถังปฏิกริยา และช่วยให้สามารถนำไปประเมินระยะเวลาในการดูดตะกอนทิ้งออกจากระบบได้ และเมื่อพิจารณาของแข็งแขวนลอยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนจากตารางที่ 4-20 พบว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 9.2 4.6 และ 2.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณของแข็งแขวนประมาณ 10,520±1,311 ถึง 29,068±2,956 มก./ล. จะเห็นว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจะมีค่าน้อยลงตามอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เช่นกัน

ผลการทดลองช่วงที่ 2 ตารางที่ 4-21 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว โดยที่น้ำเสียที่เข้าระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยที่เข้าระบบ 10,499 12,901 และ 13,233 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 5,250 5,489 และ 5,216 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้เท่ากับ 50-61% และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-22 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยภายในระบบนั้นมีค่าใกล้เคียงอยู่ในช่วงค่าการออกแบบระบบ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ที่ว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถรับของแข็งแขวนลอยเข้าระบบได้ในช่วง 5,000-20,000 มก./ล. ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนนั้นยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีอยู่

ตารางที่ 4- 19 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	อัตราการสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ของแข็งแขวนลอยเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็งแขวนลอย (%)
100	9.2	1,497	538	64
50	4.6	980	492	50
25	2.6	370	208	44

ตารางที่ 4- 20 ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	อัตราการสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
100	9.2	25,687±277	27,837±312	28,952±3,788	23,388±1,369
50	4.6	15,988±749	20,933±2,655	29,068±2,956	20,547±1,247
25	2.6	15,512±2,260	14,737±1,794	21,088±1,345	10,520±1,311

ตารางที่ 4- 21 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ของแข็งแขวนลอยเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็งแขวนลอย (%)
6	10,499	5,250	50
12	12,901	5,489	57
48	13,233	5,216	61

ตารางที่ 4- 22 ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
6	28,623±1,061	28,269±1,989	27,787±7,565	31,393±1,529
12	19,839±1,849	30,454±1,638	27,644±2,440	27,926±3,087
48	20,190±2,991	27,820±4,154	26,737±1,882	29,849±2,298

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มีลลิกกรัมต่อลิตร)

4.2.11 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids)

จากตารางที่ 4-23 แสดงค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว โดยที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 9.2 4.6 และ 2.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยที่เข้าระบบ 5,440 2,770 และ 1,697 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ย 2,998 1,338 และ 1,008 มก./ล. ตามลำดับ และสามารถหาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้เท่ากับ 41-52% ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีอาจเป็นเพราะมีสารอนินทรีย์ละลายน้ำปนอยู่ในน้ำเสียค่อนข้างมากและเมื่อพิจารณาค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจากตารางที่ 4-24 พบว่าที่ทุกอัตราการระบรอินทรีย์ มีค่าเฉลี่ยของแข็งละลายน้ำทั้งหมดประมาณ 5,003±396 ถึง 7,850±1,964 มก./ล. จะเห็นว่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่ามากที่สุดในห้องที่ 1 และค่อยๆลดลงเล็กน้อย และมีค่าน้อยที่สุดในห้องที่ 4 นั้นหมายถึงระบบมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองช่วงที่ 2 จากตารางที่ 4-25 แสดงค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว โดยที่น้ำเสียที่เข้าระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยที่เข้าระบบ 6,944 5,899 และ 6,834 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำออกจากระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ย 4,445 3,793 และ 4,790 มก./ล. ตามลำดับ และสามารถหาประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้เท่ากับ 30-36% ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีอาจเป็นเพราะมีสารอนินทรีย์ละลายน้ำปนอยู่ในน้ำเสียค่อนข้างมากและเมื่อพิจารณาของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในแต่ละห้อง คิดจากการหักปริมาณของแข็งแขวนลอย (ตารางที่ 4-22) ออกจากปริมาณของแข็งทั้งหมด (ตารางที่ 4-14) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-26 จะเห็นว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยของแข็งละลายน้ำทั้งหมดไม่ต่างกันมากนัก และจากการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจากปริมาณของแข็งทั้งหมดจะเห็นว่าปริมาณเพียง 10-20% จากปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่านั้น แสดงว่ามีสารอินทรีย์อยู่ในรูปสารละลายค่อนข้างน้อย ซึ่งสารอินทรีย์ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทน จึงอาจเป็นผลทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบนี้ได้

ตารางที่ 4- 23 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	อัตราการระสารถินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (%)
100	9.2	5,440	2,998	45
50	4.6	2,770	1,338	52
25	2.6	1,697	1,008	41

ตารางที่ 4- 24 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ความเข้มข้นน้ำเสีย (%)	อัตราการระสารถินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
100	9.2	7,850±1,964	6,373±738	6,095±2,091	6,152±893
50	4.6	7,175±582	3,947±1,560	6,692±1,264	5,003±396
25	2.6	6,455±1,128	6,027±701	6,628±549	5,210±927

ตารางที่ 4- 25 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนในการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเข้าระบบ (มก./ล.)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดออกระบบ (มก./ล.)	การกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (%)
6	6,944	4,445	36
12	5,899	3,793	36
48	6,834	4,790	30

ตารางที่ 4- 26 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละห้องของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ห้อง 1	ห้อง 2	ห้อง 3	ห้อง 4
6	3,869±478	3,789±1,190	4,110±1,198	3,680±1,222
12	4,573±1,084	3,843±609	5,636±761	5,097±308
48	4,044±361	3,997±943	4,817±880	5,181±662

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

4.3 การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.3.1 ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)

ในการเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงใช้เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ (Gas Counter) แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถวัดปริมาตรก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ อาจเป็นเพราะถึงปฏิกรณ์นั้นมีรอยรั่วจึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจริงได้ จึงประมาณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการคำนวณซีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบ แสดงดังตารางที่ 4-27 จะเห็นว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี โดยหาค่าก๊าซมีเทนเทียบจากทฤษฎีได้เท่ากับ 0.3886 ลิตร/กรัมซีโอดี (Speece, 2008) และพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น

จากผลการทดลองช่วงที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณซีโอดีที่ระบบสามารถบำบัดได้ โดยหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการคำนวณซีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบ แสดงดังตารางที่ 4-28 จะเห็นว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หาค่าก๊าซมีเทนเทียบจากทฤษฎีได้เท่ากับ 0.3886 ลิตร/กรัมซีโอดี (Speece, 2008) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักน้ำที่น้อยลงหรืออัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการรับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4- 27 ปริมาณก๊าซมีเทนจากซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ซีโอดีละลาย (กรัม/วัน)		ซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน)	ก๊าซที่ได้ (ลิตร/วัน)
	เข้า	ออก		
7.3	73.84	21.65	52.19	20.28
3.9	39.39	7.78	31.61	12.28
2.0	20.63	3.53	17.10	6.65
1.0	10.15	1.73	8.42	3.27

หมายเหตุ : การคำนวณค่าคงที่ก๊าซมีเทน ดังแสดงในภาคผนวก ข
ที่มา : (Speece, 2008)

ตารางที่ 4- 28 ปริมาณก๊าซมีเทนจากซีโอดีที่ถูกกำจัดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	ซีโอดีละลาย (กรัม/วัน)		ซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน)	ก๊าซที่ได้ (ลิตร/วัน)
	เข้า	ออก		
6	446.84	242.04	204.80	79.59
12	223.42	88.72	134.70	52.34
48	55.86	9.89	45.97	17.86

หมายเหตุ : การคำนวณค่าคงที่ก๊าซมีเทน ดังแสดงในภาคผนวก ข
ที่มา : (Speece, 2008)

4.3.2 ร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ (%CH₄ %CO₂)

การวิเคราะห์ร้อยละของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อดูคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งสำหรับระบบไร้ออกซิเจนอัตราการสร้างมีเทนเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถใช้บอกสมรรถนะการทำงานของระบบได้ จากตารางที่ 4-29 แสดงร้อยละของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละห้องที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100 % (คิดเป็นอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 7.3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน) ณ สภาวะคงตัว พบว่าในแต่ละห้องมีร้อยละมีเทนใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 12.28 – 24.46% นั้นหมายถึงภายในถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 ห้อง ไม่ได้มีการแบ่งการเกิดปฏิกิริยาสร้างกรดแล้วตามด้วยปฏิกิริยาการสร้างมีเทนและเนื่องจากการเตรียมน้ำเสียอาทิตย์ละ 2 ครั้ง จึงคิดว่ากระบวนการสร้างกรดอาจเกิดขึ้นภายในถังพักน้ำเสียที่เตรียมป้อนเข้าสู่ระบบ ทำให้ร้อยละของมีเทนในแต่ละห้องจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และเนื่องจากการเก็บตัวอย่าง ใช้เข็มฉีดยาดูดอากาศขึ้นมาจากถัง

ปฏิกิริยาของไนแต่ละห้อง ค่าร้อยละของมีเทนและร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อรวมกันจึงอยู่ในช่วงประมาณ 20-30% เท่านั้น โดยอาจเป็นเพราะมีอากาศส่วนอื่นเข้าไปแทนที่ และสามารถหาผลของสัดส่วนร้อยละมีเทนต่อก๊าซทั้งหมดได้ประมาณ 53.22-77.24% ซึ่งใกล้เคียงกับทฤษฎีที่ว่า ส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยส่วนใหญ่จะมีสัดส่วนเท่ากับ 60 : 40 (C.P. Leslie Grady, Daigger, & Lim, 1999)

จากผลการวิเคราะห์ร้อยละของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4-30 ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง ในห้องที่ 1 3 และ 4 และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง ในห้องที่ 4 ไม่สามารถวัดค่าร้อยละของมีเทนได้ อาจเป็นเพราะในการเก็บตัวอย่างใช้เข็มฉีดยาดูดอากาศขึ้นมาจากถังปฏิกิริยาของไนแต่ละห้อง จึงทำให้ในการเก็บตัวอย่างขึ้นมาแต่ละครั้งมีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างมาก และค่าร้อยละของมีเทนและร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ เมื่อรวมกันจึงอยู่ในช่วงประมาณ 20-35% อาจเป็นเพราะมีอากาศส่วนอื่นเข้าไปแทนที่ และเมื่อพิจารณาสัดส่วนร้อยละของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 24.07-70.89% ซึ่งใกล้เคียงกับทฤษฎีของ (C.P. Leslie Grady et al., 1999) ที่ว่าส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยส่วนใหญ่จะมีสัดส่วนเท่ากับ 60 : 40

เมื่อพิจารณาผลปริมาณก๊าซทั้งหมด (คิดจากซีไอดีที่ถูกกำจัด) ดังตารางที่ 4-27 และ 4-28 จะเห็นว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ค่อนข้างสูง โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ ซึ่งปริมาณก๊าซที่ได้ในงานวิจัยนี้ มีศักยภาพในการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากมีสัดส่วนของมีเทนสูงถึงประมาณ 77% ดังตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4- 29 ร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 7.3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	$\frac{CH_4}{CH_4 + CO_2}$ (%)
ห้องที่ 1	15.62	13.73	53.22
ห้องที่ 2	24.46	10.57	69.83
ห้องที่ 3	12.28	5.85	67.73
ห้องที่ 4	14.80	4.36	77.24

ตารางที่ 4- 30 ร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ
ณ สภาวะคงตัว

ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)	จุดเก็บตัวอย่าง	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	$\frac{CH_4}{CH_4 + CO_2}$ (%)
6	ห้องที่ 1	N/A	10.40	N/A
	ห้องที่ 2	6.51	13.00	33.37
	ห้องที่ 3	N/A	2.96	N/A
	ห้องที่ 4	N/A	2.54	N/A
12	ห้องที่ 1	8.42	26.56	24.07
	ห้องที่ 2	18.04	14.78	54.97
	ห้องที่ 3	16.54	9.81	62.77
	ห้องที่ 4	24.94	10.24	70.89
48	ห้องที่ 1	10.68	8.88	54.60
	ห้องที่ 2	6.63	5.70	53.77
	ห้องที่ 3	8.31	7.22	53.51
	ห้องที่ 4	N/A	6.29	N/A

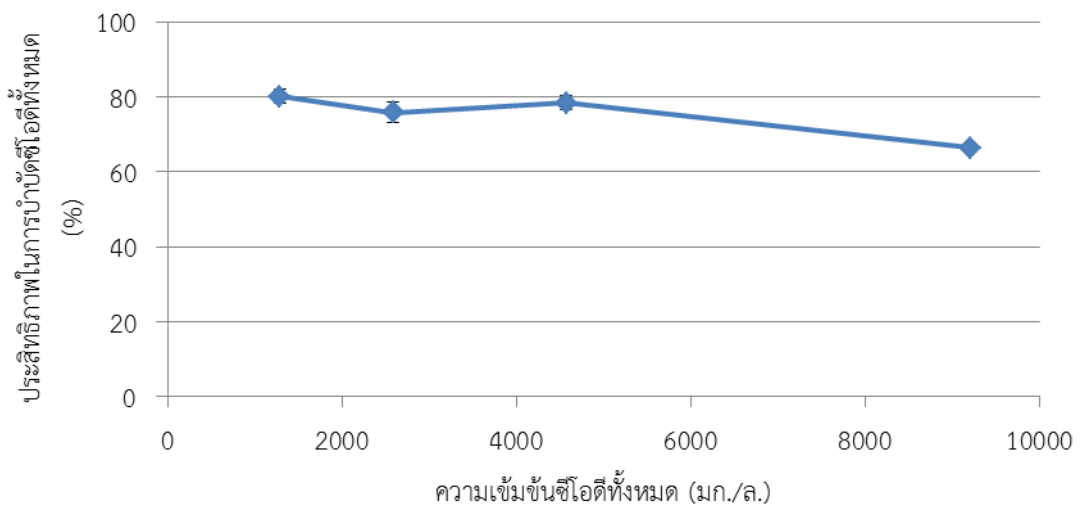
หมายเหตุ : N/A หาค่าไม่ได้

4.4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

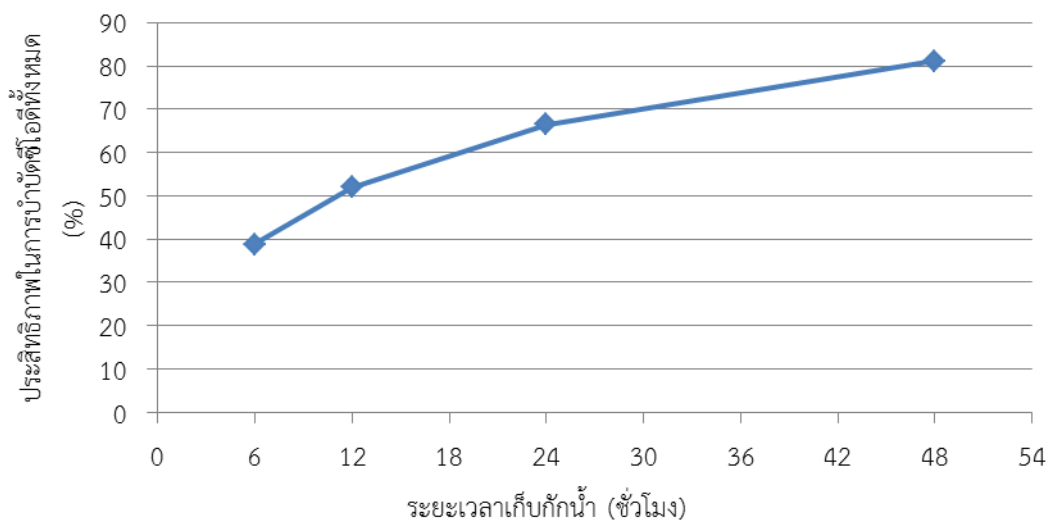
4.4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด เป็นการประเมินประสิทธิภาพซีโอดีของน้ำเสียทั้ง 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ในรูปของแข็งและส่วนที่อยู่ในรูปสารละลายจากผลการทดลองช่วงที่ 1 พบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถบำบัดซีโอดีทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้น 1,289 - 9,211 มก./ล. โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่ความเข้มข้นน้ำเสียดำและลดลงเล็กน้อยตามความเข้มข้นน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสารอินทรีย์เข้ามาในปริมาณที่มากขึ้น ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน จึงทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่หมด จึงทำให้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำลง โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80 76 78 และ 66% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4-5

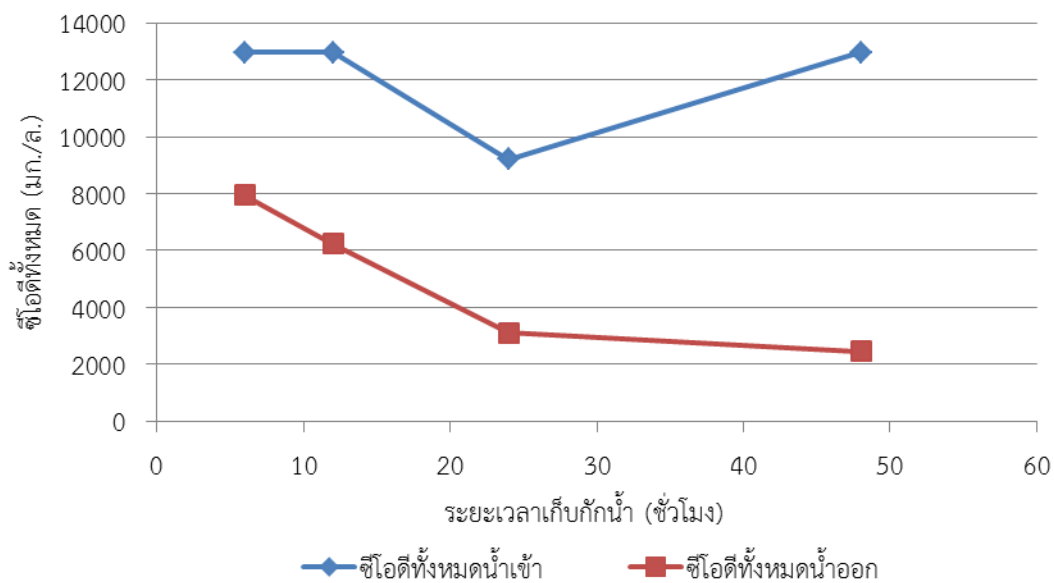
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ในการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4-6 ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง เท่านั้น ส่วนผลการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง นำมาจากการทดลองช่วงที่ 1 (ภาพที่ 4-5) จากการวิเคราะห์พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 9,211- 12,960 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ย 39 52 66 และ 81% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาเก็บกักน้ำส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีนั้นสูงขึ้นไปด้วย



ภาพที่ 4- 5 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว



ภาพที่ 4- 6 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว



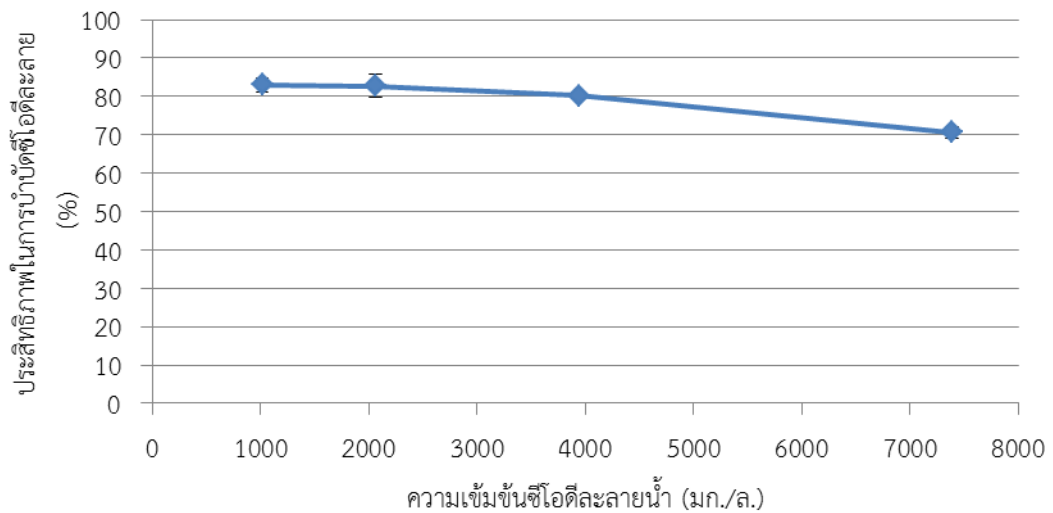
ภาพที่ 4- 7 ซีโอดีทั้งหมดที่เข้าและออกจากระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

4.4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลาย

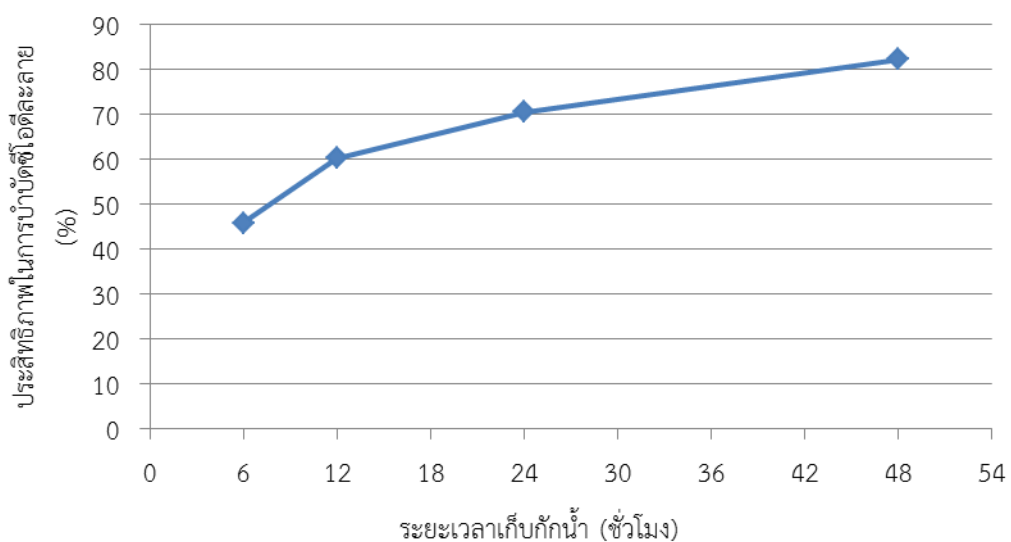
ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลาย คือการประเมินประสิทธิภาพซีโอดีของน้ำเสียเพียงส่วนเดียว คือ ส่วนที่อยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งซีโอดีที่อยู่ในรูปของสารละลายนี้ จะเป็นส่วนหลักที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปเป็นก๊าซมีเทน จากผลการทดลองพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถบำบัดซีโอดีละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้น 1,015 – 7,384 มก./ล.โดยมีประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้นต่ำและลดลงเล็กน้อยตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 83 82 80 และ 71% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4-8

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ในการทดลองช่วงที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4-9 ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 และ 48 ชั่วโมง เท่านั้น ส่วนผลการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง นำมาจากการทดลองช่วงที่ 1 (ภาพที่ 4-8) จากผลการทดลองพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถบำบัดซีโอดีละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้น 7,384-11,171 มก./ล. ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายเฉลี่ย 46 60 71 และ 82% ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำมาก และลดลงตามระยะเวลาเก็บกักน้ำที่น้อยลง

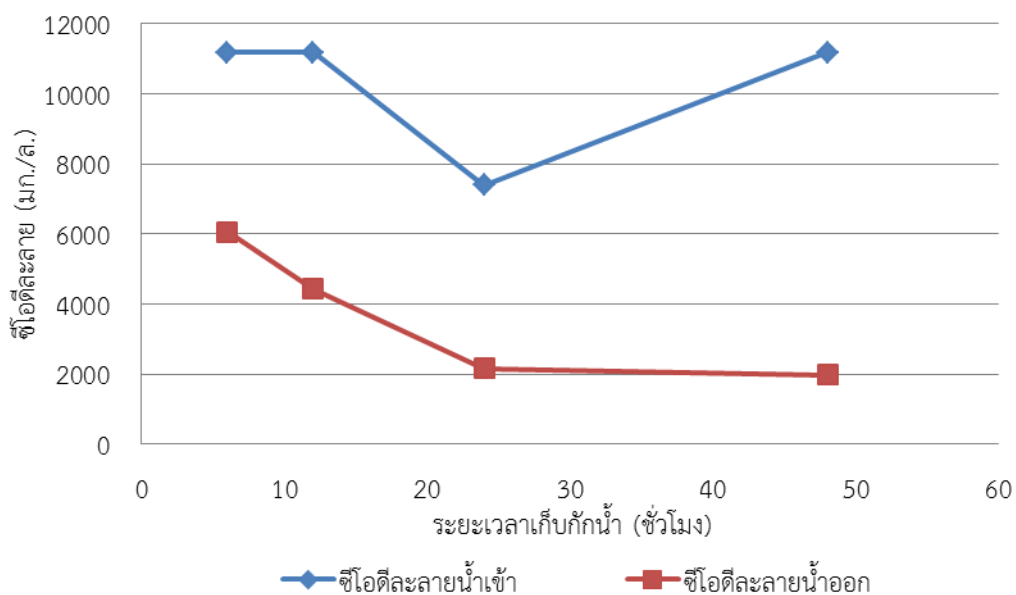
เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ จะเห็นว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า 24 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาซีโอดีที่ออกจากระบบ ดังภาพที่ 4-7 และ 4-10 พบว่ามีค่าซีโอดีที่ออกจากระบบใกล้เคียงกันคือประมาณ 2,000 มก./ล. เพราะเกิดจากความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบนั้นต่างกัน ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง น่าจะเพียงพอต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ



ภาพที่ 4- 8 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ ณ สภาวะคงตัว



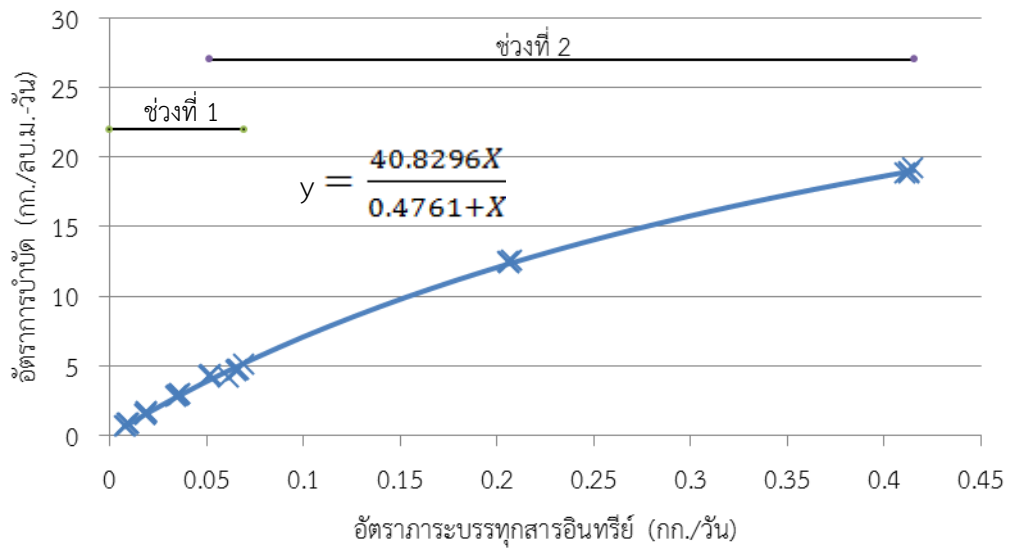
ภาพที่ 4- 9 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีละลายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว



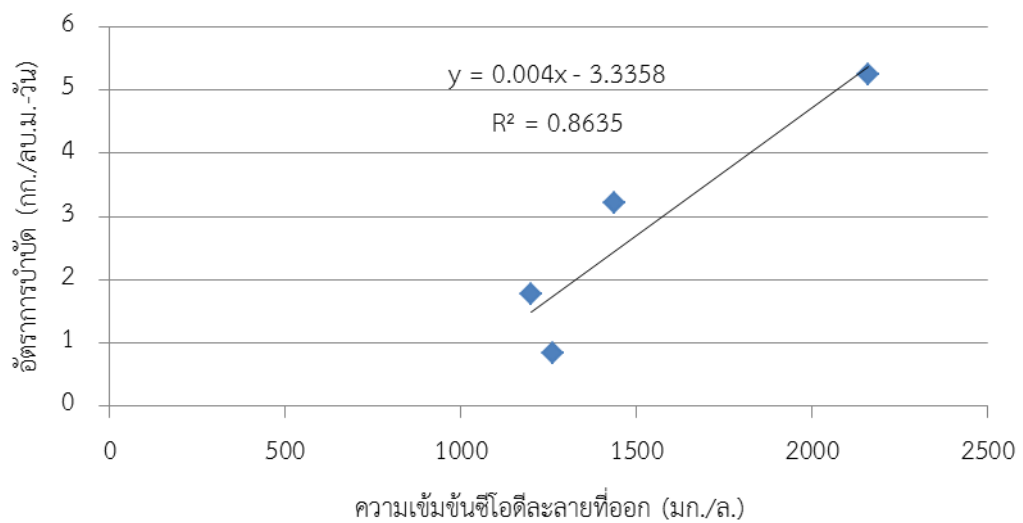
ภาพที่ 4- 10 ซีโอดีละลายที่เข้าและออกจากระบบที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ณ สภาวะคงตัว

4.5 อัตราการบำบัดซีโอดี

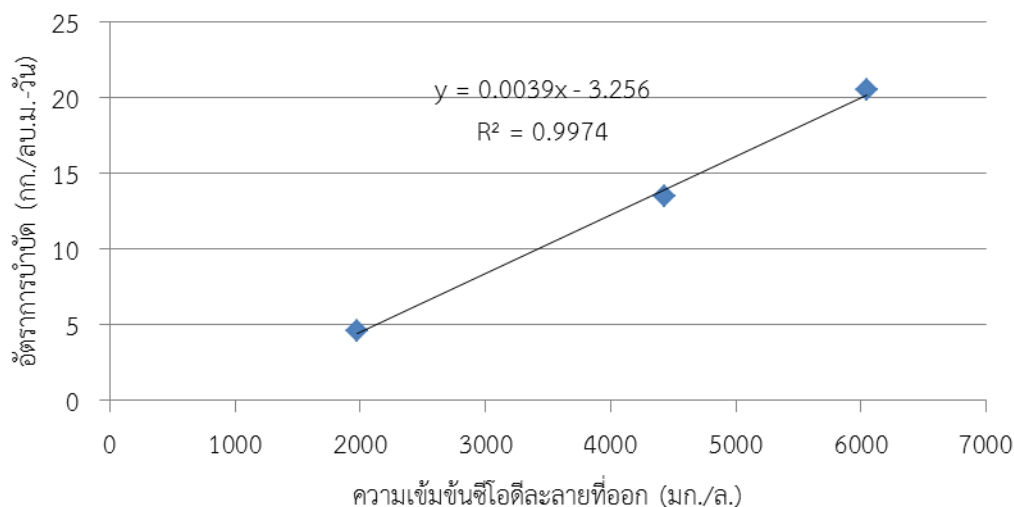
การศึกษาอัตราการบำบัดซีโอดีที่ย่อยสลายได้ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียและระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ในการทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นต่ออัตราการบำบัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.0077-0.0696 กก./วัน และการทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่ออัตราการบำบัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.0514-0.4155 กก./วัน ถึงแม้ว่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของทั้ง 2 ช่วง จะต่างกัน แต่อัตราการบำบัดมีแนวโน้มเป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ อัตราการบำบัดจะเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ ดังภาพที่ 4-11 โดยมีค่าอัตราการบำบัดสูงสุด 40.83 กก./ลบ.ม.-วัน และค่าคงที่ 0.48 กก./วัน และจากภาพที่ 4-12 สามารถหาค่าซีโอดีส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ทางแอนแอโรบิกของช่วงการทดลองที่ 1 ได้ประมาณ 11.2 % และจากการทดลองช่วงที่ 2 ซีโอดีส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ทางแอนแอโรบิกมีประมาณ 7.5 % ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4- 11 อัตราการบำบัดต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ที่เข้าระบบตลอดการทดลอง (การทดลองช่วงที่ 1 และ 2)



ภาพที่ 4- 12 อัตราการบำบัดต่อความเข้มข้นซีโอดีละลายที่ออกจากระบบที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ (การทดลองช่วงที่ 1)

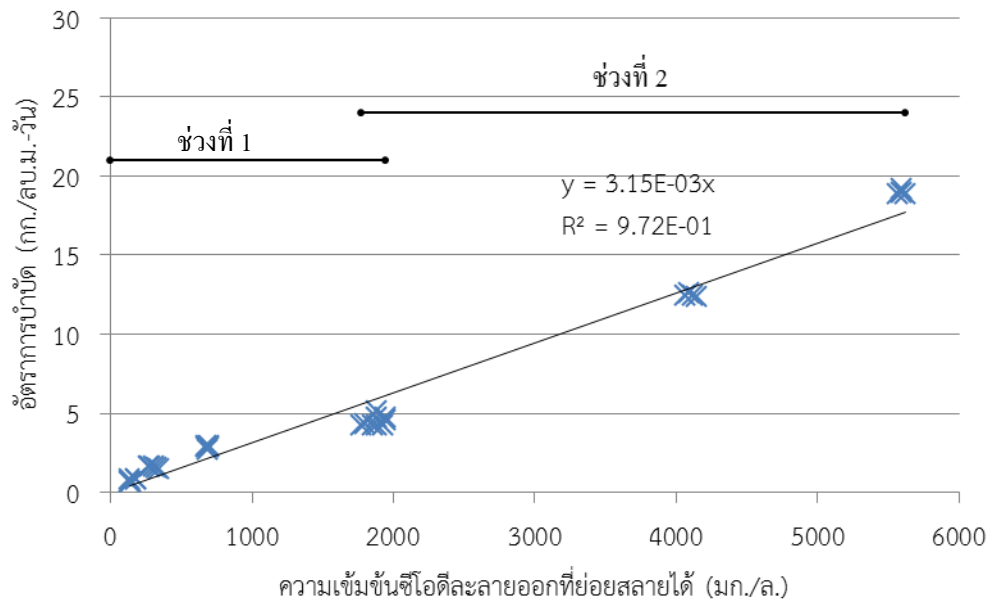


ภาพที่ 4- 13 อัตราการบำบัดต่อความเข้มข้นซีโอดีละลายที่ออกจากระบบ
ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ (การทดลองครั้งที่ 2)

4.6 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการบำบัดที่ซีโอดีละลายเริ่มต้น 871-7,841 มก./ล.พบว่ามีความซีโอดีออกที่น้อยสลายได้เท่ากับ 132 – 1,948 มก./ล. และผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆในช่วงการทดลองที่ 2 อัตราการบำบัดที่ซีโอดีละลายเฉลี่ย 11,171 มก./ล. พบว่ามีความซีโอดีออกที่น้อยสลายได้เท่ากับ 1,776-5,624 มก./ล. โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับซีโอดีออกที่น้อยสลายได้ โดยสามารถประมาณค่าคงที่ได้เท่ากับ 3.15 ต่อวัน แสดงดังภาพที่ 4-14

ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้ในงานวิจัยนี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าจากน้ำเสียโรงงานกระดาษ น้ำยางดำ และน้ำเสียที่มีสีขุ่นในอุตสาหกรรมลิกนิน ดังตารางที่ 4-31 ซึ่งเป็นประเภทน้ำเสียที่มีซับซ้อนคล้ายๆกัน พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นค่อนข้างแตกต่างกับงานวิจัยของ (Ko et al., 2009) และ (B. Wang, Kong, & Ma, 2007) ที่บำบัดน้ำยางดำ และน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ ซึ่งมีค่า k_1 เท่ากับ 79.20 และ 70.56 ต่อวัน แต่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Belmonte et al., 2006) มีค่า k_1 เท่ากับ 3.14 ต่อวัน ที่บำบัด Abietic acid (AbA) ซึ่งเป็นกรดที่ใช้ในโรงงานฟอกกระดาษ อีกทั้งยังมีความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าค่าจลนพลศาสตร์นั้นมีค่าที่แตกต่างกัน การหาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญ เนื่องจากไม่สามารถใช้ค่าจลนพลศาสตร์ทั่วไปมาออกแบบระบบจริงในอุตสาหกรรมได้



ภาพที่ 4- 14 อัตราการบำบัดต่อความเข้มข้นซีโอดีออกที่ย่อยสลายได้ตลอดการทดลอง
(การทดลองช่วงที่ 1 และ 2)

ตารางที่ 4- 31 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์กับงานวิจัยต่างๆ

ชนิดของน้ำเสีย	ความเข้มข้น น้ำเสียเริ่มต้น (มก./ล.)	ชนิดที่บำบัด	K_1 (1/วัน)	แหล่งที่มา
-น้ำเสียโรงงานไม้ อัดแผ่นเรียบ	871-11,171	ซีโอดี	3.15	งานวิจัยนี้
-น้ำเสียโรงงาน กระดาษ	8,815	Abietic acid (AbA)	3.14	(Belmonte et al., 2006)
-น้ำเสียโรงงาน กระดาษ	2,075	ซีโอดี	9.50	(Ghaly, Jamil, El- Seesy, Souaya, & Nasr, 2011)
-น้ำเสียโรงงาน กระดาษ	1,231	NaBH ₄	14.40	(Ghoreishi & Haghighi, 2007)
-น้ำยาดำ	-	ซีโอดี	79.20	(Ko et al., 2009)
-น้ำเสียที่มีสีย้อมใน อุตสาหกรรมลิกันิน	150	สี	1.58	(Suteu, Malutan, & Bilba, 2010)
-น้ำเสียโรงงาน กระดาษ	1,357	ซีโอดี	70.56	(B. Wang et al., 2007)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

น้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบมาจาก White water และ Black water ผสมกันในอัตราส่วน 80:20 ในน้ำเสียมีตะกอนจำพวกเยื่อไม้ปนมาก่อนข้างมากจึงจำเป็นต้องกรองด้วยผ้าขาวบางก่อนเพื่อให้คล้ายกับการผ่านถึงตกตะกอนมาแล้ว โดยน้ำเสียทั้งสองชนิดนี้มีค่าพีเอชอยู่ที่ 3.5 - 3.8 จึงจำเป็นต้องปรับพีเอชด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตประมาณ 15 กรัม/ลิตรของน้ำเสีย ให้อยู่ในช่วง 7.0 - 7.5 เพื่อความเหมาะสมต่อจุลชีพในการเดินระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน

5.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ผลการศึกษาพบว่าระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้นซีโอดีเข้าเฉลี่ย 7,384 3,939 2,063 และ 1,015 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีละลายเท่ากับ 71 80 82 และ 83 % ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นซีโอดีละลาย 11,171 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีละลายเท่ากับ 46 60 71 และ 82% ตามลำดับ

ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถบำบัดน้ำเสียความเข้มข้น 100% ทุกระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมื่อเปลี่ยนอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ที่เข้าสู่ระบบพบว่า อัตราการบำบัดซีโอดียังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยดูจากแนวโน้มอัตราการบำบัดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ และสามารถหาซีโอดีละลายส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ทางแอนแอโรบิก 7.5-11.2%

โดยผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 24 และ 48 ชั่วโมง มีซีโอดีละลายน้ำออกจากระบบที่ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบได้เหมาะสมที่สุด โดยมีค่าสารเคมีในการปรับพีเอชประมาณ 4,500 บาท/ลบ.ม.ของน้ำเสีย

5.1.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาเก็บกักน้ำของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีดีเอส

ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นน้ำเสียที่ความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมด 1,289-9,211 มก./ล. พบว่ามีของแข็งละลายน้ำที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 1,697-5,440 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้เท่ากับ 41-52 % ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอาจเป็นเพราะมีสารอินทรีย์ละลายน้ำปนอยู่ในน้ำเสียค่อนข้างมาก และจากผลของการเปลี่ยนระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 6 12 24 และ 48

ชั่วโมง พบว่ามีของแข็งละลายน้ำที่เข้าระบบสูงถึง 6,944 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ประมาณ 30-36 % จะเห็นได้ว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานขึ้นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำ แสดงว่าน่าจะมีสารอินทรีย์อยู่ในรูปสารละลายน้อยกว่าสารอินทรีย์

5.1.3 การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ

การบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ (คิดจากซีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบ) ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% มีความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 7,384 มก./ล. คิดเป็นอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 7.3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง อัตราการไหล 10 ลิตร/วัน ประมาณ 2.03 ลิตรของก๊าซ/ลิตรของน้ำเสีย โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ ซึ่งปริมาณก๊าซที่ได้ในงานวิจัยนี้มีศักยภาพในการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากมีสัดส่วนของมีเทนสูงถึงประมาณ 77 %

5.1.4 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

ผลของการเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสียที่ค่าซีโอดีละลายเริ่มต้น 871-7,841 มก./ล. และระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6-48 ชม. พบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (1^{st} -Order Reaction) โดยอัตราการบำบัดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับซีโอดีออกที่ย่อยสลายได้ โดยมีค่าคงที่ของอัตราการบำบัด (k_1) เท่ากับ 3.15 ต่อวัน ซึ่งสามารถนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้นี้ไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดจริงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การบำบัดด้วยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนเป็นเพียงการบำบัดขั้นแรก ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ออกจายังไม่ผ่านมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องมีระบบเติมอากาศมาบำบัดต่อเพื่อให้ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง
2. ปัญหาของน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดส่วนหนึ่งคือเรื่องของ สี ซึ่งกระบวนการทางชีวภาพสามารถกำจัดสีได้ค่อนข้างน้อยจึงควรหาวิธีบำบัดต่อด้วยกระบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพขั้นสูง

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

- American Water Works Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21 ed.).
- Barber, W. P., & Stuckey, D. C. (1999). The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. *Water Research*, 33(7), 1559-1578.
- Belmonte, M., Xavier, C., Decap, J., Martinez, M., Sierra-Alvarez, R., & Vidal, G. (2006). Improved aerobic biodegradation of abietic acid in ECF bleached kraft mill effluent due to biomass adaptation. *Journal of Hazardous Materials*, 135 (1-3), 256-263.
- Bernard, M. (1977). *Total Abatement of Pollution in Fiberboard Industry*. Paper presented at the Alafata Conference Salvador De Bahia, Brazil.
- C.P. Leslie Grady, J., Daigger, G. T., & Lim, C. H. (1999). *Biological wastewater treatment* (2 ed.). New York: Marcel Dekker.
- Chaparro, T. R., & Pires, E. C. (2011). Anaerobic Treatment of Cellulose Bleach Plant Wastewater : Chlorinated Organics and Genotoxicity Removal. *Chemical Engineering*, 28(4), 625-638.
- Elefsiniotis, P., & Oldham, W. K. (1994). Substrate Degradation Patterns in Acid-Phase Anaerobic Digestion of Municipal Primary Sludge. *Environmental Technology*, 15, 741-751.
- Faisal, M., & Unno, H. (2001). Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 9(1), 25-31.
- Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., & Mavris, V. (2007). Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. *Renewable Energy*, 32(13), 2147-2160.
- Ghaly, M. Y., Jamil, T. S., El-Seesy, I. E., Souaya, E. R., & Nasr, R. A. (2011). Treatment of highly polluted paper mill wastewater by solar photocatalytic oxidation with synthesized nano TiO₂. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 446-454.
- Ghoreishi, S. M., & Haghghi, M. R. (2007). Chromophores removal in pulp and paper mill effluent via hydrogenation-biological batch reactors. *Chemical Engineering Journal*, 127(1-3), 59-70.
- Gran, G. (1970). Waste water from fiberboard mills. In B. Goransson (Ed.), *Industrial Waste Water* (pp. 299-321). Butterworths, London.
- Grobiki, A., & Stuckey, D. C. (1991). Performance of the Anaerobic Baffled Reactor Under Steady-State and Shock Loading Condition. *Biotechnology and Bioengineering*, 37(4), 344-355.

- Grover, R., Marwaha, S. S., & Kennedy, J. F. (1999). Studies on the use of an anaerobic baffled reactor for the continuous anaerobic digestion of pulp and paper mill black liquors. *Process Biochemistry*, 34, 653-657.
- Hall, E. R. (1992). Anaerobic Treatment of Wastewater I Suspended Growth and Fixed Film Process. In J. J.F.Malina & F. G. Pohland (Eds.), *Water Quality Management* (Vol. 7): CRC Press LLC.
- IWA Task Group. (2002). *Anaerobic Digestion Model No.1*. Cornwall: IWA.
- Jannsson, M. B. (1982). Pollution Abatement in Fiberboard Mills. 13.
- Johanson, C. (1975). *Experiences from chemical precipitation of fiberboard wastewater with phenolic resins as coagulant aids*.
- Kalyuzhnyi, S., Veeken, A., & Hamelers, B. (2000). Two-Particle Model of Anaerobic Solid-State Fermentation. *Water Science Technology*, 41, 43-50.
- Ko, C.-H., Hsieh, P.-H., Chang, M.-W., Chern, J.-M., Chiang, S.-M., & Tzeng, C.-J. (2009). Kinetics of pulp mill effluent treatment by ozone-based processes. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 875-881.
- Lema, J. M., & Omil, F. (2001). A Key Technology for Sustainable Management of Wastes in Europe. *Water Science and Technology*, 44, 133-140.
- Li, X., Zhang, L., Qin, J., Li, X., Chen, J., & She, Z. (2013). Performance of Hybrid Anaerobic Baffled Reactor in Treating Wastewater with High Strength of Suspended Solids. *Advanced Materials Research*, 663, 1039-1042.
- Malakahmad, A., Ezlin, A. B. N., & Shahrom, M. Z. (2011). Study on performance of a modified anaerobic baffled reactor to treat high strength wastewater. *Applied Sciences*, 11(7), 1449-1452.
- McCarty, P. L. (1964). *Anaerobic Waste Treatment Fundamentals: I. Chemistry and Microbiology; II. Environmental Requirements and Control; III. Toxic Materials and Their Control; IV. Process Design*: Public Works.
- McInerney, M. J. (1988). Anaerobic Hydrolysis and Fermentation of Fats and Proteins. In A. J. B. Zehnder (Ed.), *Biology of Anaerobic Microorganisms* (pp. 373-416): John Wiley and Sons.
- Pavlostathis, S. G., & Giraldo-Gomez, E. (1991). Kinetics of Anaerobic Treatment. *Water Science Technology*, 24, 35-59.
- Sekiguchi, Y., Kamagata, Y., & Harada, H. (2001). Recent Advances in Methane Fermentation Technology. *Current Opinion in Biotechnology*, 12, 277-282.
- Speece, R. E. (2008). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*: Tennessee: Archae.

- Sun, J.-h., Zhang, B., Sun, R.-x., Li, Y.-f., & Wu, J.-f. (2009). Treatment of cornstalk fibrous pulp wastewater using Anaerobic Baffled Reactor (ABR): effect of shock loading rates. *Environment and Pollution*, 38, 81-87.
- Suteu, D., Malutan, T., & Bilba, D. (2010). Removal of reactive dye Brilliant Red HE-3B from aqueous solutions by industrial lignin: Equilibrium and kinetics modeling. *Desalination*, 255(1-3), 84-90.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse* (4 ed.): McGraw-Hill Education.
- Wang, B., Kong, W., & Ma, H. (2007). Electrochemical treatment of paper mill wastewater using three-dimensional electrodes with Ti/Co/SnO₂-Sb₂O₅ anode. *Journal of Hazardous Materials*, 146(1-2), 295-301.
- Wang, J., Huang, Y., & Zhao, X. (2004). Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor. *Bioresource Technology*, 93(2), 205-208.

ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2539). การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: มิตรสยามการพิมพ์.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2543). วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร. บุญส่ง ศิลปเจริญกุล. (2536). การออกแบบปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. (2542). เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. (2546). คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์, & มันรัช ตันฑุลเวศม์. (2547). เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2551). ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไร้อากาศ. Retrieved 17 กุมภาพันธ์ 2556, from <http://www.effe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=cM>
- สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. (2552). กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพพื้นฐานและการคำนวณออกแบบ เล่มที่ 1 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สยามสแตชันเนอร์รี่พลาซัส.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. (2549). ภาพรวมของอุตสาหกรรมไม้ในประเทศ Retrieved 15 กุมภาพันธ์ 2556 <http://forprod.forest.go.th/forprod/wood.../ภาพรวมของอุตสาหกรรมไม้.pdf>.
- อุษาพร เลิศวิกุล. (2545). การลดซีไอทีในน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก- 1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรถภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% แสดงพารามิเตอร์ซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีละลาย

วันที่	ซีโอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีโอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
1	9,009	-	-	6,384	-	-
5	8,597	-	-	5,869	-	-
8	8,299	7,856	5.3	6,916	5,588	19.2
15	7,549	7,157	5.2	6,324	5,245	17.1
19	-	6,226	-	-	4,793	-
22	-	5,675	-	-	4,573	-
29	-	5,376	-	-	4,946	-
45	6,185	5,425	12.3	5,475	4,867	11.1
50	6,506	4,647	28.6	5,510	3,651	33.7
57	-	-	-	-	2,107	-
59	-	-	-	-	1,993	-
64	-	-	-	-	1,721	-
68	-	-	-	-	1,304	-
71	-	-	-	-	1,262	-
73	-	-	-	-	1,250	-
79	9,559	1,512	84.2	8,738	1,287	85.3
81	9,555	1,483	84.5	7,968	1,153	85.5
86	9,339	1,456	84.4	8,588	1,149	86.6
93	9,134	3,061	66.5	7,307	2,192	70.0
99	-	-	-	7,429	2,121	71.5
102	9,179	3,085	66.4	7,484	2,194	70.7
106	-	-	-	7,841	2,116	73.0
108	9,175	3,086	66.4	6,889	2,171	68.5
113	9,355	3,135	66.5	7,355	2,194	70.2

หมายเหตุ : หยุดป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 2 ช่วง คือ วันที่ 16 ถึงวันที่ 44 และ วันที่ 51 ถึงวันที่ 78 เนื่องจากจุลินทรีย์ยังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้น้อย

ตารางที่ ก- 2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้น
น้ำเสีย 50% แสดงพารามิเตอร์ซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีละลาย

วันที่	ซีโอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีโอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
1	4,118	-	-	3,346	-	-
5	3,552	-	-	2,934	-	-
8	4,481	2,932	34.6	3,596	2,158	40.0
15	3,725	2,549	31.6	3,529	2,745	22.2
19	-	2,645	-	-	2,479	-
22	-	2,424	-	-	2,369	-
29	-	2,374	-	-	2,204	-
45	3,093	1,267	59.0	2,687	1,166	56.6
50	3,054	1,162	62.0	2,656	1,095	58.8
57	-	-	-	-	757	-
59	-	-	-	-	630	-
64	-	-	-	-	594	-
68	-	-	-	-	498	-
71	-	-	-	-	439	-
73	-	-	-	-	409	-
79	5,206	471	91.0	4,280	466	89.1
81	4,696	499	89.4	3,628	440	87.9
86	4,506	438	90.3	4,016	438	89.1
93	4,031	983	75.6	3,685	794	78.5
99	-	-	-	4,000	787	80.3
102	4,781	994	79.2	3,935	761	80.7
106	-	-	-	4,080	765	81.3
108	4,825	978	79.7	4,095	787	80.8
113	4,645	981	78.9	3,839	774	79.8

หมายเหตุ : หยุดป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 2 ช่วง คือ วันที่ 16 ถึงวันที่ 44 และ วันที่ 51 ถึงวันที่ 78
เนื่องจากจุลินทรีย์ยังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้น้อย

ตารางที่ ก- 3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้น
น้ำเสีย 25% แสดงพารามิเตอร์ซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีละลาย

วันที่	ซีโอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีโอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
1	2,905	-	-	1,905	-	-
5	2,647	-	-	1,802	-	-
8	2,047	1,826	10.8	1,881	1,328	29.4
15	2,073	1,825	12.0	1,810	1,324	26.9
19	-	1,857	-	-	1,433	-
22	-	1,692	-	-	1,267	-
29	-	1,145	-	-	699	-
45	1,621	588	63.7	1,525	487	68.1
50	1,627	465	71.4	1,494	432	71.1
57	-	-	-	-	362	-
59	-	-	-	-	341	-
64	-	-	-	-	339	-
68	-	-	-	-	296	-
71	-	-	-	-	243	-
73	-	-	-	-	239	-
79	2,559	326	87.3	2,155	313	85.5
81	2,429	317	86.9	1,652	272	83.5
86	2,220	287	87.1	1,763	216	87.7
93	2,362	643	72.8	1,795	403	77.5
99	-	-	-	2,063	381	81.5
102	2,773	650	76.6	2,161	310	85.7
106	-	-	-	2,135	306	85.7
108	2,698	686	74.6	2,063	368	82.2
113	2,516	516	79.5	2,161	348	83.9

หมายเหตุ : หยุดป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 2 ช่วง คือ วันที่ 16 ถึงวันที่ 44 และ วันที่ 51 ถึงวันที่ 78
เนื่องจากจุลินทรีย์ยังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้น้อย

ตารางที่ ก- 4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้ออกซิเจนที่ความเข้มข้น
น้ำเสีย 12.5% แสดงพารามิเตอร์ซีไอดีทั้งหมด และซีไอดีละลาย

วันที่	ซีไอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีไอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
1	1,081	-	-	1,081	-	-
5	1,078	-	-	1,030	-	-
8	1,328	819	38.3	996	664	33.3
15	1,329	839	36.9	1,275	782	38.7
19	-	441	-	-	826	-
22	-	496	-	-	771	-
29	-	430	-	-	753	-
45	1,113	623	44.0	963	568	41.0
50	1,129	566	49.9	1,062	564	46.9
57	-	-	-	-	428	-
59	-	-	-	-	236	-
64	-	-	-	-	133	-
68	-	-	-	-	130	-
71	-	-	-	-	95	-
73	-	-	-	-	93	-
79	1,412	141	90.0	1,240	130	89.5
81	1,393	122	91.2	1,004	118	88.2
86	1,208	128	89.4	947	128	86.5
93	1,323	247	81.3	1,008	169	83.2
99	-	-	-	921	150	83.7
102	1,339	249	81.4	871	164	81.2
106	-	-	-	1,052	149	85.8
108	1,270	249	80.4	1,111	199	82.1
113	1,226	277	77.4	1,129	206	81.8

หมายเหตุ : หยุดป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ 2 ช่วง คือ วันที่ 16 ถึงวันที่ 44 และ วันที่ 51 ถึงวันที่ 78
เนื่องจากจุลินทรีย์ยังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีได้น้อย

ตารางที่ ก- 5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรรถภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บ
กักน้ำ 6 ชั่วโมง อัตราการไหล 40 ลิตร/วัน แสดงพารามิเตอร์ซีไอดีทั้งหมด และซีไอดีละลาย

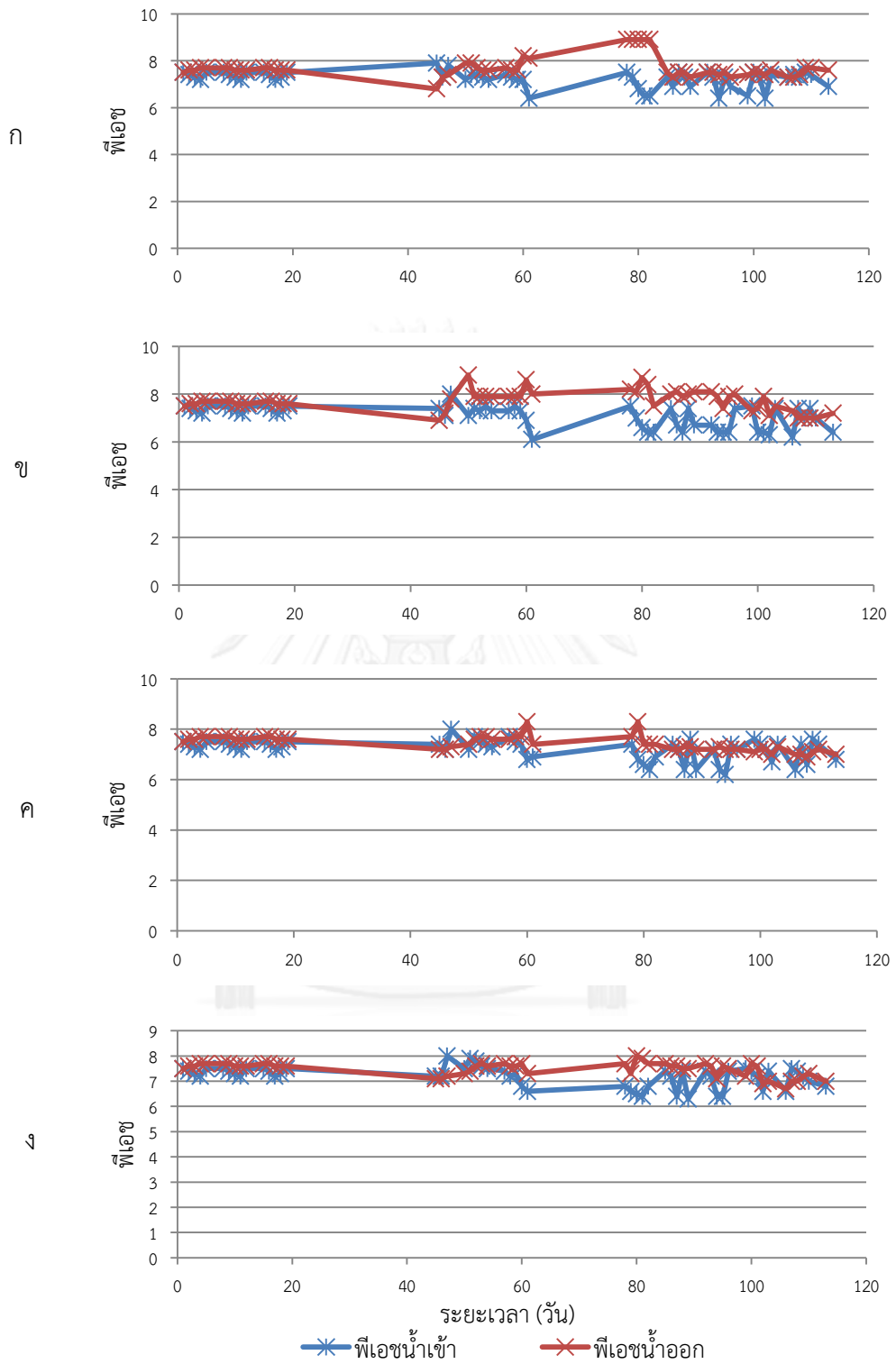
วันที่	ซีไอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีไอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
148	-	-	-	7,104	4,788	32.6
151	-	-	-	6,781	4,500	33.6
156	-	-	-	6,656	4,531	31.9
159	-	-	-	6,981	4,510	35.4
163	-	-	-	7,455	4,606	38.2
166	-	-	-	7,364	4,727	35.8
169	8,502	6,557	22.9	-	-	-
170	-	-	-	7,561	4,706	37.8
172	8,434	6,357	24.6	-	-	-
173	-	-	-	7,845	4,682	40.3
177	11,046	7,692	30.4	10,031	6,031	39.9
179	10,862	7,631	29.7	9,938	6,000	39.6
184	10,931	7,603	30.4	9,924	5,985	39.7
187	10,346	7,699	25.6	8,782	5,955	32.2
191	12,916	8,029	37.8	11,171	6,080	45.6
194	12,800	7,971	37.7	11,171	6,051	45.8
198	13,265	7,884	40.6	11,229	6,051	46.1
200	12,858	7,855	38.9	11,113	6,022	45.8

ตารางที่ ก- 6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรณภาพของระบบแผ่นกั้นไรร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บ
กักน้ำ 12 ชั่วโมง อัตราการไหล 20 ลิตร/วัน แสดงพารามิเตอร์ซีโอดีทั้งหมด และซีโอดีละลาย

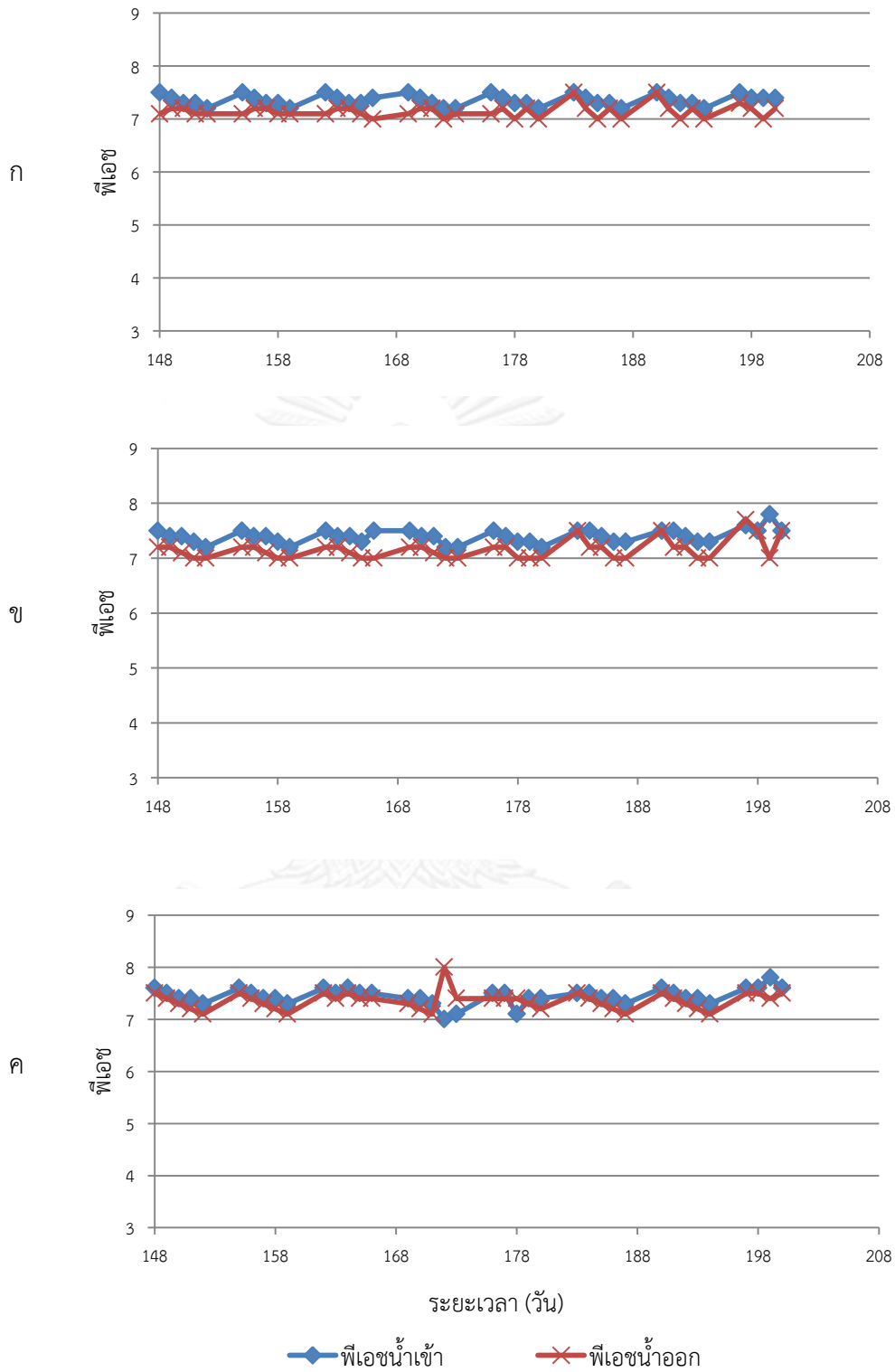
วันที่	ซีโอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีโอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การจัด (ร้อยละ)
148	-	-	-	6,781	5,594	17.5
151	-	-	-	6,656	5,469	17.8
156	-	-	-	6,563	5,344	18.6
159	-	-	-	6,394	4,788	25.1
163	-	-	-	7,061	4,606	34.8
166	-	-	-	6,939	4,333	37.6
169	8,376	5,459	34.8	-	-	-
170	-	-	-	6,839	3,420	50.0
172	8,434	4,217	50.0	-	-	-
173	-	-	-	7,845	3,039	61.3
177	11,046	5,908	46.5	10,031	4,062	59.5
179	10,862	5,877	45.9	9,938	4,000	59.8
184	10,931	5,863	46.4	9,924	4,153	58.2
187	10,346	5,504	46.8	8,782	4,391	50.0
191	12,916	6,284	51.4	11,171	4,480	59.9
194	12,800	6,225	51.4	11,171	4,451	60.2
198	13,265	6,225	53.1	11,229	4,422	60.6
200	12,858	6,196	51.8	11,113	4,393	60.5

ตารางที่ ก- 7 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและสรรรถภาพของระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ระยะเวลาเก็บ
กักน้ำ 48 ชั่วโมง อัตราการไหล 5 ลิตร/วัน แสดงพารามิเตอร์ซีไอดีทั้งหมด และซีไอดีละลาย

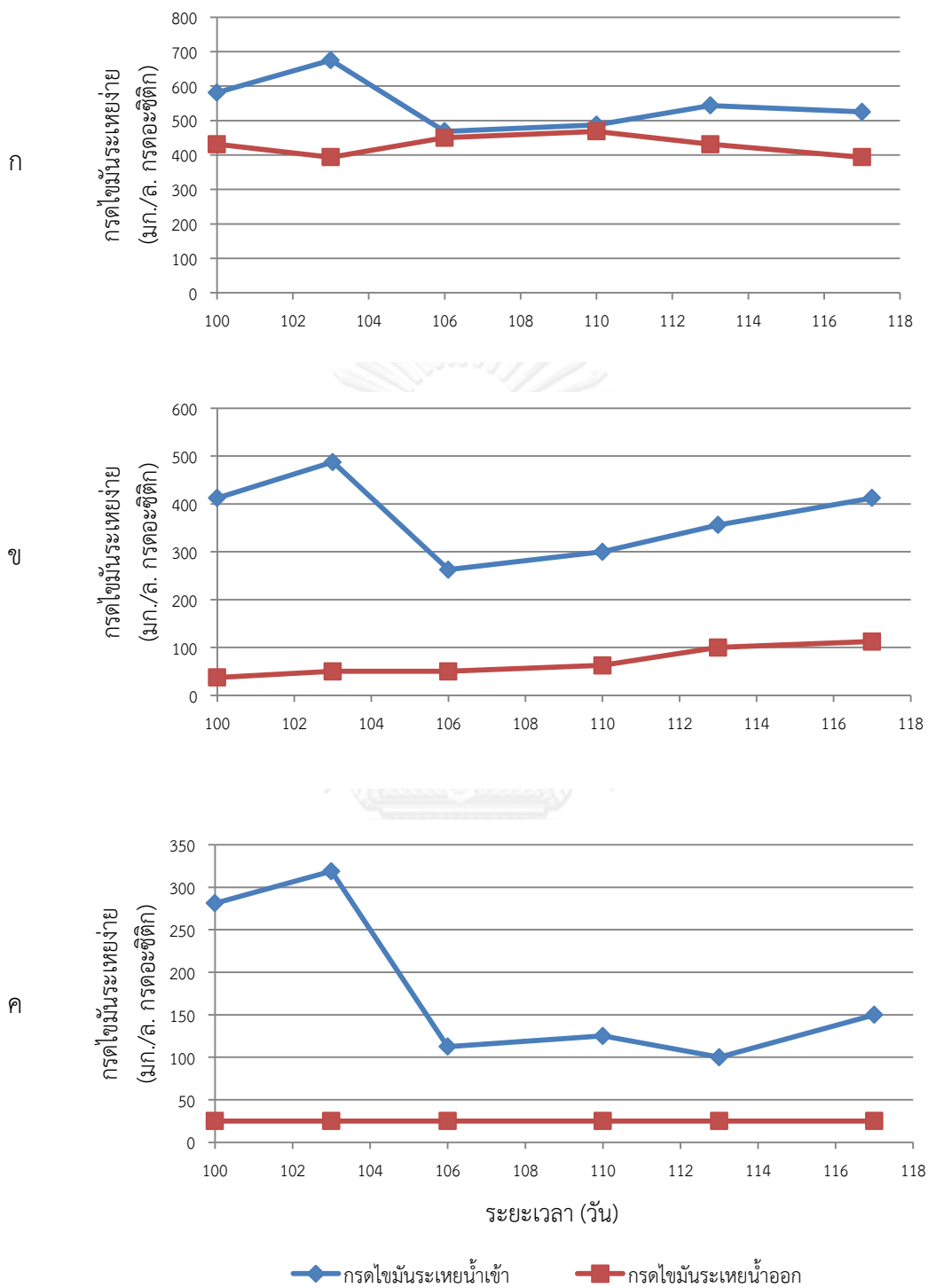
วันที่	ซีไอดีทั้งหมด(มก./ล.)			ซีไอดีละลาย(มก./ล.)		
	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	เข้าระบบ	ออกจาก ระบบ	ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)
148	-	-	-	6,781	3,125	53.9
151	-	-	-	6,656	3,031	54.5
156	-	-	-	6,826	2,996	56.1
159	-	-	-	6,394	2,811	56.0
163	-	-	-	6,576	2,788	57.6
166	-	-	-	6,455	2,667	58.7
169	8,220	4,110	50	-	-	-
170	-	-	-	6,839	2,165	68.3
172	8,434	2,512	70.2	-	-	-
173	-	-	-	7,845	1,860	76.3
177	11,046	2,031	81.6	10,031	1,600	84.0
179	10,862	1,969	81.9	9,938	1,446	85.4
184	10,931	1,985	81.8	9,924	1,282	87.1
187	10,346	1,955	81.1	8,782	1,293	85.3
191	12,916	2,502	80.6	11,171	2,007	82.0
194	12,800	2,444	80.9	11,171	2,036	81.8
198	13,265	2,444	81.6	11,229	1,949	82.6
200	12,858	2,385	81.4	11,113	1,920	82.7



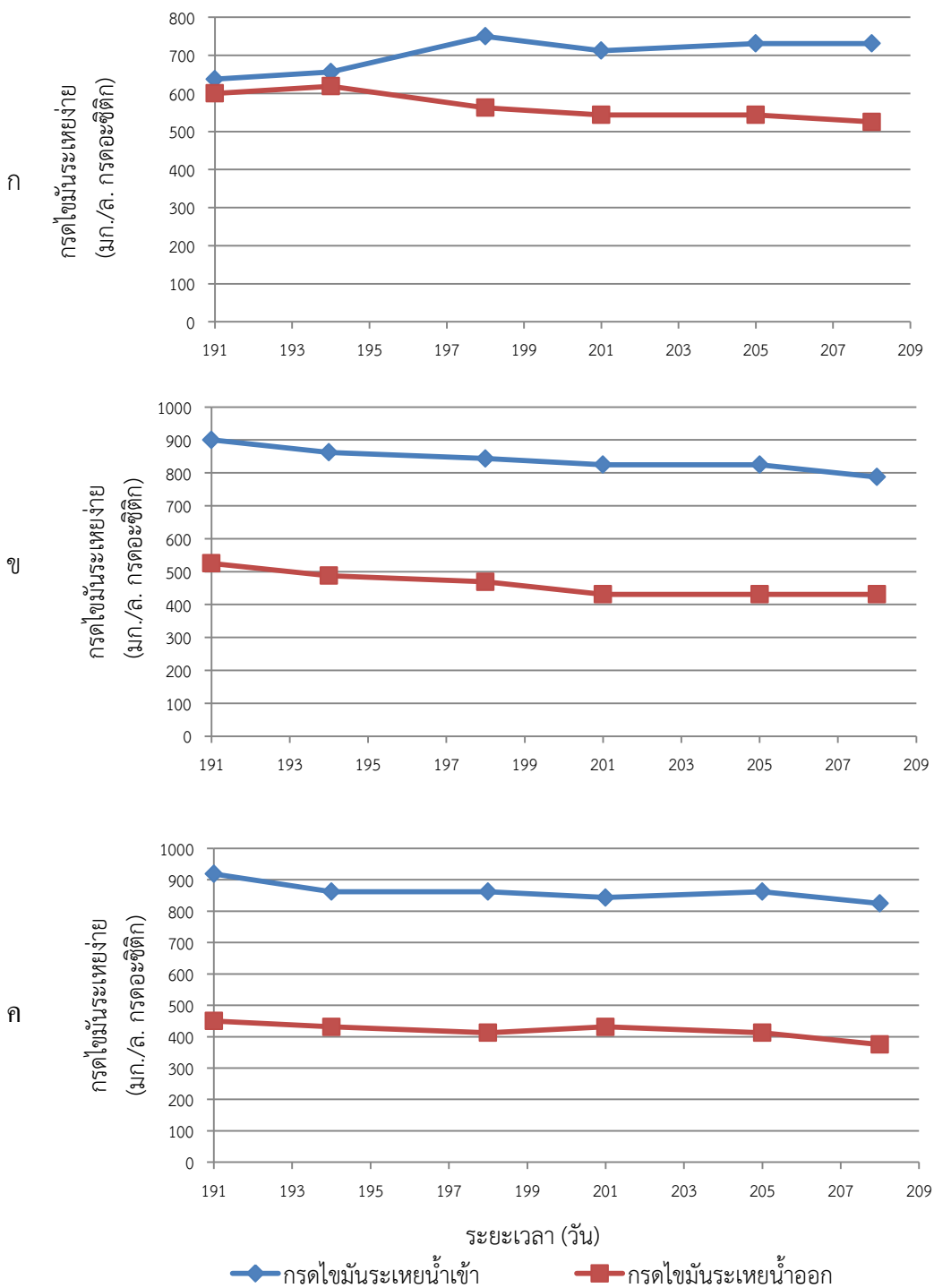
ภาพที่ ก-1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ
 ก : ความเข้มข้น 100 % ข : ความเข้มข้น 50 % ค : ความเข้มข้น 25 % ง : ความเข้มข้น 12.5 %



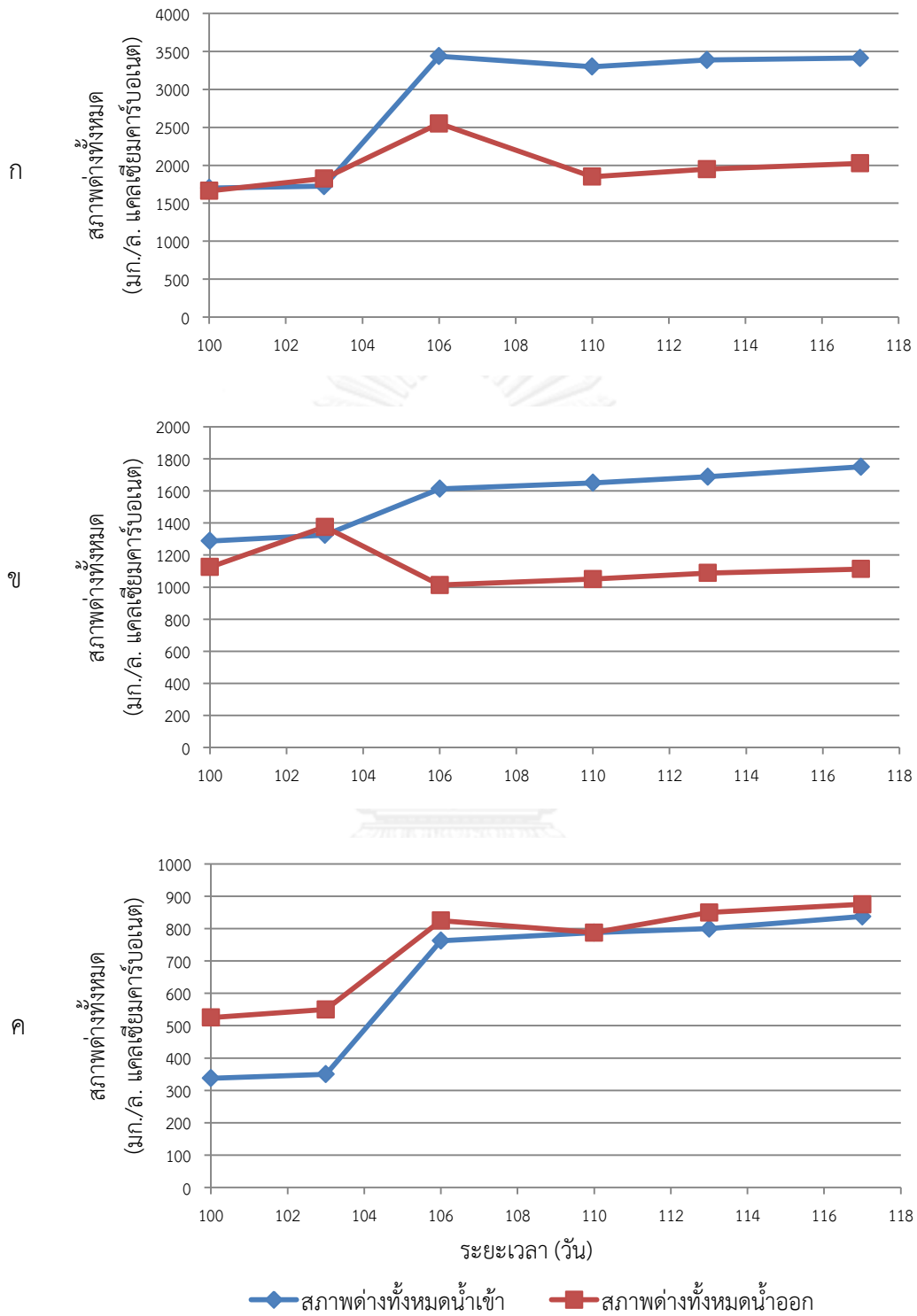
ภาพที่ ก-2 การเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ
 ก : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง ข : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ค : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง



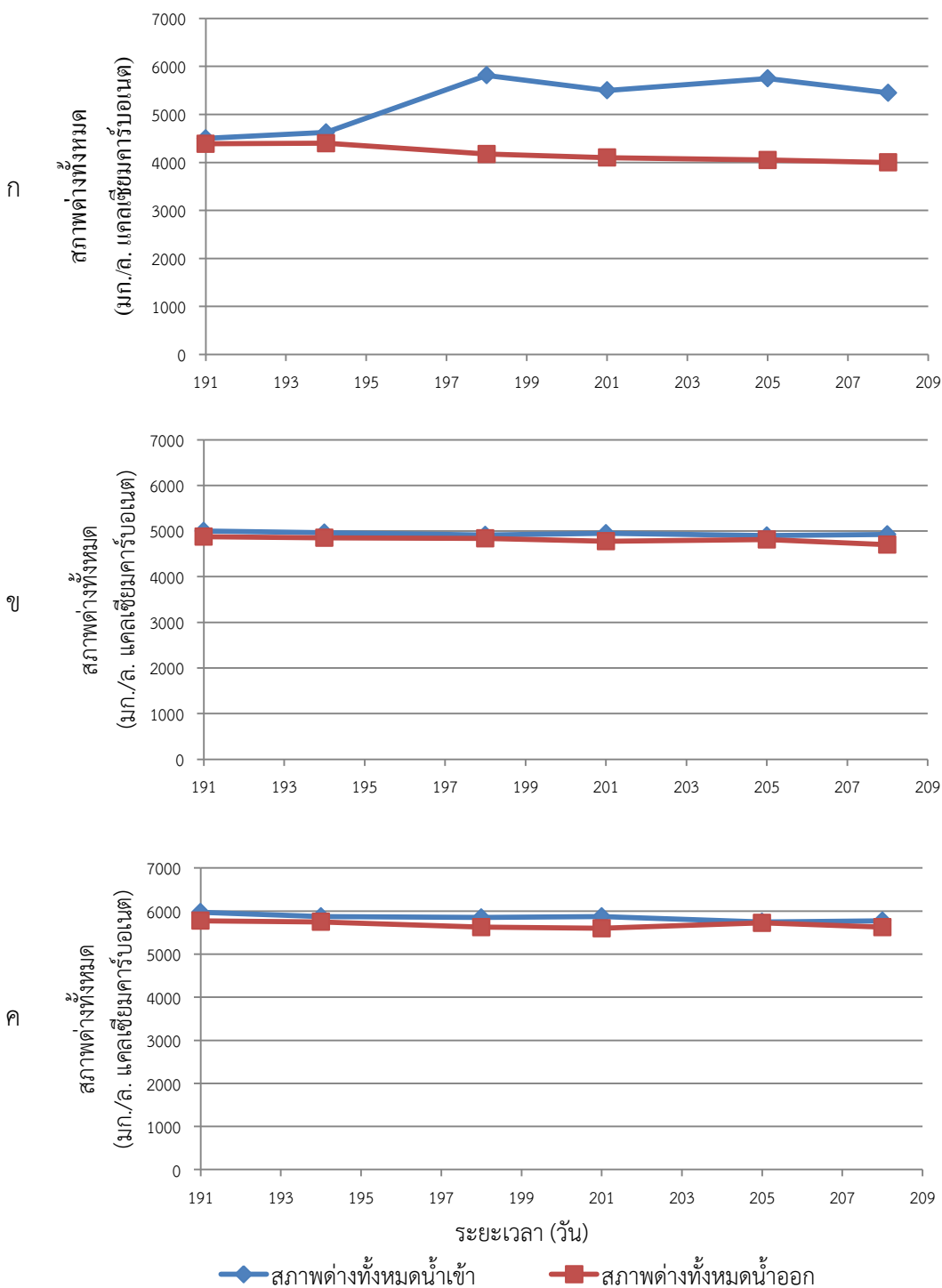
ภาพที่ ก-3 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ
 ก : ความเข้มข้น 100 % ข : ความเข้มข้น 50 % ค : ความเข้มข้น 25 %



ภาพที่ ก-4 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยง่ายที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ
 ก : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง ข : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ค : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ ก-5 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต่างทั้งหมดที่ความเข้มข้นน้ำเสียต่างๆ
 ก : ความเข้มข้น 100 % ข : ความเข้มข้น 50 % ค : ความเข้มข้น 25 %

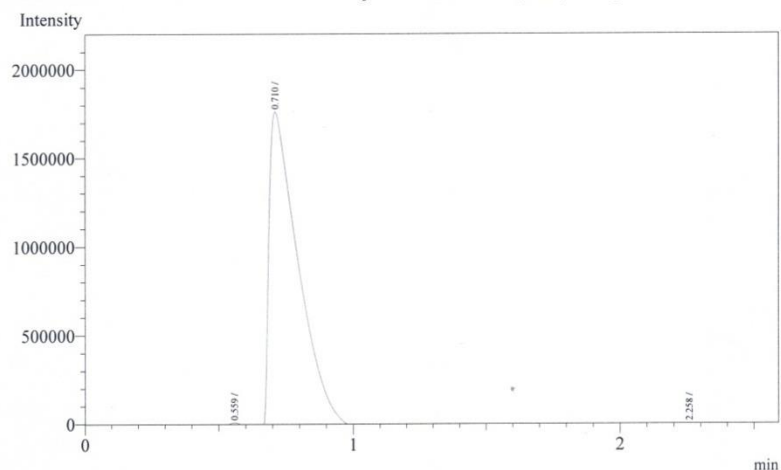


ภาพที่ ก-6 การเปลี่ยนแปลงสก.ด. ต่างทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำต่างๆ
 ก : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง ข : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ค : ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

Analysis Date & Time : 23/1/2557 9:32:39
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : std-CH4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

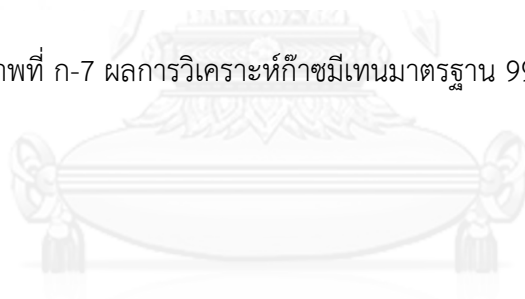
99%

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD358.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.559	274244	51068	0.000			
2	0.710	13945379	1802616	0.000	V		
3	2.258	61689	7838	0.000	V		
Total		14281312	1861522				

ภาพที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99% ครั้งที่ 1

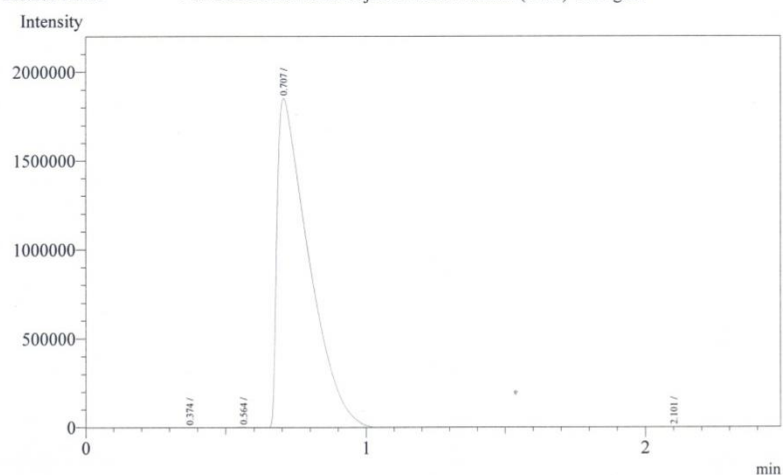


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 9:48:05
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : std-CH4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

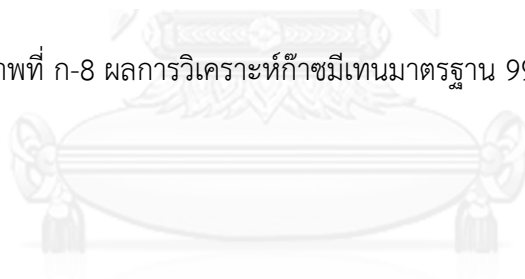
99%

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD360.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.374	52765	8039	0.000	V		
2	0.564	162438	24543	0.000	V		
3	0.707	14963533	1874583	0.000	SV		
4	2.101	66040	9217	0.000	V		
Total		15244776	1916382				

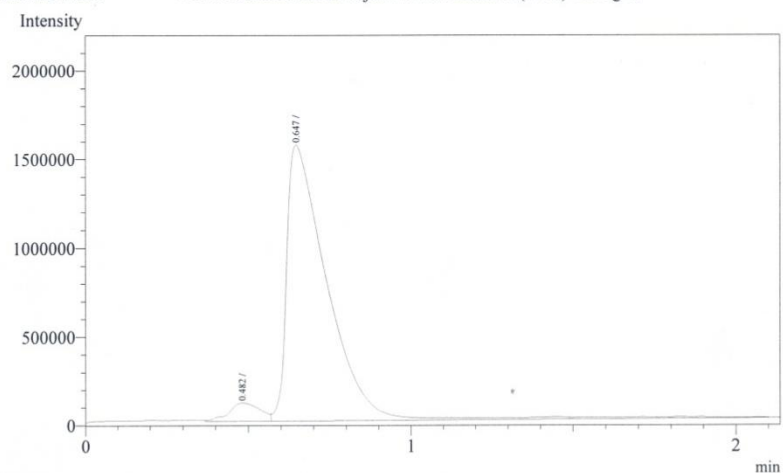
ภาพที่ ก-8 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99% ครั้งที่ 2



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 9:58:17
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : std-CH4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD361.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



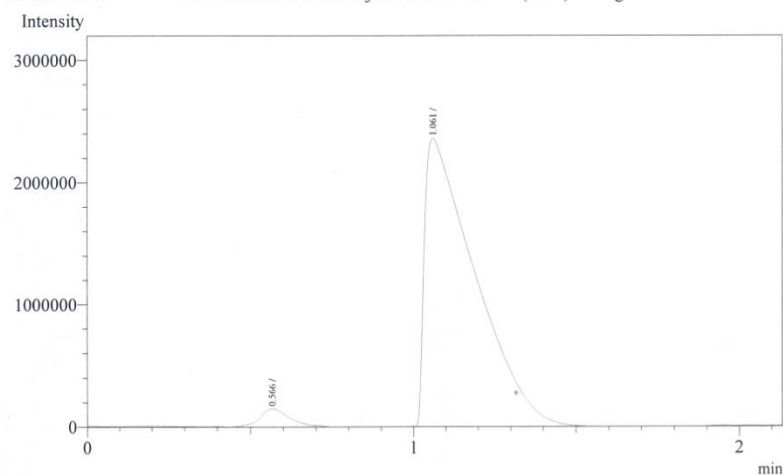
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.482	697548	103648	0.000	V		
2	0.647	13471389	1555853	0.000	SV		
Total		14168937	1659501				

ภาพที่ ก-9 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99% ครั้งที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:02:32
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : std-CO2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD362.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



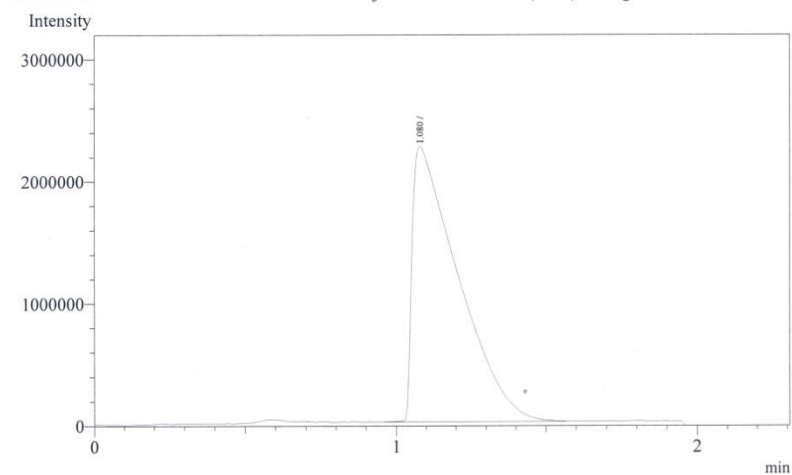
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.566	962828	150704	0.000			
2	1.061	25710744	2362826	0.000	V	CO ₂	
Total		26673572	2513530				

ภาพที่ ก-10 ผลการวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน 99% ครั้งที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:05:17
User Name : Admin
Vial# : 0
Sample Name : std-CO2
Sample ID :
Sample Type : Unknown
Injection Volume :
ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD363.gcd
Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

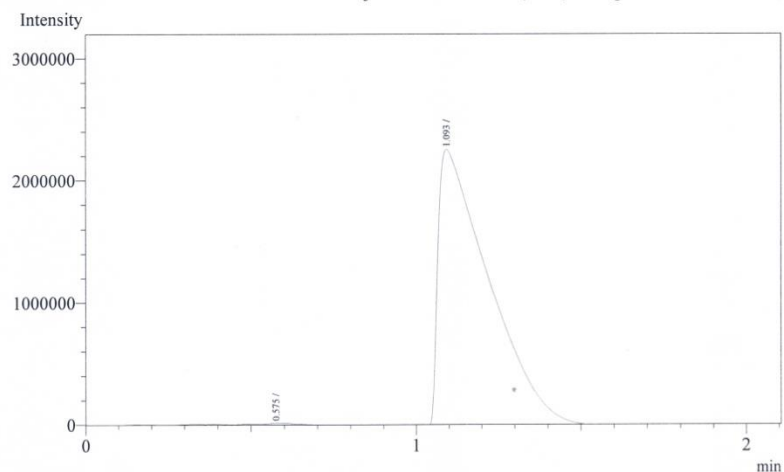


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.080	24115704	2255637	0.000		CO ₂	
Total		24115704	2255637				

ภาพที่ ก-11 ผลการวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน 99% ครั้งที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:11:28
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : std-CO2 - 99%
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :
 Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD365.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



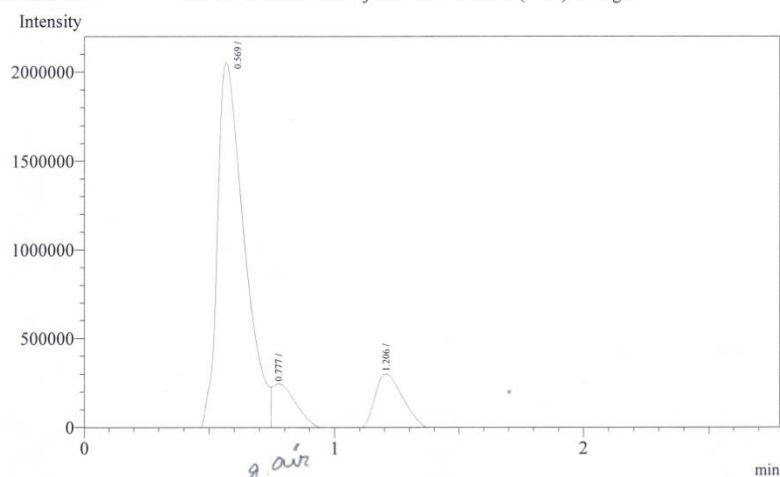
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.575	229946	25936	0.000	V		
2	1.093	24455478	2264901	0.000	V		CO ₂
Total		24685424	2290837				

ภาพที่ ก-12 ผลการวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน 99% ครั้งที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:16:59
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : A1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD366.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



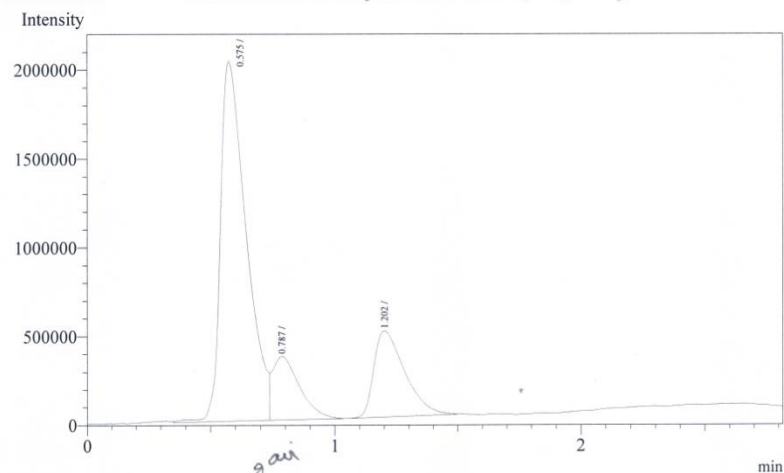
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.569	15653456	2089315	0.000			
2	0.777	1994522	278252	0.000	V		
3	1.206	3013230	338722	0.000			
Total		20661208	2706289				

ภาพที่ ก-13 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:21:04
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : A2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD367.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



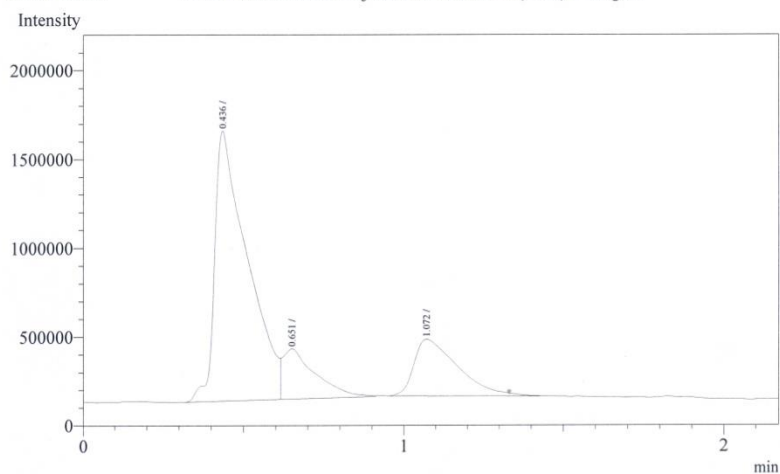
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.575	14507892	2022117	0.000		V		
2	0.787	2717732	357955	0.000		V		
3	1.202	4229142	482906	0.000				
Total		21454766	2862978					

ภาพที่ ก-14 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:24:48
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : A3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD368.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



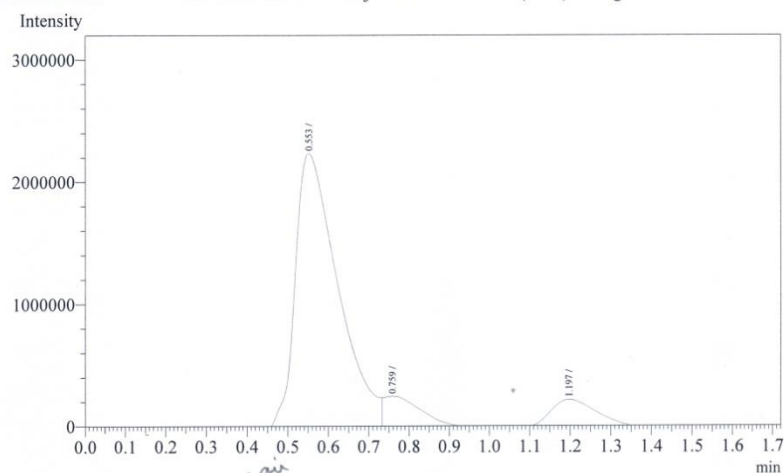
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.436	10755005	1519160	0.000		
2	0.651	1973660	282182	0.000	V	
3	1.072	3062531	319220	0.000		
Total		15791196	2120562			

ภาพที่ ก-15 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:28:09
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : B1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD369.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



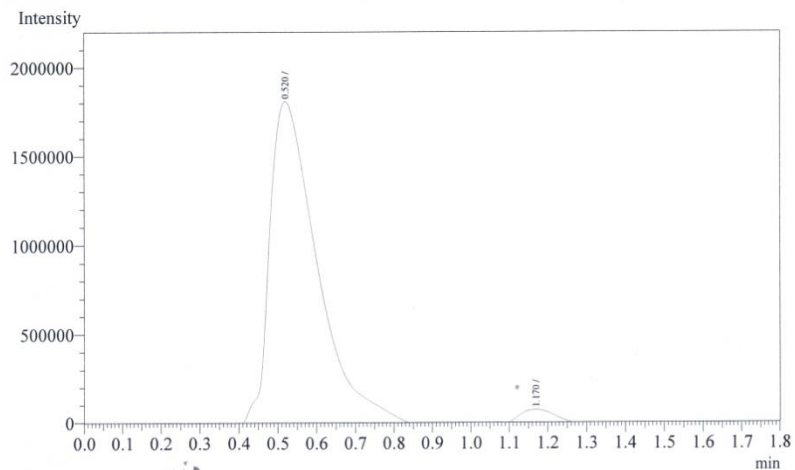
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.553	18293089	2332014	0.000	V		
2	0.759	3490723	359853	0.000	V		
3	1.197	5795946	359993	0.000	V		
Total		27579758	3051860				

ภาพที่ ก-16 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:47:29
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : B2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD373.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



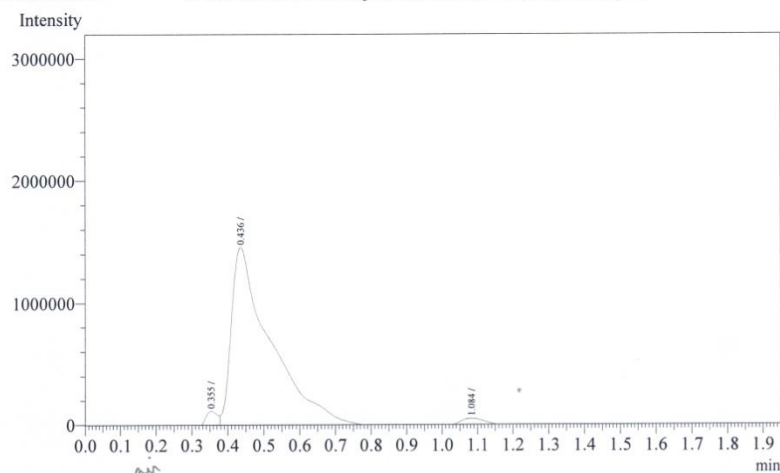
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.520	16265315	1841451	0.000			
2	1.170	1204949	125636	0.000			
Total		17470264	1967087				

ภาพที่ ก-17 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:44:11
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : B3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD372.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



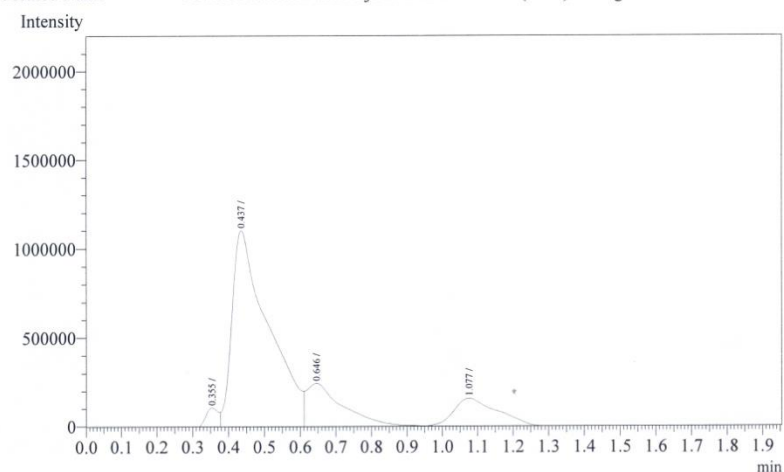
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.355	433016	166064	0.000			
2	0.436	12328165	1506599	0.000	V		
3	1.084	926832	106206	0.000			
Total		13688013	1778869				

ภาพที่ ก-18 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:51:11
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : C1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD374.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



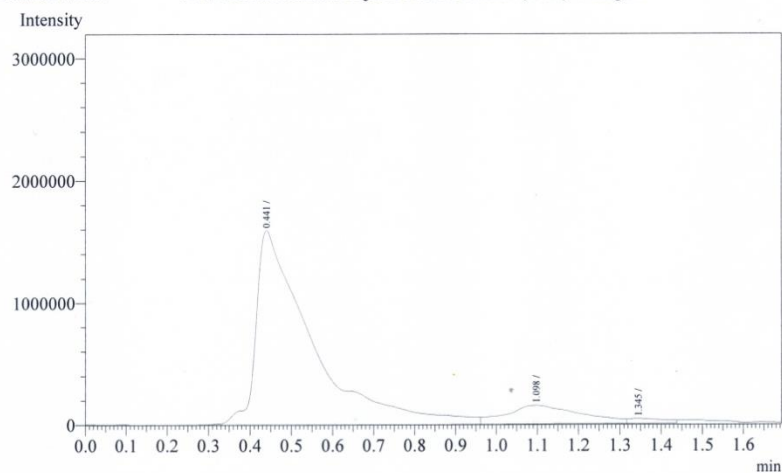
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.355	289595	114965	0.000			
2	0.437	7838811	1107249	0.000	V		
3	0.646	1752095	248216	0.000	V		
4	1.077	1426294	160474	0.000			
Total		11306795	1630904				

ภาพที่ ก-19 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 10:59:15
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : C2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD376.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



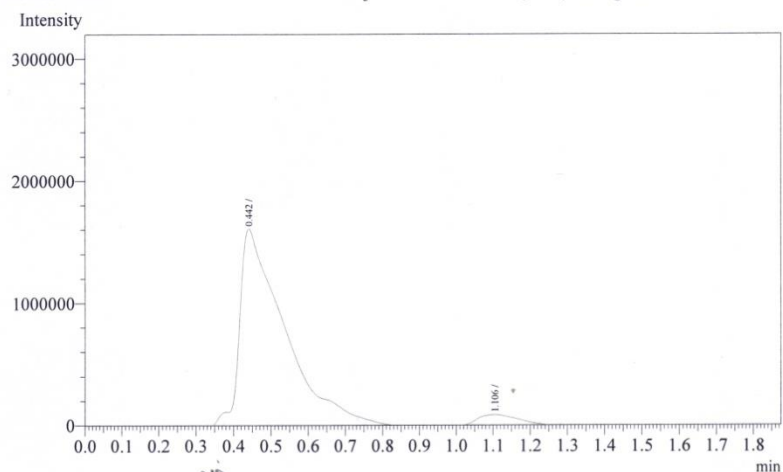
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.441	15230959	1595333	0.000	V		
2	1.098	1928157	152836	0.000	V		
3	1.345	235937	39542	0.000	V		
Total		17395053	1787711				

ภาพที่ ก-20 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 11:02:31
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : C3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD377.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



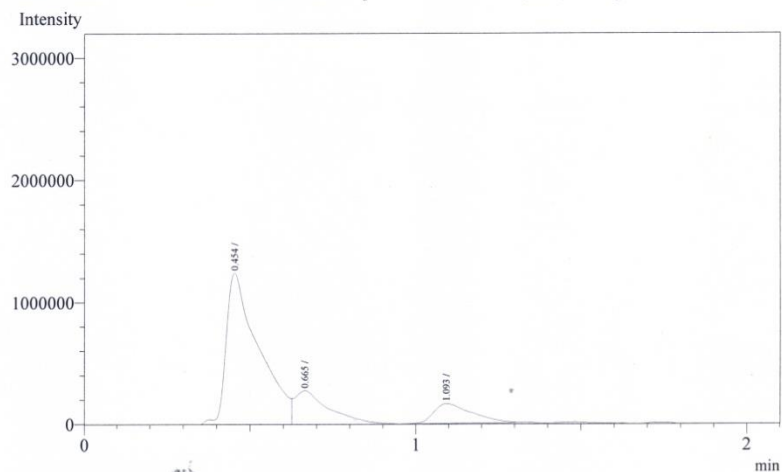
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.442	14160452	1631765	0.000			
2	CO ₂ 1.106	1033377	111866	0.000			
Total		15193829	1743631				

ภาพที่ ก-21 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 11:06:03
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : D1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD378.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

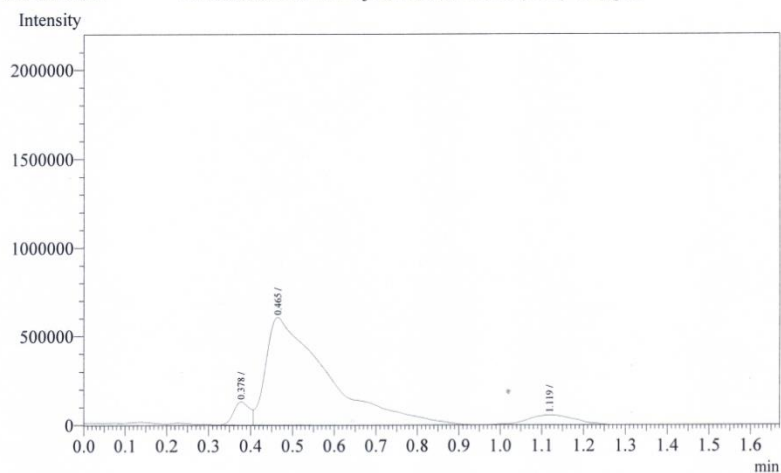


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.454	8673810	1259364	0.000			
2	0.665	2111598	287660	0.000	V		
3	1.093	1322375	162618	0.000			
Total		12107783	1709642				

ภาพที่ ก-22 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

Analysis Date & Time : 23/1/2557 11:09:49
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : D2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD379.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



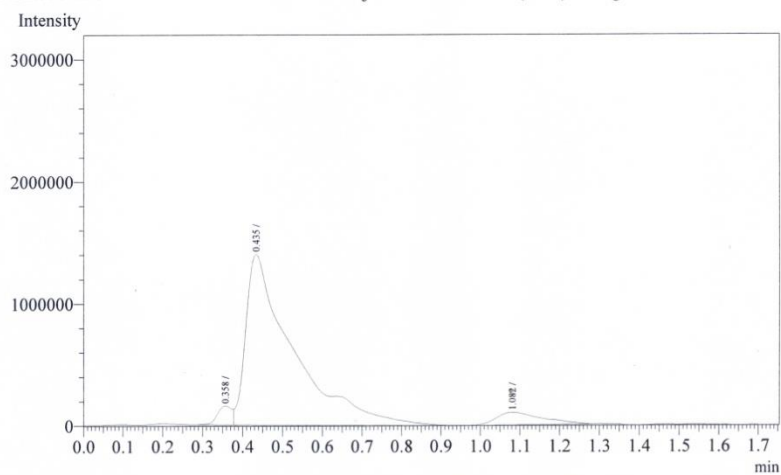
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.378	348146	130701	0.000			
2	0.465	6200980	604934	0.000	V		
3	1.119	650023	64675	0.000			
Total		7199149	800310				

ภาพที่ ก-23 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%
 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 23/1/2557 11:18:03
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : D3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD381.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.358	404699	157595	0.000			
2	0.435	11557965	1395934	0.000	V		
3	1.082	859590	105267	0.000			
Total		12822254	1658796				

ภาพที่ ก-24 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100%

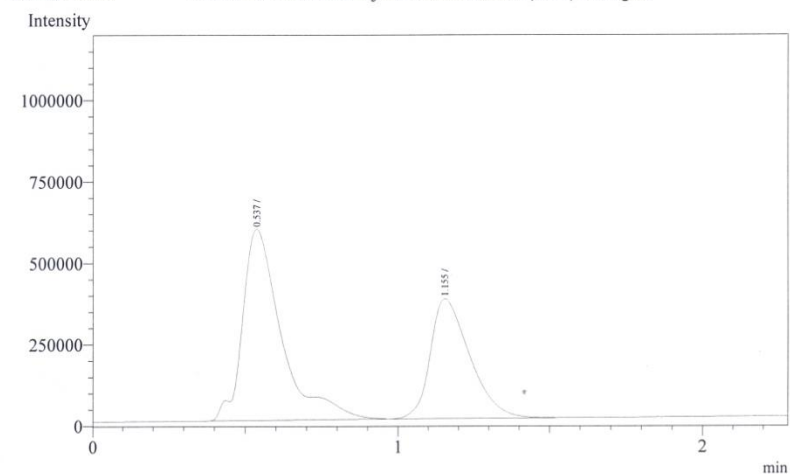
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 3

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:30:57
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : A1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD386.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

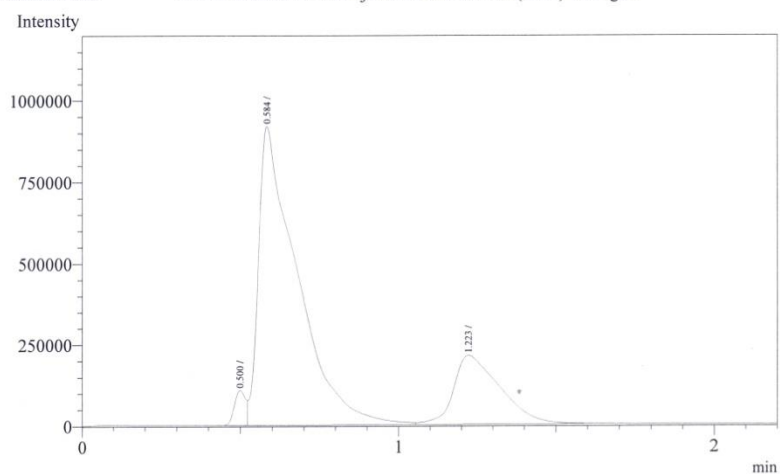


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.537	5170928	586475	0.000		
2	1.155	3327963	367629	0.000		
Total		8498891	954104			

ภาพที่ ก-25 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:34:42
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : A2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :
 Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD387.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



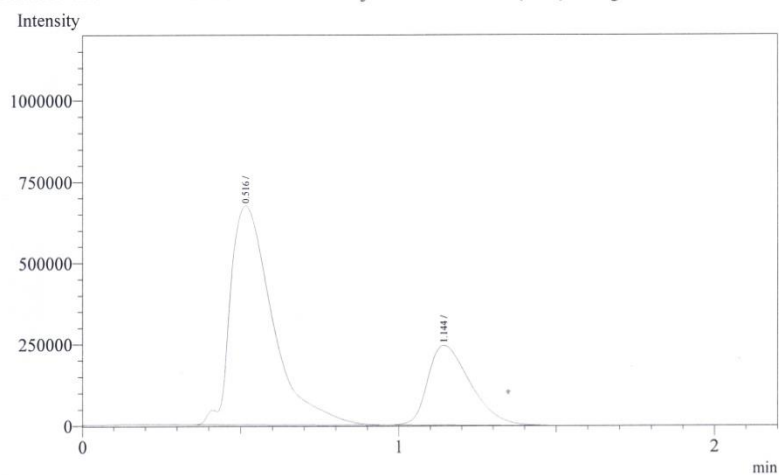
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.500	263673	106580	0.000			
2	0.584	7794168	914539	0.000	V		
3	1.223	2166740	211220	0.000	V		
Total		10224581	1232339				

ภาพที่ ก-26 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:39:12
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : A3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD388.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



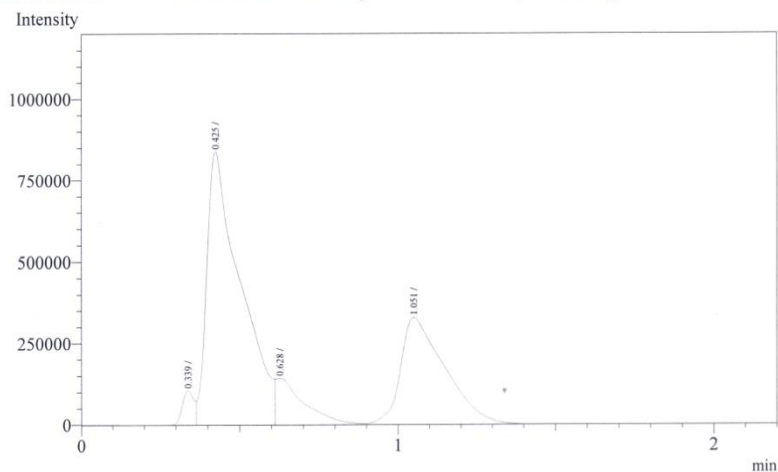
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.516	6198358	673546	0.000		
2	1.144	2308739	244455	0.000		
Total		8507097	918001			

ภาพที่ ก-27 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:44:17
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : B1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD389.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.339	269994	105800	0.000			
2	0.425	6161585	836769	0.000	V		
3	0.628	901305	143622	0.000	V		
4	1.051	3260718	328668	0.000	V		
Total		10593602	1414859				

ภาพที่ ก-28 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง

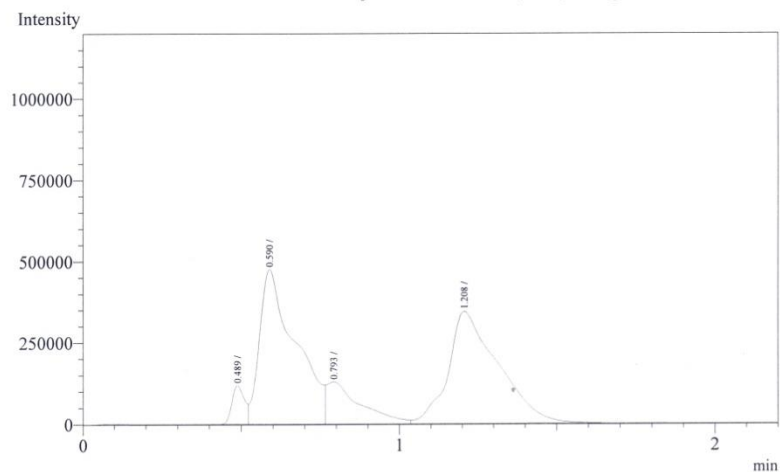
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:47:49
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : B2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD390.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



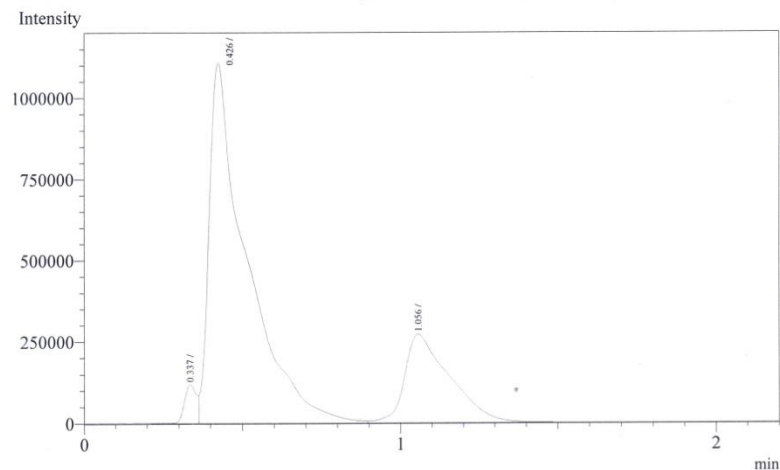
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.489	328168	118569	0.000			
2	0.590	3719340	474897	0.000	V		
3	0.793	957120	129060	0.000	V		
4	1.208	3799723	343952	0.000	V		
Total		8804351	1066478				

ภาพที่ ก-29 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:51:57
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : B3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project\Air TCD391.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project\Packed column (TCD)-CO2.gem



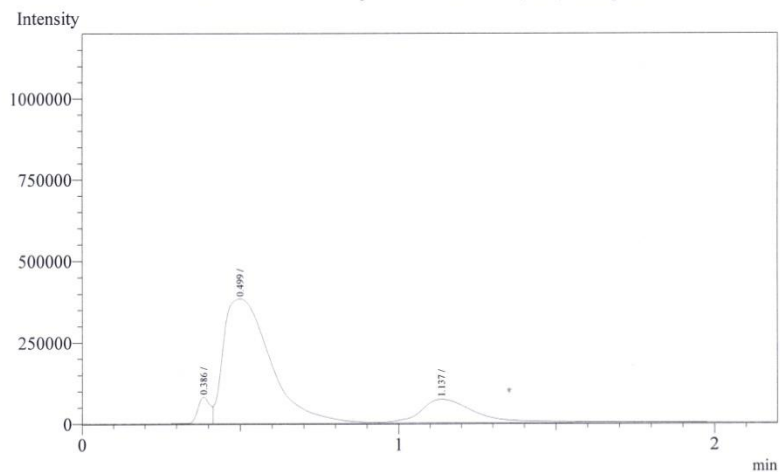
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.337	315079	117709	0.000	V			
2	0.426	9010052	1103750	0.000	V			
3	1.056	2694646	270575	0.000	V			
Total		12019777	1492034					

ภาพที่ ก-30 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 8:55:12
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : C1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD392.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

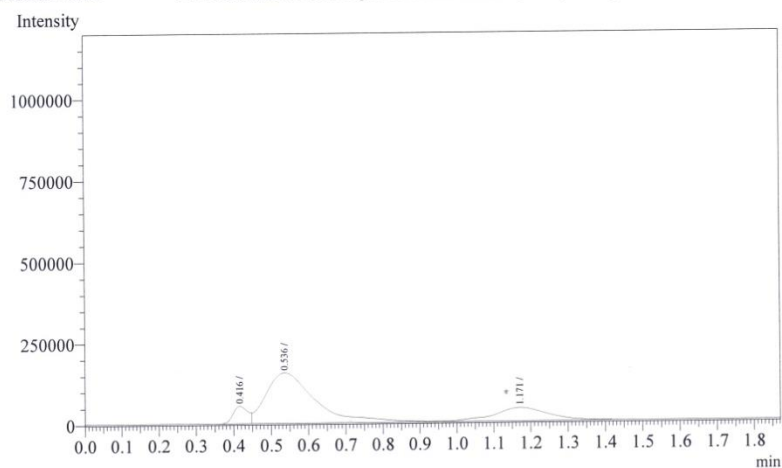


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.386	221507	81733	0.000			
2	0.499	3929698	383289	0.000	V		
3	1.137	899382	72883	0.000	SV		
Total		5050587	537905				

ภาพที่ ก-31 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:04:28
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : C2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :
 Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD393.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



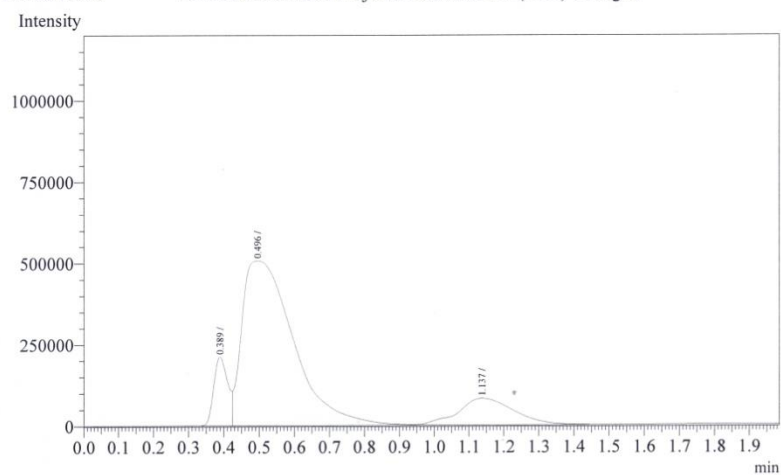
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.416	150269	54182	0.000			
2	0.536	1416610	154858	0.000	V		
3	1.171	413183	40528	0.000	SV		
Total		1980062	249568				

ภาพที่ ก-32 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:07:22
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : C3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD394.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



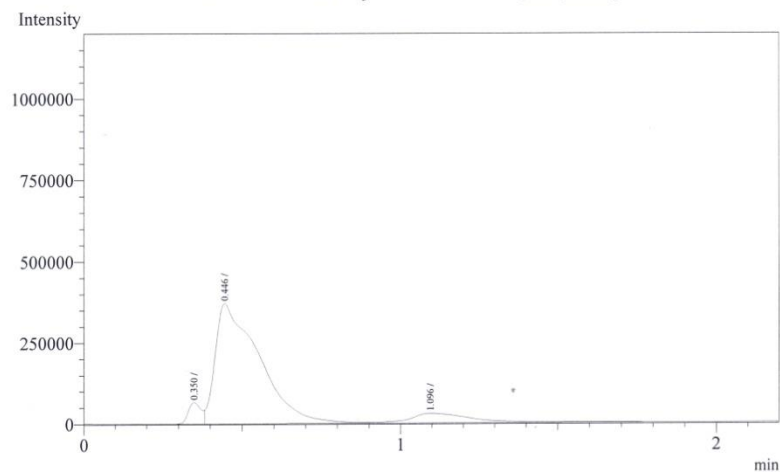
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.389	586907	210565	0.000	V			
2	0.496	5150436	506374	0.000	V			
3	1.137	909388	81752	0.000	V			
Total		6646731	798691					

ภาพที่ ก-33 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:10:48
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : D1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD395.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



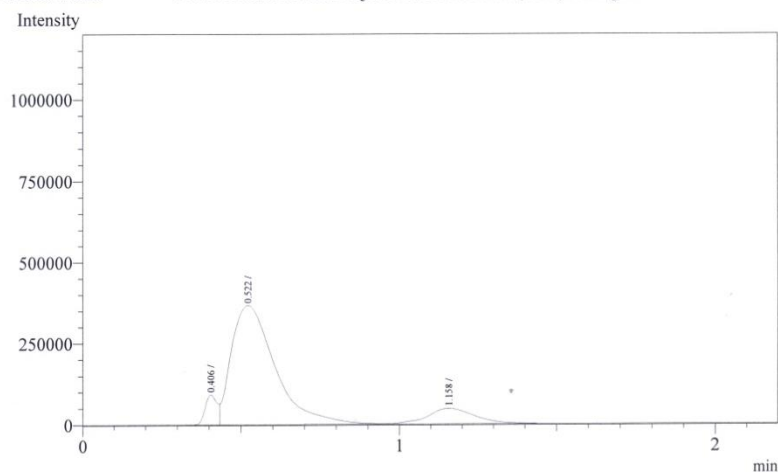
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.350	185696	65814	0.000			
2	0.446	3557198	370501	0.000	V		
3	1.096	418809	29756	0.000	SV		
Total		4161703	466071				

ภาพที่ ก-34 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:37:38
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : D2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD396.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



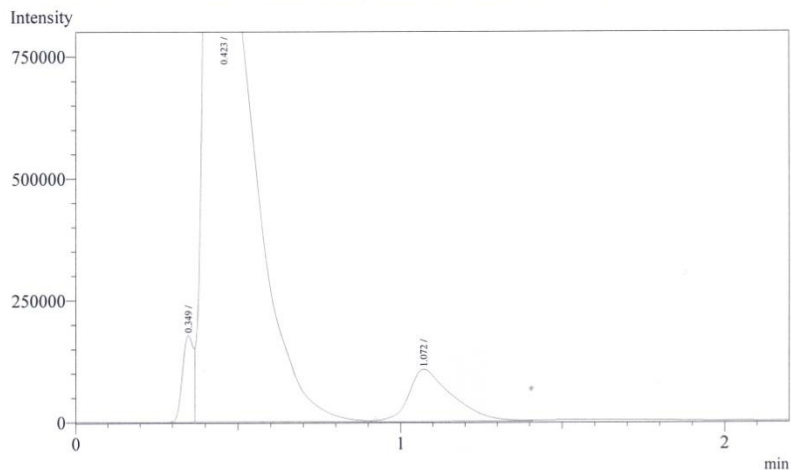
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.406	242102	91314	0.000	V		
2	0.522	3490637	365827	0.000	V		
3	1.158	492131	47260	0.000	V		
Total		4224870	504401				

ภาพที่ ก-35 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:40:41
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : D3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD397.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.349	418647	177416	0.000			
2	0.423	13593482	1815816	0.000	V		
3	1.072	992427	106726	0.000	V		
Total		15004556	2099958				

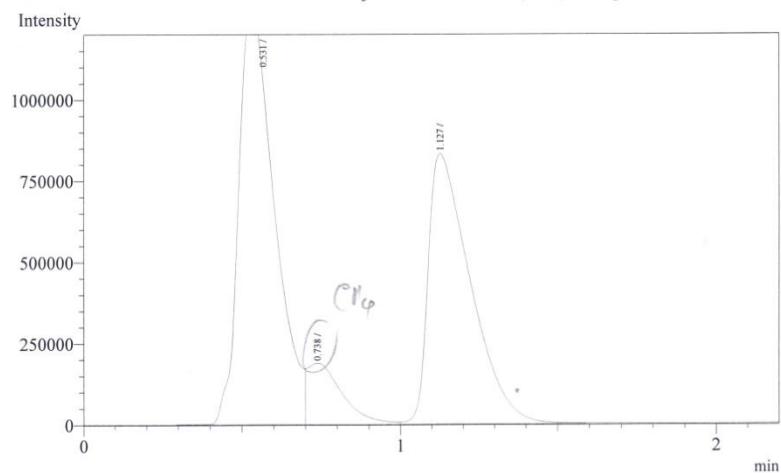
ภาพที่ ก-36 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 3

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:44:29
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : E1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project\air TCD398.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project\Packed column (TCD)-CO2.gcm



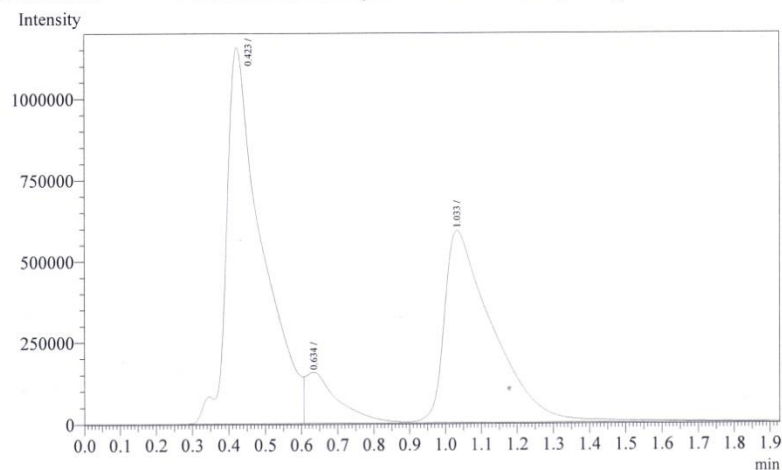
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.531	9990264	1299557	0.000	V			
2	0.738	1427739	188011	0.000	V			
3	1.127	7762494	831387	0.000	SV			
Total		19180497	2318955					

ภาพที่ ก-37 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:47:41
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : E2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD399.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



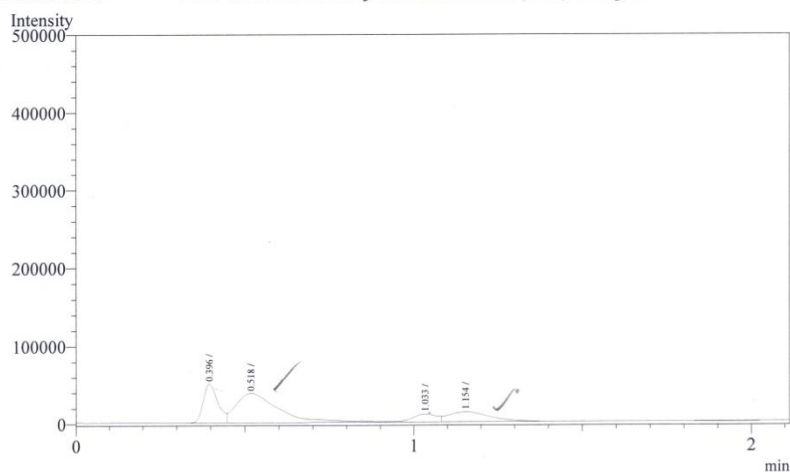
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.423	7765856	1155977	0.000	V			
2	0.634	975525	155954	0.000	V			
3	1.033	5521547	589743	0.000	V			
Total		14262928	1901674					

ภาพที่ ก-38 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:56:39
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : E3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD400.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.396	148702	49640	0.000			
2	0.518	327416	37496	0.000	V		
3	1.033	51598	10165	0.000	V		
4	1.154	105267	12758	0.000	SV		
Total		632983	110059				

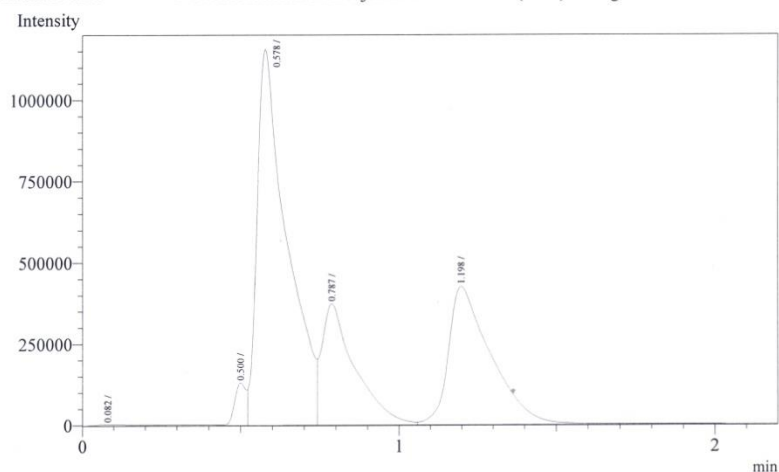
ภาพที่ ก-39 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 3

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 9:59:43
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : F1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD401.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.082	34750	3215	0.000			
2	0.500	332509	130461	0.000	V		
3	0.578	7533799	1154379	0.000	V		
4	0.787	2708007	374040	0.000	V		
5	1.198	4002199	425254	0.000	SV		
Total		14611264	2087349				

ภาพที่ ก-40 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง

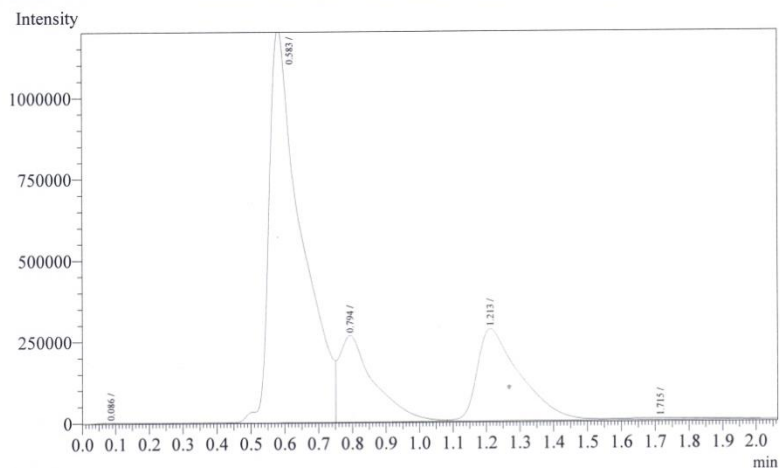
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#3 = Air Peak#4 = CH₄ Peak#5 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:02:38
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : F2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD402.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



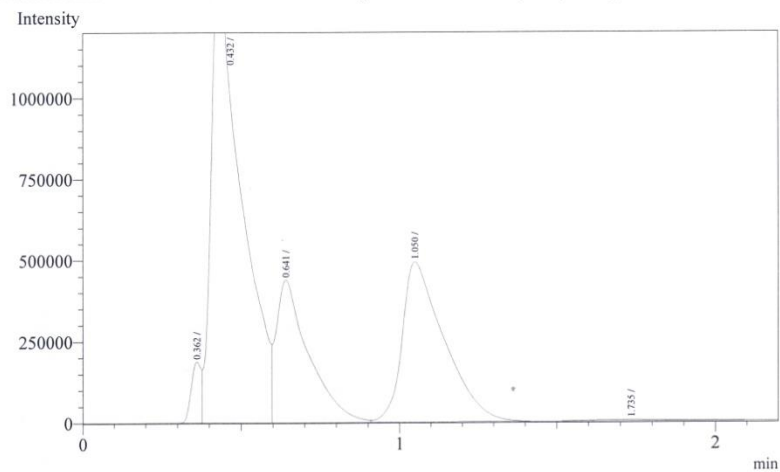
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.086	37547	3550	0.000				
2	0.583	7945334	1208541	0.000		V		
3	0.794	1913766	266400	0.000		V		
4	1.213	2503354	283343	0.000		V		
5	1.715	88204	4570	0.000		V		
Total		12488205	1766404					

ภาพที่ ก-41 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:05:35
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : F3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD403.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



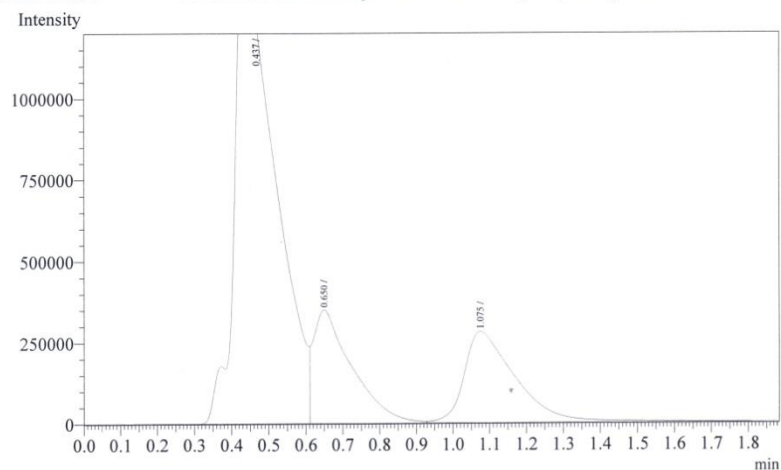
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.362	407309	187449	0.000			
2	0.432	9124166	1401030	0.000	V		
3	0.641	3100087	438118	0.000	V		
4	1.050	4581346	491980	0.000	V		
5	1.735	93476	4352	0.000			
Total		17306384	2522929				

ภาพที่ ก-42 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:08:49
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : G 61
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD404.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



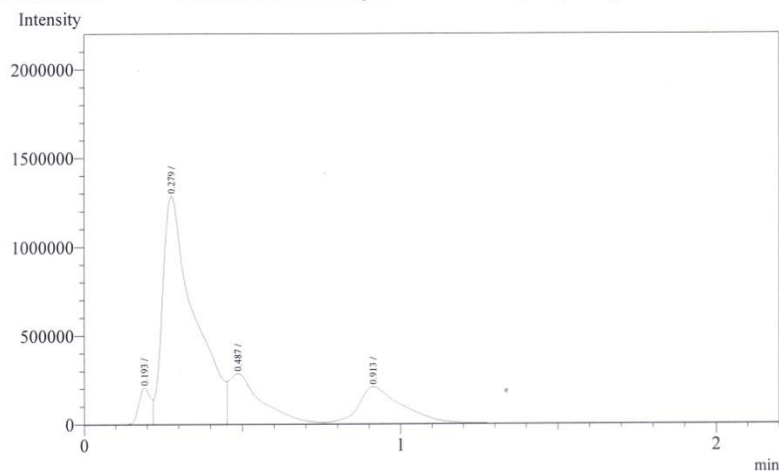
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.437	11100255	1569755	0.000		V		
2	0.650	2526550	350191	0.000		V		
3	1.075	2731214	280967	0.000		V		
Total		16358019	2200913					

ภาพที่ ก-43 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH₄ Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:13:55
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : G2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD405.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.193	524333	202306	0.000				
2	0.279	8865028	1282951	0.000		V		
3	0.487	1996888	283451	0.000		V		
4	0.913	1985508	206633	0.000		V		
Total		13371757	1975341					

ภาพที่ ก-44 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง

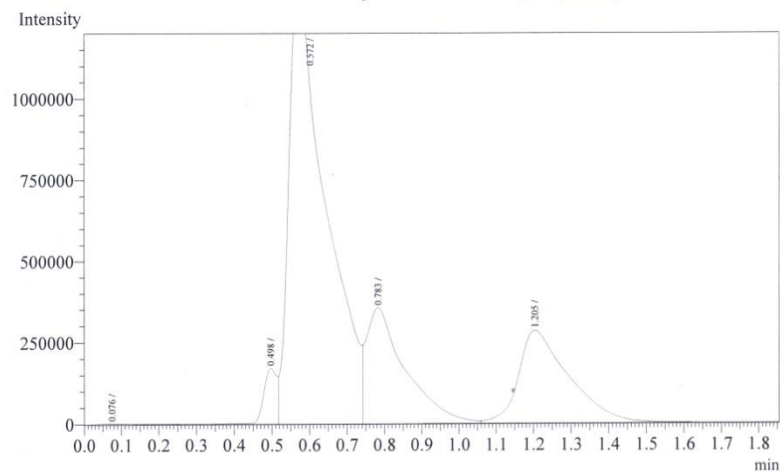
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:20:59
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : G3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD406.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.076	31719	3042	0.000			
2	0.498	427532	170949	0.000	V		
3	0.572	9246227	1395872	0.000	V		
4	0.783	2557433	354580	0.000	V		
5	1.205	2640663	283162	0.000	SV		
Total		14903574	2207605				

ภาพที่ ก-45 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง

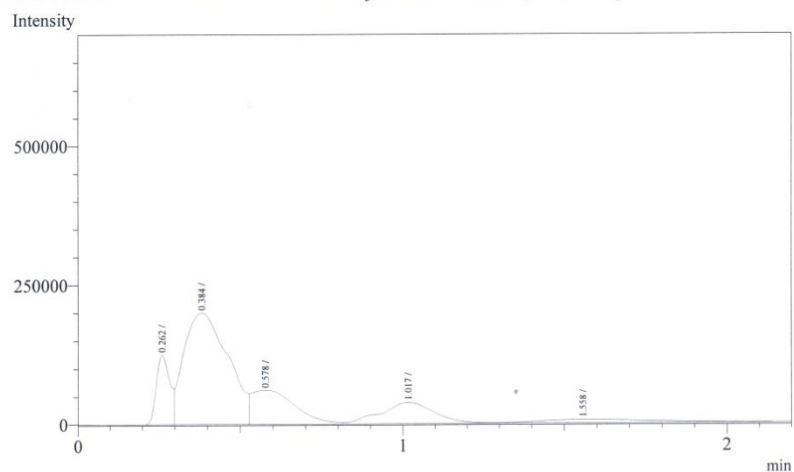
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 3

หมายเหตุ : Peak#3 = Air Peak#4 = CH₄ Peak#5 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:24:03
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : H1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD407.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.262	359958	124654	0.000			
2	0.384	1871437	199838	0.000	V		
3	0.578	560556	61395	0.000	V		
4	1.017	437380	38161	0.000	V		
5	1.558	152049	6068	0.000	V		
Total		3381380	430116				

ภาพที่ ก-46 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง

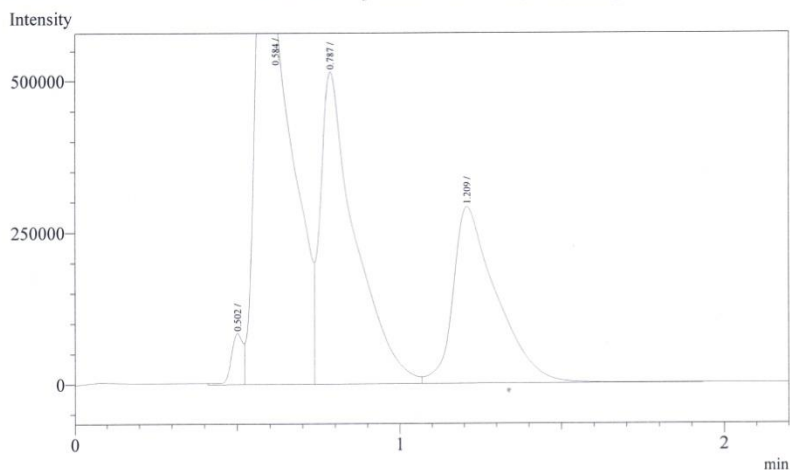
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:31:43
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : H2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD408.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.502	211193	83814	0.000	V		
2	0.584	6031453	932699	0.000	V		
3	0.787	3813299	514411	0.000	V		
4	1.209	2727458	290631	0.000	SV		
Total		12783403	1821555				

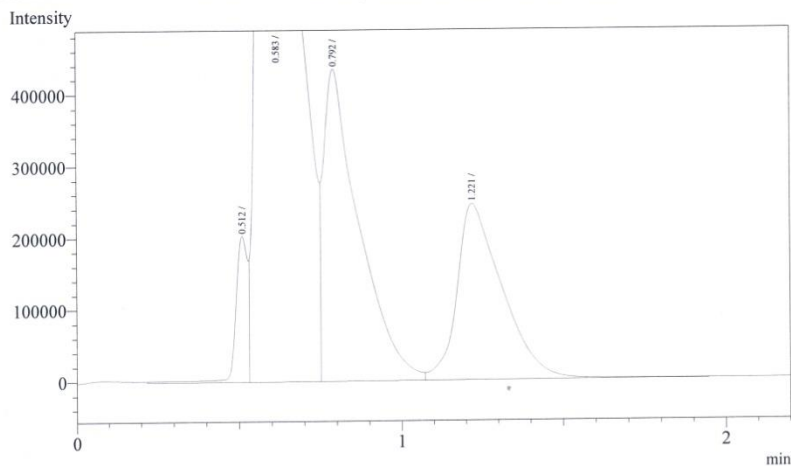
ภาพที่ ก-47 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:35:43
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : H3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD409.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



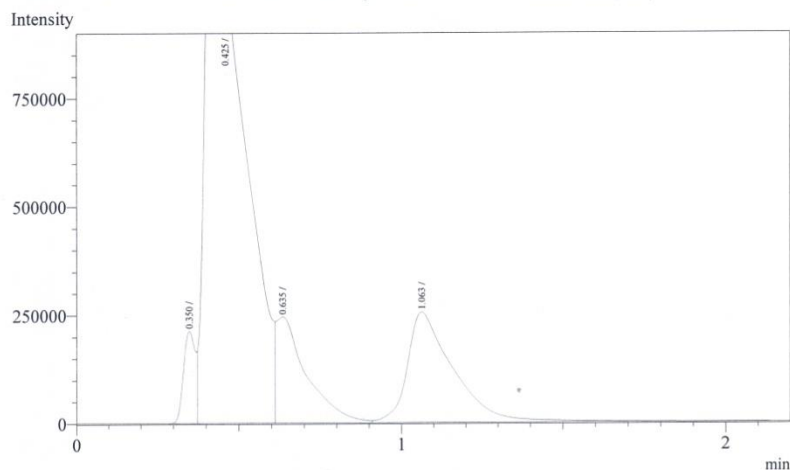
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.512	529471	202930	0.000	V		
2	0.583	9976648	1433488	0.000	V		
3	0.792	3304360	434575	0.000	V		
4	1.221	2393560	244826	0.000	SV		
Total		16204039	2315819				

ภาพที่ ก-48 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:39:07
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : I1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD410.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



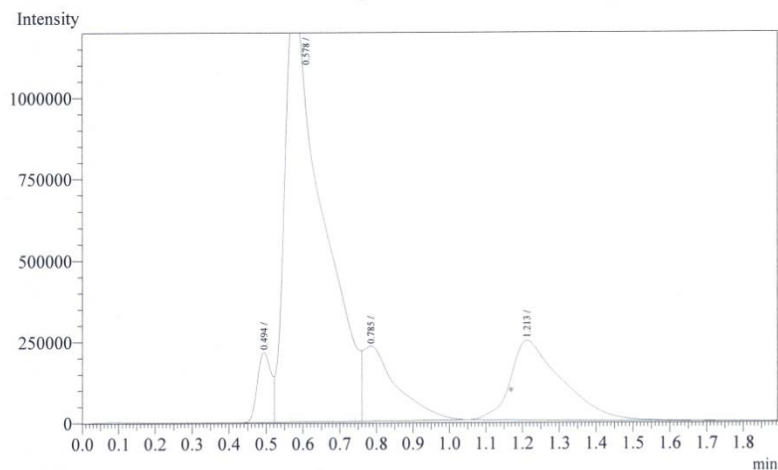
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.350	538379	212372	0.000		V		
2	0.425	10956257	1609706	0.000		V		
3	0.635	1578667	244621	0.000		V		
4	1.063	2544979	254965	0.000		SV		
Total		15618282	2321664					

ภาพที่ ก-49 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:42:19
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : I2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD411.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



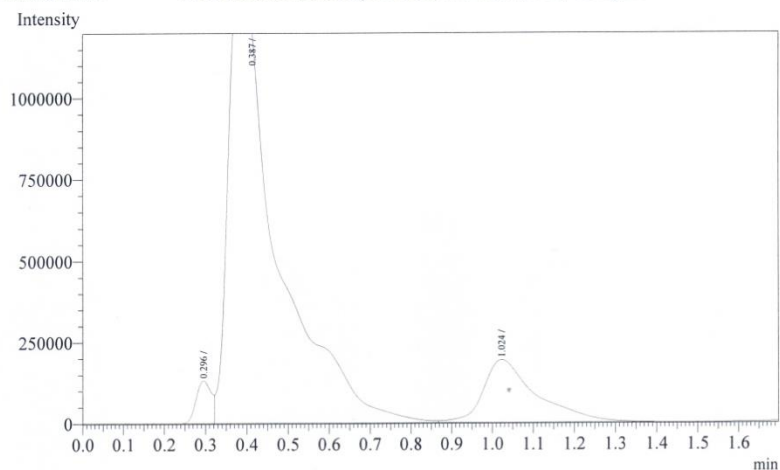
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.494	571111	216007	0.000			
2	0.578	9198149	1320149	0.000	V		
3	0.785	1468763	231367	0.000	V		
4	1.213	2376649	245650	0.000			
Total		13614672	2013173				

ภาพที่ ก-50 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 2
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:45:07
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : I3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD412.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



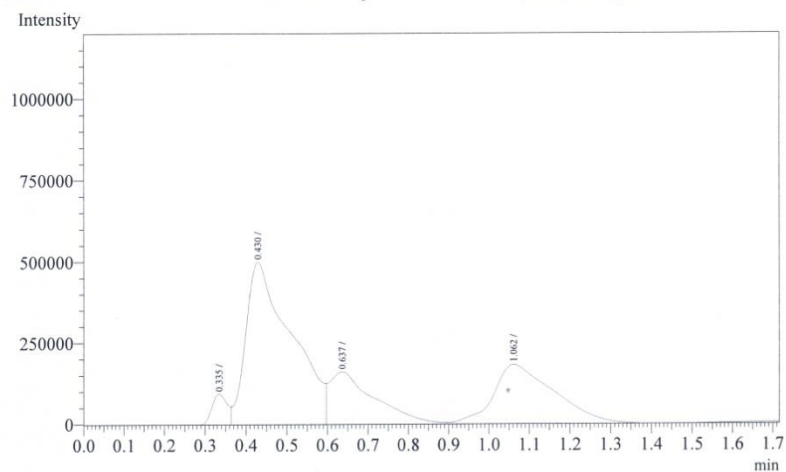
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Compd Name
1	0.296	338759	131545	0.000			
2	0.387	11304741	1446199	0.000	V		
3	1.024	1739954	193300	0.000	V		
Total		13383454	1771044				

ภาพที่ ก-51 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 1 (chamber 1) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:47:53
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : J1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD413.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.335	255429	96236	0.000			
2	0.430	3902070	501948	0.000	V		
3	0.637	1272435	163563	0.000	V		
4	1.062	1918569	183420	0.000	V		
Total		7348503	945167				

ภาพที่ ก-52 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

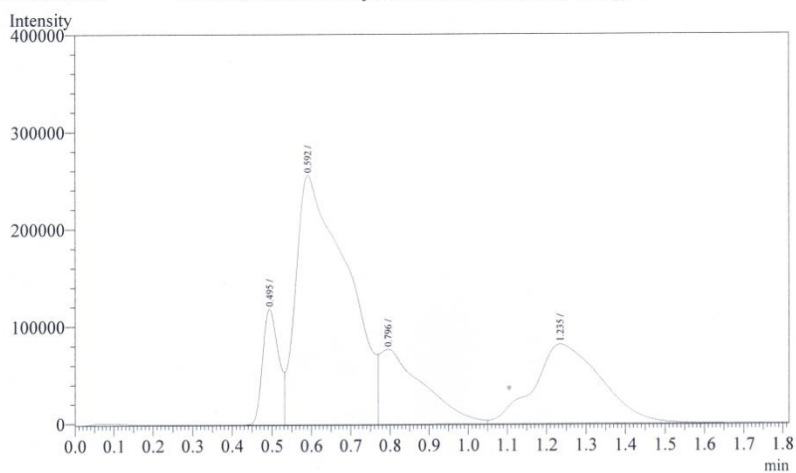
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:50:16
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : J2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project\air TCD414.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.495	337412	118538	0.000				
2	0.592	2307838	256383	0.000		V		
3	0.796	599935	77325	0.000		V		
4	1.235	974142	81757	0.000		V		
Total		4219327	534003					

ภาพที่ ก-53 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

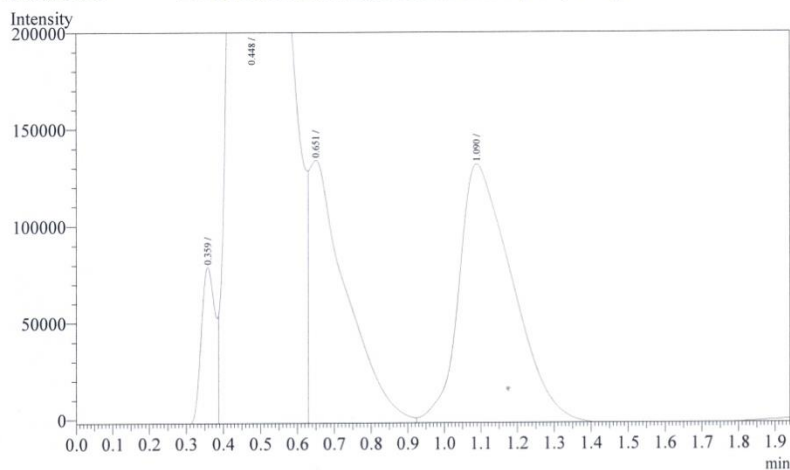
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:52:55
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : J3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD415.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.359	218079	81827	0.000				
2	0.448	5059194	628508	0.000		V		
3	0.651	963918	136973	0.000		V		
4	1.090	1387299	134579	0.000		SV		
Total		7628490	981887					

ภาพที่ ก-54 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

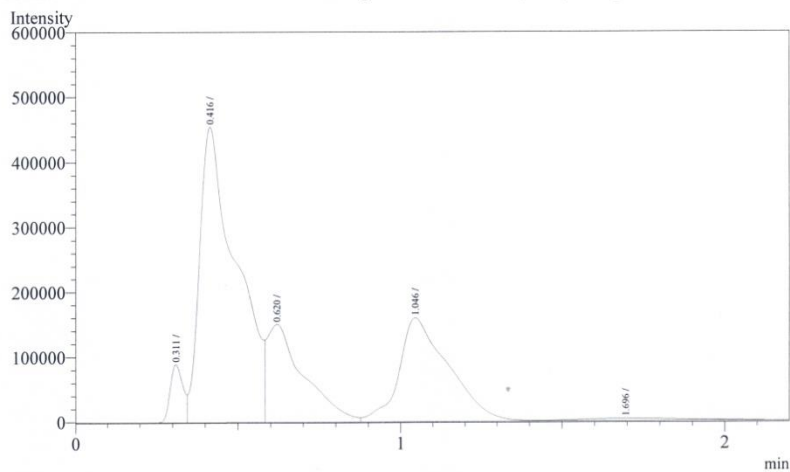
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 2 (chamber 2) ครั้งที่ 3

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:55:45
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : K1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD416.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.311	245743	89376	0.000			
2	0.416	3548552	454176	0.000	V		
3	0.620	1169754	150513	0.000	V		
4	1.046	1707830	159517	0.000	V		
5	1.696	84997	3511	0.000	V		
Total		6756876	857093				

ภาพที่ ก-55 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

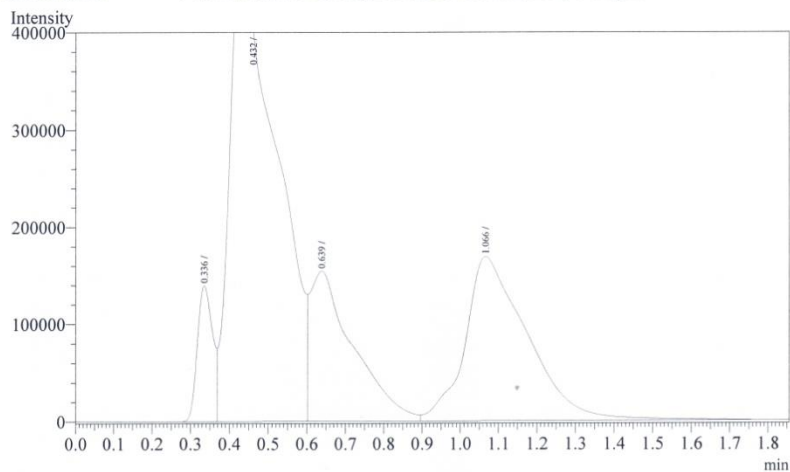
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 10:58:59
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : K2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project\air TCD417.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.336	381868	138775	0.000			
2	0.432	4073702	520565	0.000	V		
3	0.639	1202801	154292	0.000	V		
4	1.066	1904708	168617	0.000	V		
Total		7563079	982249				

ภาพที่ ก-56 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

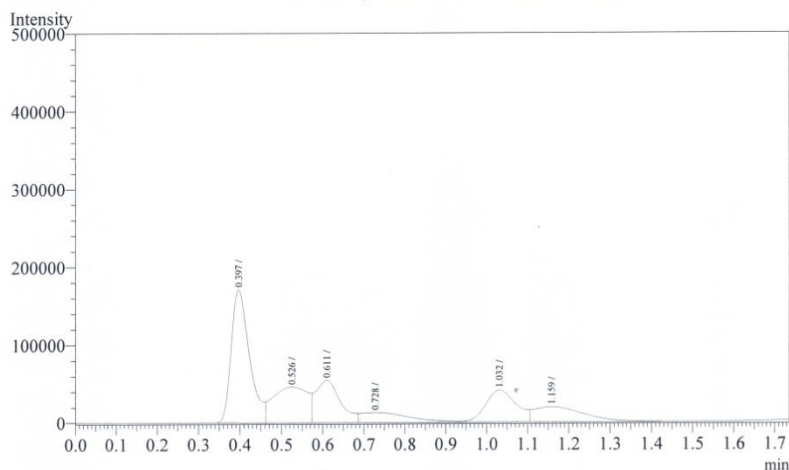
ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CH₄ Peak#4 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 11:01:35
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : K3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD418.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



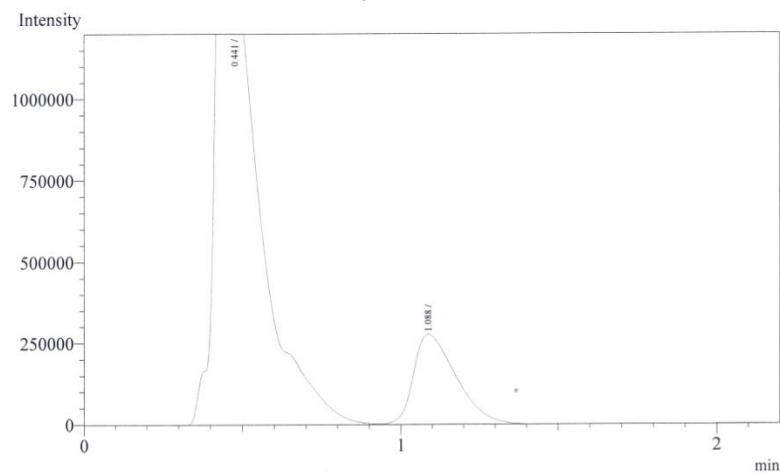
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.397	521809	169659	0.000			
2	0.526	269228	46025	0.000	V		
3	0.611	226059	54656	0.000	V		
4	0.728	105303	12937	0.000	V		
5	1.032	215606	41131	0.000	V		
6	1.159	161884	19476	0.000	V		
Total		1499889	343884				

ภาพที่ ก-57 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 3 (chamber 3) ครั้งที่ 3
 หมายเหตุ : Peak#4 = CH₄ Peak#5 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 11:04:03
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : L1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCSolution\Data\Project1\air TCD419.gcd
 Method Name : C:\GCSolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



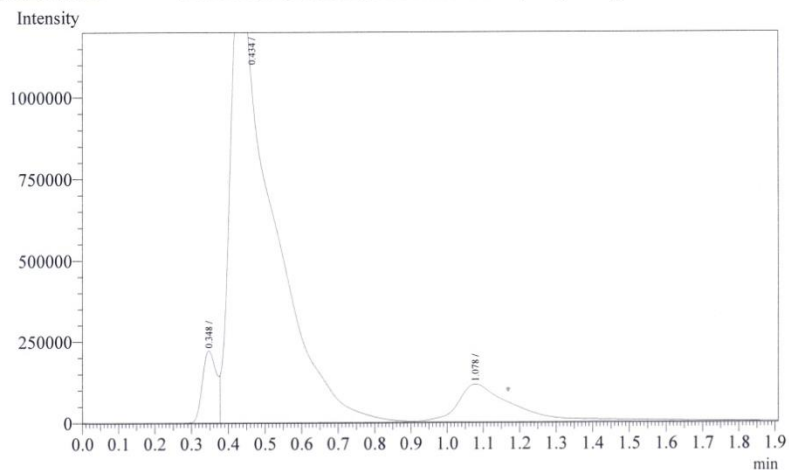
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.441	15029480	1684587	0.000			
2	1.088	2629829	277086	0.000	V		
Total		17659309	1961673				

ภาพที่ ก-58 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง
 ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 1
 หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Analysis Date & Time : 11/3/2557 11:07:07
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : L2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD420.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.348	597225	221120	0.000			
2	0.434	10979536	1410375	0.000	V		
3	1.078	1274030	115990	0.000	V		
Total		12850791	1747485				

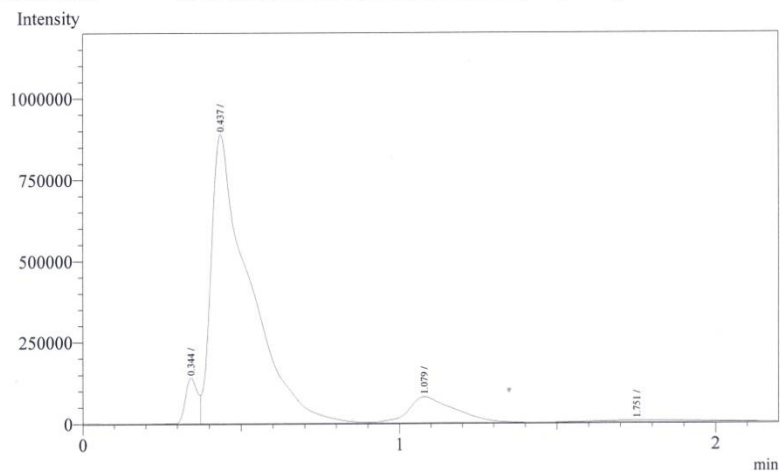
ภาพที่ ก-59 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

Analysis Date & Time : 11/3/2557 11:09:51
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : L3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD421.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.344	373106	140185	0.000	V		
2	0.437	7410494	888680	0.000	V		
3	1.079	817105	80607	0.000	V		
4	1.751	111170	5086	0.000			
Total		8711875	1114558				

ภาพที่ ก-60 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ห้องที่ 4 (chamber 4) ครั้งที่ 3

หมายเหตุ : Peak#2 = Air Peak#3 = CO₂

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

ข-1 การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติ

$$\text{ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติ} = \left(\frac{\text{ซีโอติเข้า} - \text{ซีโอติออก}}{\text{ซีโอติเข้า}} \right) \times 100$$

เช่น ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 100% ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง เมื่อระบบคงที่วันที่ 93 มีค่าซีโอติละลายน้ำเข้าเท่ากับ 7,307 มก./ล. ค่าซีโอติละลายน้ำออกเท่ากับ 2,192 มก./ล. ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติจะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติ} &= \left(\frac{7,307 - 2,192}{7,307} \right) \times 100 \\ &= 70.0\% \end{aligned}$$

จะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติ 70.0%

ข-2 การคำนวณอัตราการบำบัดซีโอติ

$$\text{อัตราการบำบัด} = \frac{\text{ซีโอติเข้า} - \text{ซีโอติออก}}{\text{เวลาเก็บกักน้ำ}}$$

กำหนด ค่าซีโอติน้ำเข้า 5,845 มก./ล.
ค่าซีโอติน้ำออก 1,566 มก./ล.
เวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน
หาอัตราการบำบัดซีโอติ (มก./ล.-วัน)

$$\begin{aligned} \text{อัตราการบำบัด} &= \frac{5,845 - 1,566}{1} \\ &= 4,279 \text{ มก./ล.-วัน} \end{aligned}$$

จะได้อัตราการบำบัดซีโอติ 4,279 มก./ล.-วัน

ข-3 การคำนวณเทียบปริมาณก๊าซมีเทนจากระบบจริงต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบตามค่าทฤษฎี

จากทฤษฎีกำหนดให้ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (หรือเท่ากับ 308 เคลวิน) จะเกิดก๊าซมีเทน 0.395 ลิตร/กรัมซีโอดี (Speece, 2008)

ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ทำการศึกษา อุณหภูมิเฉลี่ยของระบบเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส (หรือเท่ากับ 303 เคลวิน)

$$\text{ดังนั้น จะเกิดก๊าซมีเทน} = \frac{303 \times 0.395}{308} \quad \text{ลิตร/กรัมซีโอดี}$$

$$= 0.3886 \quad \text{ลิตร/กรัมซีโอดี}$$

เช่น ซีโอดีละลายที่เข้าระบบ 73.84 กรัม/วัน
ซีโอดีละลายที่ออกจากระบบ 21.65 กรัม/วัน
จะได้ ซีโอดีที่เหลือ 52.19 กรัม/วัน

$$\text{ดังนั้น ก๊าซที่ได้} = 52.19 \text{ กรัม/วัน} \times 0.3886 \text{ ลิตร/กรัมซีโอดี}$$

$$= 20.28 \text{ ลิตร/วัน}$$

จะได้ปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 20.28 ลิตร/วัน

ข-4 การวิเคราะห์ร้อยละมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)

การวิเคราะห์ร้อยละมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99% ทั้ง 3 ครั้ง พบว่า

$$\text{พื้นที่ใต้กราฟของมีเทน} = \frac{13,945,379 + 14,963,533 + 13,471,389}{3}$$

$$= 14,126,767$$

เช่น จากการฉีควิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซมีเทนมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 2,717,732

$$\begin{aligned} \text{จึงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มีเทน} &= \frac{2,717,732 \times 99}{14,126,767} \\ &= 19.05\% \end{aligned}$$

จะได้ก๊าซมีเทนเท่ากับ 19.05%

- ผลการวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน 99% ทั้ง 3 ครั้ง พบว่า

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ใต้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์} &= \frac{25,710,744 + 24,115,704 + 24,455,478}{3} \\ &= 24,760,642 \end{aligned}$$

เช่น จากการฉีควิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 4,229,142

$$\begin{aligned} \text{จึงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์} &= \frac{4,229,142 \times 99}{24,760,642} \\ &= 16.91\% \end{aligned}$$

จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 16.91%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณิศา พงศ์จิตประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 14 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร ปัจจุบันอายุ 25 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพระหฤทัย คอนแวนต์ กรุงเทพมหานคร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

วรรณิศา พงศ์จิตประเสริฐ, ศรัณย์ เตชะเสน. 2557. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่น เรียบโดยถังปฏิกิริยาแบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 13, 26-28 มีนาคม 2557, จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร. (นำเสนอผลงานแบบบรรยาย)