

ผลของความเข้มข้นซีไอดีและพื้นที่ผิวดักกลางต่อประสิทธิภาพระบบกรองไร้อากาศ

นางสาวสิรินภา สิทธีธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

EFFECT OF COD CONCENTRATION AND MEDIA SURFACE AREA ON EFFICIENCY  
OF ANAEROBIC FILTER PROCESS

Miss Sirinpa Sittitham

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเข้มข้นซีโอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางต่อ
	ประสิทธิภาพระบบกรองไร้อากาศ
โดย	นางสาวสิรินภา สัทธีธรรม
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา ขาวเขียว)

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

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ปธาน บรรจงปรุ)

สิรินภา สิทธิธรรม : ผลของความเข้มข้นซีโอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางต่อประสิทธิภาพระบบกรองไร้อากาศ. (EFFECT OF COD CONCENTRATION AND MEDIA SURFACE AREA ON EFFICIENCY OF ANAEROBIC FILTER PROCESS) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ศรัณย์ เตชะเสน, 132 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายที่มีค่าซีโอดี 100 - 5,000 มก./ล. (เทียบเท่าเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 - 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน) ป้อนน้ำเสียโดยเดินระบบแบบต่อเนื่อง 36 ล./วัน เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ม. สูง 1.5 ม. คิดเป็นเวลาพักชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง โดยใส่ตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 190 ตร.ม./ลบ.ม. เต็มถังกรองไร้อากาศควบคุมพีเอชอยู่ในช่วง 6.8-7.2 และใส่หัวเชื้อจากการหมักมูลสุกรที่ผ่านการเลี้ยงให้ชินกับน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายเป็นระยะเวลา 203 วันประมาณ 40 %ของปริมาณถึง ผลการทดลองพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ  $90 \pm 0.7$   $91.1 \pm 1.2$   $95.4 \pm 1$   $97 \pm 0.1$   $97.8 \pm 0.4$  และ  $97.7 \pm 0.3$  ตามลำดับ และพบว่าค่าซีโอดีเกือบทั้งหมดลดลงที่ความสูงเพียง 0.25 ม.ของถังปฏิกริยา การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางตั้งแต่ 0 - 56,000 ตร.ซม. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 และ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในการบำบัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ  $83 \pm 1.7$  ถึง  $92.3 \pm 1.6$  แสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณตัวกลางลงไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ และพบว่าเวลากักพักทางชลศาสตร์ลดลงตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยคิดเป็นร้อยละ 3.8 9.8 10.9 15.8 5.5 และ 18 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของน้ำเกลือแสดงถึงลักษณะการไหลในถังปฏิกริยาที่อาจอยู่ในสภาวะระหว่างถังแบบกวนสมบูรณ์และถังแบบไหลตามกัน การวิเคราะห์หาค่าจลนพลศาสตร์พบว่าปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นอันดับที่หนึ่งโดยมีค่าคงที่  $k_1$  เท่ากับ 68.98 ต่อวัน เมื่อนำไปสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม AQUASIM 2.1b พบว่าค่าซีโอดีออกที่ได้จากแบบจำลองกับการบำบัดได้จริงมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนค่าจลนพลศาสตร์พบว่าค่าที่ได้จากสมการส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 ของความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น แสดงว่าสามารถนำค่าจลนพลศาสตร์ไปใช้ในการออกแบบระบบกรองไร้อากาศได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2555.....

##5270544121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : DOMESTIC WASTEWATER / LOW STRENGTH WASTEWATER / ATTACHED GROWTH / BIOGAS / KINETIC PARATER

SIRINPA SITTITHAM: EFFECT OF COD CONCENTRATION AND MEDIA SURFACE AREA ON EFFICIENCY OF ANAEROBIC FILTER PROCESS.  
 ADVISOR: ASST. PROF. SARUN TEJASEN, Ph.D., 132 pp.

This research studied the efficiency of anaerobic filter process treating low concentrations of sugar synthetic wastewater of 100 200 500 1,000 2,000 and 5,000 mg-COD/L or 0.1 0.2 0.5 1 2 and 5 kg-COD/m<sup>3</sup>/d as organic loading rates (OLRs), respectively. Continuous flow rate was controlled at 36 liters per day, resulted in a hydraulic retention time of 24 hrs. with pH of 6.8-7.2. Reactors had a diameter of 0.2 m. and height of 1.5 m and filled up with R-190 plastic media with a specific surface of 190 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Inoculums were swine manure incubated with the synthetic wastewater for 203 days previously. Results showed that COD removal efficiencies were increased with concentrations to 90±0.7 91.1±1.2 95.4±1 97±0.1 97.8±0.4 and 97.7±0.3% with OLRs of 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, and 5 kg-COD/m<sup>3</sup>/d ,the, respectively. The results showed that most COD were reduced at first 0.25 m. of reactor. Tracer studies using NaCl showed that distributions of flow were between completely mixed and plug flow conditions. Varying media from 56,000 to 0 cm<sup>2</sup>, while treating both 0.1 and 1.0 kg-COD/m<sup>3</sup>/d, did not affect the system efficiencies which were about 83±1.7 to 92.3±1.6%. Hydraulic retention times were reduced with increasing OLRs, which were 3.8, 9.8, 10.9, 15.8, 5.5, and 18% reduction, respectively. COD removal rates were found to be increased linearly with influent concentrations, with the first order constant (k<sub>1</sub>) of 68.98 per day. Computer modeling was performed using AQUASIM 2.1b program, and modeling results were agreed with laboratory results. The standard error of estimation was less than 10 percent of the initial COD concentration showing the model could be used to design an anaerobic filter treatment process.

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

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

Academic Year : .....2012

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเชิธร ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปิยากร และ ดร. ปธาน บรรจงปรุ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ช่วยให้คำชี้แนะ ให้ความช่วยเหลืองานด้านเอกสาร และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเสมอมา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บริษัท แซนอี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ เชื้อจุลชีพเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บริษัท อควา นิชิฮาระ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวกลางพลาสติก เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ทนุอุดหนุนวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ท่านผู้อำนวยการสมเกียรติ ทั่วมเพ็ง คุณฉัฐพงษ์ สันสิน และห้องปฏิบัติการสำนักงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ ดร. กิตติคุณ ตรุยานนท์ ที่ช่วยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็น

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ นิสิตมหาดบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย และครอบครัววิสุทธิธรรม ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำเสียชุมชน.....	4
2.2 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง.....	7
2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	12
2.3.1 ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis).....	13
2.3.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis).....	13
2.3.3 ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมัน ระเหย (Acetogenesis).....	13
2.3.4 ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis).....	13
2.4 ประเภทของกระบวนการไร้อากาศ.....	15
2.4.1 ถังย่อยสลัดจ์.....	15
2.4.2 ถังย่อยแบบสัมผัส.....	16

	หน้า
2.4.3 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ.....	16
2.4.4 ถังกรองไร้อากาศ.....	16
2.4.5 ระบบชั้นลอยตัวแบบไร้อากาศ.....	17
2.4.6 ระบบยูเอเอสบี.....	18
2.4.7 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้อากาศ.....	19
2.4.8 ระบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ.....	20
2.4.9 บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	21
2.5 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับกระบวนการไร้อากาศ.....	21
2.5.1 อุณหภูมิ.....	21
2.5.2 พีเอช.....	21
2.5.3 กรดไขมันระเหยและสภาพต่าง.....	21
2.5.4 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา.....	22
2.5.5 ธาตุอาหาร.....	24
2.6 ถังกรองไร้อากาศ.....	25
2.6.1 ลักษณะทั่วไป.....	25
2.6.2 ค่าการออกแบบ.....	27
2.6.2.1 ความเข้มข้นและอุณหภูมิของน้ำเสีย.....	27
2.6.2.2 ชนิดและคุณสมบัติของตัวกลาง.....	27
2.6.2.3 ความสูงของถังปฏิกรณ์.....	29
2.6.2.4 ความเข้มข้นซีไอดีและภาระสารอินทรีย์.....	30
2.6.2.5 ระยะกักพักชลศาสตร์.....	31
2.6.2.6 ความเข้มข้นของมวลจุลชีพ.....	31
2.6.2.7 การเวียนกลับน้ำทิ้ง.....	31



2.6.3	ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของระบบถังกรองไร้อากาศ เทียบกับระบบชีวภาพอื่นๆ.....	32
2.7	การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์.....	33
2.7.1	สมการของ Monod.....	33
2.7.2	สมการของ Lineweaver-Burk.....	34
2.7.3	สมการของ Hanes.....	35
2.7.4	สมการของ Hofstee.....	36
2.8	วิวัฒนาการและการศึกษาวิจัยถังกรองไร้อากาศ.....	37
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	43
3.1	แผนการทดลอง.....	43
3.1.1	การทดลองที่ 1 การศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตรา การบำบัด.....	43
3.1.2	การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการ บำบัด.....	44
3.1.3	การทดลองที่ 3 ทดสอบการอุดตันของระบบ.....	45
3.1.4	การทดลองที่ 4 การหาค่าจลนพลศาสตร์.....	46
3.1.5	การทดลองที่ 5 สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	46
3.2	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	49
3.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	49
3.2.2	น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย.....	50
3.3	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย.....	51
3.4	วิธีที่ใช้วิเคราะห์.....	52
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
4.1	การศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด.....	53

	หน้า
4.1.1 การเริ่มต้นเดินระบบ.....	53
4.1.2 ค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) และค่าซีโอดีละลาย (SCOD).....	53
4.1.3 พีเอช (pH).....	57
4.1.4 อุณหภูมิ (Temperature).....	57
4.1.5 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างทั้งหมด.....	59
4.1.5.1 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid).....	59
4.1.5.2 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity).....	61
4.1.5.3 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างทั้งหมด.....	62
4.1.6 ของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)....	63
4.1.7 ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume) และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH <sub>4</sub> ).....	65
4.1.8 อัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศ.....	67
4.2. การศึกษาผลของพื้นที่ตัวกลางต่ออัตราการบำบัด.....	69
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	69
4.2.1.1 ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.....	69
4.2.1.2 ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล.....	76
4.2.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักรวมตัวกลางที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างๆ.....	82
4.3. การทดสอบการอุดตันของระบบ.....	83
4.4. การหาค่าจลนพลศาสตร์.....	86
4.5. การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	90
4.5.1 การตรวจสอบผลโดยใช้โปรแกรม AQUASIM.....	90
4.5.2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์.....	93

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	94
5.1.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด.....	94
5.1.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด.....	94
5.1.3 การทดสอบการอุดตันของระบบ.....	94
5.1.4 การหาค่าจลนพลศาสตร์.....	95
5.1.5 การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	95
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	100
ก.-1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด.....	101
ก.-2 ผลการทดสอบการอุดตัน.....	107
ก.-3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ.....	108
ภาคผนวก ข การคำนวณ.....	122
ข.-1 การคำนวณอัตราการไหลของบ่มี.....	123
ข.-2 การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดี.....	123
ข.-3 การคำนวณอัตราการบำบัดชีโอดี.....	124
ข.-4 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	124
ภาคผนวก ค ตัวแปรต่างๆในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	125
ค.-1 Variables.....	126
ค.-2 Processes.....	129
ค.-3 Compartments.....	130
ค.-4 Definitions of Calculations.....	131

	หน้า
ค.-5 Plot Definitions.....	131
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	132

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน..... 5
2.2	แสดงลักษณะน้ำเสียชุมชน..... 6
2.3	ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด..... 10
2.4	ปริมาณสารพิษที่ขีดขวางการทำงานของแบคทีเรีย..... 23
2.5	ความเข้มข้นของสารพิษที่ขีดขวางการทำงานของแบคทีเรีย 50%..... 24
2.6	ปริมาณธาตุอื่นๆที่ต้องการ..... 25
2.7	เปรียบเทียบระบบกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นและไหลลง..... 26
2.8	ลักษณะของถังกรองไร้อากาศ..... 26
2.9	ลักษณะตัวกลางพลาสติก Model R-190..... 28
2.10	รายละเอียดของตัวกลางที่บรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ..... 31
2.11	ค่าการออกแบบระบบบำบัดแบบ Upflow Attached Growth Reactor..... 41
2.12	ค่าการออกแบบระบบบำบัดแบบ Upflow Anaerobic Filter..... 42
3.1	แผนการทดลองป้อนน้ำเสียสังเคราะห์..... 44
3.2	ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์..... 52
4.1	ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยง่าย สภาพความเป็นด่างทั้งหมดและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่..... 63
4.2	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ก๊าซที่สภาวะคงที่..... 66
4.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่..... 70
4.4	สรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่..... 71
4.5	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่..... 76

ตารางที่	หน้า
4.6	สรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่..... 77
4.7	ตัวแปรและสมการที่ใช้ในการจำลองโดยโปรแกรม AQUASIM 2.1b..... 90
4.8	ค่าการทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์..... 93
ก.-1	ค่าอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ..... 101
ก.-2	ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆเมื่อสภาวะคงที่..... 106
ก.-3	ค่ากราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำเกลือกับค่าการนำ ไฟฟ้า..... 107

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กลไกการย่อยสลายแบบ ไร้อากาศ.....	12
2.2 ถังย่อยแบบอัตราต่ำ.....	15
2.3 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน.....	15
2.4 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส.....	16
2.5 ระบบถังกรอง ไร้อากาศ.....	17
2.6 ระบบชั้นลอยตัวแบบ ไร้อากาศ.....	18
2.7 ระบบยูเอเอสบี.....	19
2.8 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor.....	20
2.9 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor.....	20
2.10 ตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 Random Flow Media.....	29
2.11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Monod.....	33
2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Lineweaver-Burk.....	34
2.13 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hane.....	35
2.14 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hofstee.....	36
3.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NaCl กับค่าการ นำไฟฟ้า.....	45
3.2 แผนผังรวมสรุปขั้นตอนการทดลองทั้งหมดของงานวิจัยนี้.....	48
3.3 ลักษณะถังกรอง ไร้อากาศ.....	49
3.4 หัวเชื้อแอนแอโรบิกจากบริษัท แซนอี.68 คอนซัลติง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด.....	50
3.5 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	51
4.1 กราฟแสดงการบำบัดชีโอดีทั้งหมดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	55
4.2 กราฟแสดงการบำบัดชีโอดีละลายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	56

ภาพที่	หน้า
4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆใน ถังกรองไร้อากาศ.....	58
4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ค่าอัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ต่างๆในถังกรองไร้อากาศ.....	59
4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพ่างทั้งหมดที่ค่าอัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ต่างๆในถังกรองไร้อากาศ.....	61
4.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยที่ค่าอัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ต่างๆในถังกรองไร้อากาศ.....	64
4.7 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	66
4.8 กราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพทางทฤษฎีเทียบกับผลการทดลอง.....	66
4.9 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศ.....	67
4.10 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	69
4.11 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีต่อปริมาณตัวกลางที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.	70
4.12 กราฟแสดงการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.....	72
4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.....	73
4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายและสภาพ่างทั้งหมดที่ ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.....	74
4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.ใน ถังกรองไร้อากาศ.....	75
4.16 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีต่อปริมาณตัวกลางที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล.	76
4.17 กราฟแสดงการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล...	78
4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล...	79
4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายและสภาพ่างทั้งหมดที่ ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล.....	80



ภาพที่	หน้า
4.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงแจนลอยที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีไอดี/ล. ในถังกรองไร้อากาศ.....	81
4.21 กราฟแสดงน้ำหนักรวมของเซลล์ต่อระยะเวลาในถังกรองไร้อากาศ.....	82
4.22 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้ากับระยะเวลา.....	84
4.23 กราฟแสดงเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	86
4.24 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีไอดีต่อปริมาณซีไอดีขาเข้าเทียบกับปริมาตรน้ำ.....	87
4.25 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีไอดีต่อปริมาณซีไอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพขาเข้า.....	87
4.26 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่า bCOD และ nbCOD จากโปรแกรม Microsoft Excel..	88
4.27 กราฟแสดงค่าซีไอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเทียบกับค่าซีไอดีขาเข้า.....	89
4.28 กราฟแสดงค่าซีไอดีขาออกแบบจำลองเทียบกับการบำบัดจริง.....	91
ก.-1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำเกลือกับค่าการนำไฟฟ้า.....	107
ก.-2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1.....	108
ก.-3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2.....	109
ก.-4 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 200 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1.....	110
ก.-5 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 200 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2.....	111
ก.-6 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 500 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1.....	112
ก.-7 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 500 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2.....	113
ก.-8 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1.....	114
ก.-9 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2.....	115
ก.-10 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 2,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1.....	116
ก.-11 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 2,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2.....	117
ก.-12 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 5,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1.....	118
ก.-13 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 5,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2.....	119

ภาพที่	หน้า
ก.-14 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 1.....	120
ก.-15 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 2.....	121

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่นิยมก่อสร้างได้แก่ ระบบ Activated sludge ที่มีราคาแพงในการก่อสร้างและการดูแลระบบ งานวิจัยนี้เลือกใช้การบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศ เนื่องจากราคาก่อสร้างและดูแลรักษาต่ำ สามารถประหยัดพลังงานในการเดินระบบและได้พลังงานทดแทน (ก๊าซมีเทน) ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เป็นเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) แบบยึดติดกับตัวกลาง (Attached Growth) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆทำให้มีอายุตะกอนยาวนาน ตัวกลางที่กระจายอยู่ตลอดหน้าตัดน้ำส่งเสริมให้จุลินทรีย์สัมผัสน้ำเสียอย่างทั่วถึงโดยไม่ต้องอาศัยการกวน และไม่จมลงก้นบ่อเหมือนระบบอื่น จึงประหยัดพลังงาน ทนต่อความเป็นพิษชั่วคราวของน้ำเสียได้ สามารถรองรับความสกปรกของสารอินทรีย์ได้สูงและทนต่อความแปรปรวนของภาระบรรทุกอินทรีย์ได้ดี

ปัจจุบันข้อมูลในการออกแบบและค่าจลนพลศาสตร์ของถังกรองไร้อากาศสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำยังมีไม่เพียงพอ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางเพื่อใช้ในการหาค่าจลนพลศาสตร์และนำไปสู่การออกแบบสำหรับน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้การจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถจำลองสถานะการทำงานของระบบภายใต้ภาระบรรทุกทางลศาสตร์ต่างๆกันได้ ซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบหรือผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียสามารถออกแบบหรือปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในปัจจุบันพระราชบัญญัติควบคุมอาคารได้กำหนดให้อาคารที่พักอาศัยทั่วไปต้องใช้ระบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่ออัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ
2. เพื่อศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่อการบำบัดซีโอดีในระบบถังกรองไร้อากาศ
3. เพื่อหาค่าจลนพลศาสตร์ของระบบถังกรองไร้อากาศ
4. นำค่าจลนพลศาสตร์มาใช้จำลองระบบบำบัดน้ำเสียและเปรียบเทียบหาคความคลาดเคลื่อนของผลจากแบบจำลองและผลการบำบัดจริง

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิจัยภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ดำเนินการที่อุณหภูมิจากห้อง เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. ถังกรองไร้อากาศทำด้วยท่อพีวีซี ทรงกระบอกสูง 150 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. มีพื้นที่หน้าตัด 315 ตร.ซม. มีปริมาตร 48 ล.
2. หัวเชื้อที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบเป็นหัวเชื้อแอนแอโรบิกจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ
3. ตัวกลางเป็นตัวกลางพลาสติก รุ่น R-190 ชนิด Random flow configuration ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. สูง 22 มม. ทำจากโพลีเอทิลีน บริษัท Aqua nishihara corporation limited
4. น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากน้ำตาลทราย มีค่าความเข้มข้นในรูปซีโอดี 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก./ล.
5. การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวตัวกลางจากเต็มถังกรองไร้อากาศ (350 อัน มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 56,000 ตร.ซม.) ให้ลดลงเป็น 32,000 16,000 8,000 3,200 1,600 และ 0 ตร.ซม. โดยการหยิบออก ใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมจากข้อที่ 4
6. ทดสอบการดูดซับด้วยสารติดตาม (Tracer study) คือ น้ำเกลือ (NaCl) ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
7. ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ Total COD, pH, SCOD, MLSS, Volatile fatty acid, Total alkalinity, Total gas volume, Temperature และ Percent methane
8. การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์โดยนำสมการปฏิริยาอันดับที่ 1 (1<sup>st</sup>-order) มาใช้ในการศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ ได้แก่ ค่า k
9. ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ AQUASIM 2.1b ในการสร้างแบบจำลอง

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ตัวแทนค่าจลนพลศาสตร์การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนของระบบถังกรองไร้อากาศ
2. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำเสียชุมชน

น้ำเสีย หมายถึงน้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆมากมาย ซึ่งเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประโยชน์อีกต่อไป เมื่อน้ำเสียลงสู่ลำน้ำตามธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพของน้ำเสียหายได้ ดังนั้นน้ำเสียชุมชนจึงหมายถึงน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพซึ่งได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือนและอาคารประเภทต่างๆ เป็นต้น ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ซึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนสามารถย่อยสลายได้ ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงจนเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่าในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากและสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย
2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆที่อาจจะไม่สามารถทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเหม็นแต่อาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์, ซัลเฟต เป็นต้น
3. โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ซึ่งอาจเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และอาจมาจากสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ ตู้ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น
4. ไขมันและสารลอยน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศไม่ให้ละลายลงสู่ลำน้ำได้ ทำให้เกิดสภาพไม่โปร่ง และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเสียชีวิต
5. ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้อากาศที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง และมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ที่อาศัยในแหล่งน้ำ

6. สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะขัดขวางการกระจายของออกซิเจนในอากาศไม่ให้ละลายสู่น้ำ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
7. จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต จึงทำให้ระดับของออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น
8. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีธาตุเหล่านี้ในปริมาณสูงจะทำให้สาหร่ายเกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดต่ำลงมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำอีกด้วย
9. กลิ่น เกิดปัญหาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศหรือกลิ่นอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคารจะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และลักษณะน้ำเสียชุมชน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ล./คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2538

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	390	720	1230
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	270	500	860
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	120	210	400
2. ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	5	10	20
3. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	มก./ล.	110	190	350
4. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	มก./ล.	250	430	800
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	70
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)	มก./ล.	8	15	25
แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	45
ไนไตรท์ (Nitrites)	มก./ล.	0	0	0
ไนเตรท (Nitrate)	มก./ล.	0	0	0
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	7	12
สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	2	4
สารอนินทรีย์ (Inorganic)	มก./ล.	3	5	8
7. คลอไรด์ (Chloride) <sup>(1)</sup>	มก./ล.	30	50	90
8. ซัลเฟต (Sulfate) <sup>(1)</sup>	มก./ล.	20	30	50
9. ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	90	100
10. Total Coliform	หน่วย/ 100 มล.	$10^6$ - $10^8$	$10^7$ - $10^9$	$10^7$ - $10^{10}$

หมายเหตุ : (1) เป็นค่าที่เพิ่มจากค่าที่ตรวจพบในน้ำใช้ปกติ

ที่มา : Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy 2004



## 2.2 คำมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

คำมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งการแบ่งประเภทของอาคาร แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. อาคารประเภท ก. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้
  1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ห้องนอนขึ้นไป
  2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่พักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 200 ห้องขึ้นไป
  3. โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 30 เตียงขึ้นไป
  4. อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตร.ม.ขึ้นไป
  5. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 55,000 ตร.ม.ขึ้นไป
  6. อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตร.ม.ขึ้นไป
  7. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตร.ม.ขึ้นไป
  8. ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตร.ม.ขึ้นไป

## 2. อาคารประเภท ข. หมายความว่าอาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน
2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 60 ห้อง แต่ไม่ถึง 200 ห้อง
3. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ห้องขึ้นไป
4. สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตร.ม.ขึ้นไป
5. โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่ถึง 30 เตียง
6. อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 25,000 ตร.ม.
7. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10,000 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 55,000 ตร.ม.
8. อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 25,000 ตร.ม.
9. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 2,500 ตร.ม.
10. กภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 2,500 ตร.ม.

3. อาคารประเภท ค. หมายความว่าถึงอาคารดังต่อไปนี้
  1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ไม่ถึง 100 ห้องนอน
  2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มอาคาร ไม่ถึง 60 ห้อง
  3. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ห้อง แต่ไม่ถึง 250 ห้อง
  4. สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 5,000 ตร.ม.
  5. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 10,000 ตร.ม.
  6. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 1,500 ตร.ม.
  7. ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 500 ตร.ม.
4. อาคารประเภท ง. หมายความว่าถึงอาคารดังต่อไปนี้
  1. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่ถึง 50 ห้อง
  2. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 1,000 ตร.ม.
  3. ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ตร.ม. แต่ไม่ถึง 250 ตร.ม.
5. อาคารประเภท จ. หมายความว่าถึงภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้น ไม่ถึง 100 ตร.ม.

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภท มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง					วิธีวิเคราะห์
		ก	ข	ค	ง	จ	
1. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 200	ใช้วิธีการ Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 °ซ. เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ
3. ปริมาณของแข็ง - ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 60	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
- ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	-	วิธีการกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) ขนาดบรรจุ 1,000 ลบ.ซม ในเวลา 1 ชม.
- ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid)	มก./ล.	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	-	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ. ในเวลา 1 ชม.
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 3.0	ไม่เกิน 4.0	-	วิธีการไตเตรต (Titrate)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภท มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง					วิธีวิเคราะห์
		ก	ข	ค	ง	จ	
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	ไม่ เกิน 35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 40	-	วิธีการเจลดาคัล (kjeldahl)
6. น้ำมันและ ไขมัน (Fat, Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่ เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่ เกิน 100	วิธีการสกัดด้วยตัวทำ ละลาย แล้วแยกหา น้ำหนักของน้ำมันและ ไขมัน

#### หมายเหตุ

1. วิธีการตรวจสอบลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียใน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ร่วมกันกำหนดไว้

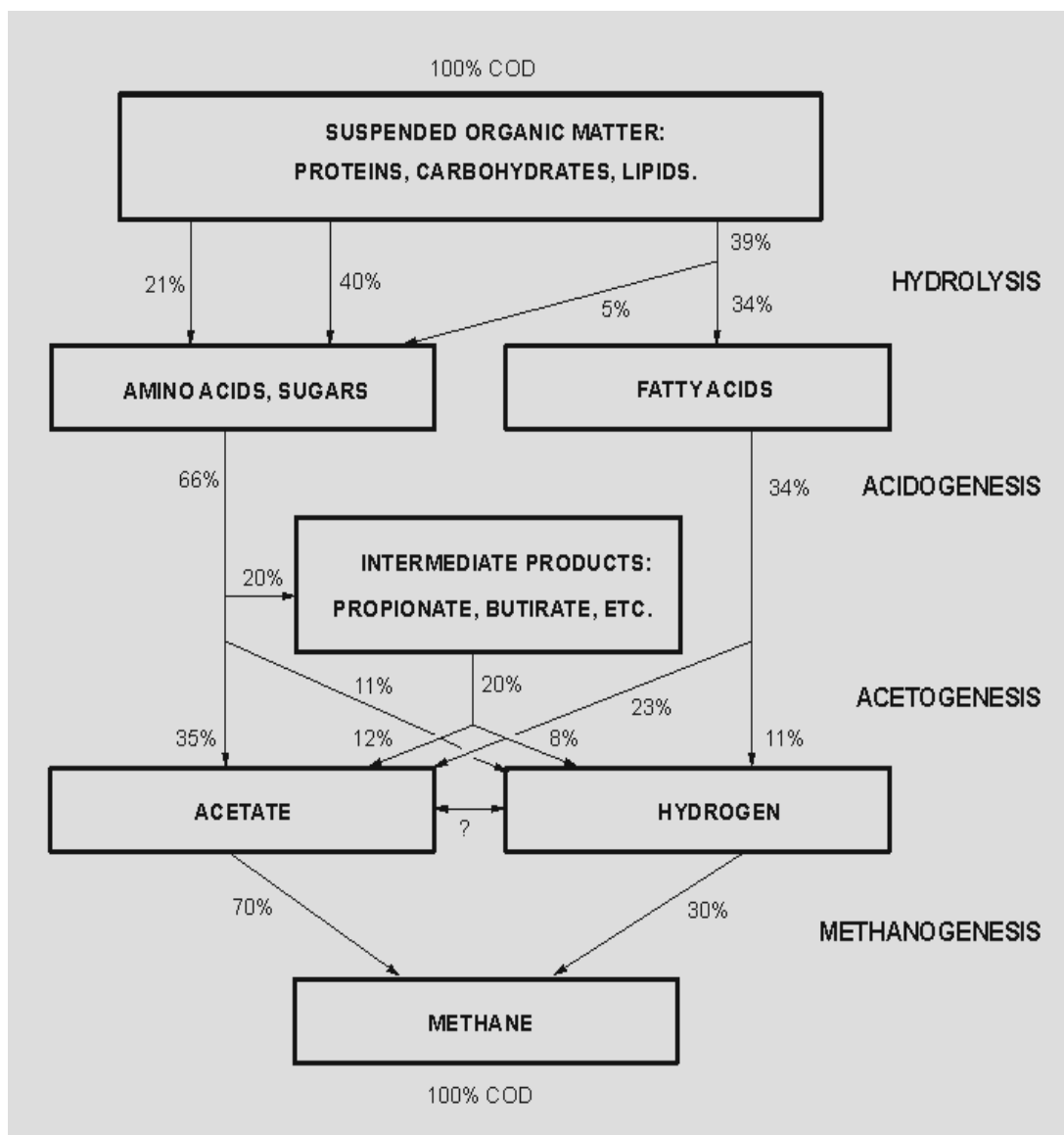
\* เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำตามปกติ

2. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ลงวันที่ 10 มกราคม 2537 ยกเลิก ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรฯ (ก)

3. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2538) เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 10 มกราคม 2537 ยกเลิก ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรฯ (ข)

## 2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

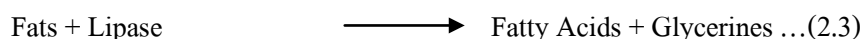
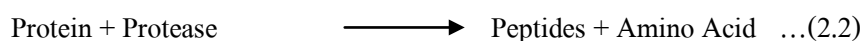
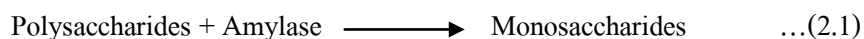
การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ มีลักษณะเป็นขั้นตอนที่ซับซ้อน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ลำดับขั้นตอน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กลไกการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Adrianus และ Jeroen, 2007)

### 2.3.1 ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิส เป็นกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยการปล่อยเอนไซม์ของแบคทีเรียในการย่อยสลายสาร ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดซีไอดี แต่เป็นการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ 2.1 2.2 และ 2.3

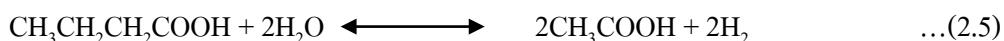


### 2.3.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลจากปฏิกิริยาแรกจะถูกแบคทีเรียพวกที่สร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 อะตอม

### 2.3.3 ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการ Acidogenesis นั้นจะถูกแบคทีเรียพวกที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogeous) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซียลต่ำเท่านั้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.4 และ 2.5

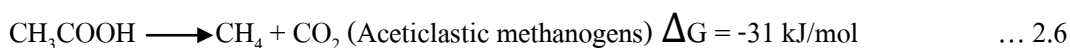


### 2.3.4 ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการนี้ใช้กรดอะซิติก ไฮโดรเจน สร้างก๊าซมีเทนซึ่งนอกเหนือจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรตอย่างง่ายบางชนิดในการสร้างก๊าซมีเทน เช่น กรดฟอร์มิก และเมทานอลได้เช่นเดียวกัน (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542) ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด และจะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อใช้ในการสร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogeous) มี 2 กระบวนการ ดังนี้

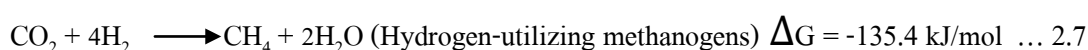
### กระบวนการที่ 1

เกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetoclastic methanogens (ได้แก่ *Methanosarcina* และ *Methanothrix* รวมเรียกว่า *Methanoseat*) ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เกิดประมาณ 70% ของก๊าซมีเทนที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ ดังสมการที่ 2.6



### กระบวนการที่ 2

เกิดจากแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogen-utilizing methanogens โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเลคตรอน และมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอน ดังสมการที่ 2.7



นอกจากนี้แบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารเพียงอย่างเดียว เนื่องจาก กรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการที่ 2.8



แบคทีเรียสร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตได้ช้า และสภาพแวดล้อมนั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนมาก โดยพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.8 - 7.2 นอกจากนี้แบคทีเรียในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้เพียงสารอาหารที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิส และขั้นตอนการสร้างกรด

*Methanosarcina* บางชนิดนั้นจะหยุดการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 65°C. โดยที่อุณหภูมิ 60°C. นั้นจะพบ *Methanobacterium* เป็นจำนวนมาก ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการสร้างมีเทนของแบคทีเรีย

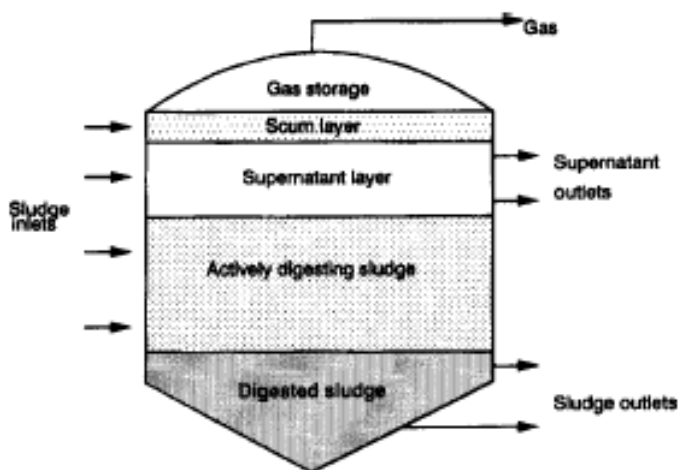
Sulfate-reducing bacteria ทำให้เกิดปัญหาในระบบ เมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน



## 2.4 ประเภทของกระบวนการไร้อากาศ

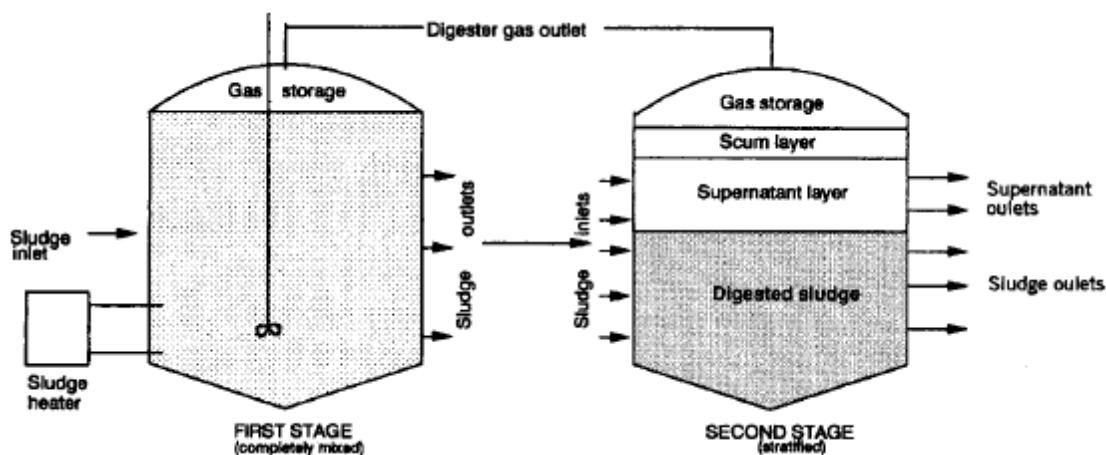
### 2.4.1 ถังย่อยสลัดจ์

ระบบนี้ใช้บำบัดสลัดจ์ซึ่งเป็นตะกอนอินทรีย์ องค์ประกอบหลักของระบบนี้ได้แสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งเป็นถังย่อยที่ไม่มีกวนตะกอนและไม่มีการปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราต่ำ (low rate digester) ส่วนภาพที่ 2.3 เป็นถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอนออกจากน้ำ



ภาพที่ 2.2 ถังย่อยแบบอัตราต่ำ

ที่มา: Bitton, 2005

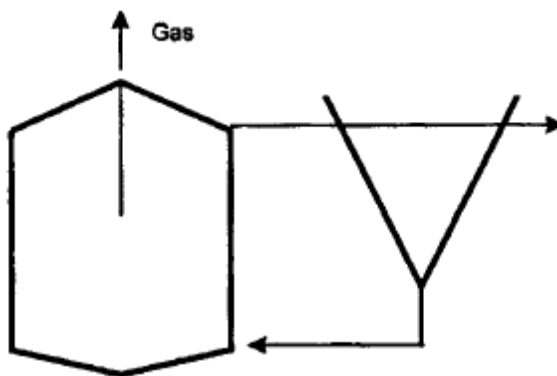


ภาพที่ 2.3 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน

ที่มา: Bitton, 2005

### 2.4.2 ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic contact)

ถังย่อยนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดนั้นอาจเป็นได้ทั้งของแข็งหรือสารละลาย ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถึงปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ ดังภาพที่ 2.4 ดังนั้นถังย่อยแบบสัมผัสนี้จึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยตะกอนนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีดังเช่น ระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบนั้นไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่อยู่ในระบบไม่สามารถตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดของสลัดจ์เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสจึงแทบเหลือแต่ชื่อเนื่องจากมิได้มีผู้นำไปใช้ประโยชน์อีกเลย



ภาพที่ 2.4 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส

ที่มา: Bitton, 2005

### 2.4.3 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ

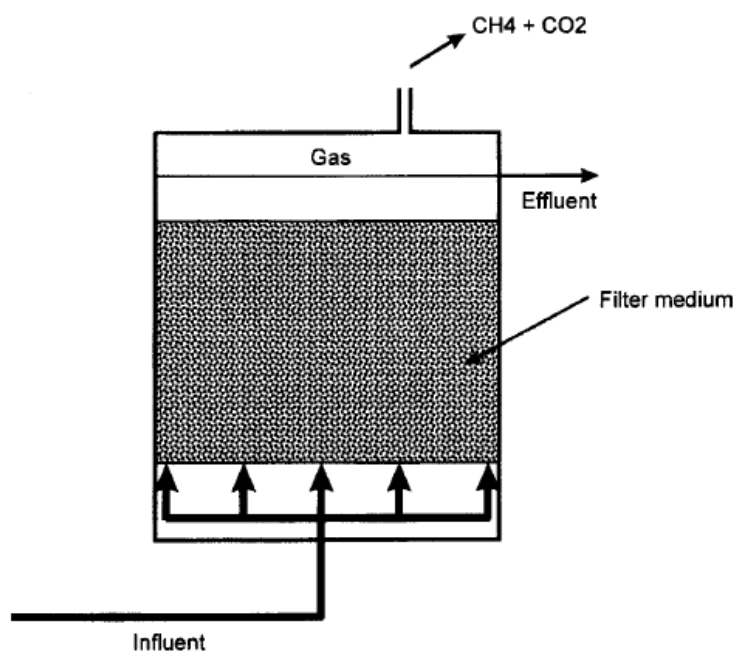
มีการพัฒนาการออกแบบถังย่อยให้เป็นแบบแยกประเภท เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยในแต่ละถัง ซึ่งจากการออกแบบเชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกรณ์ประเภทนี้ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าทำให้การควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น

### 2.4.4 ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter)

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบนี้ คือ ถังมีความสูงมีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5 - 2 นิ้ว หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทน น้ำเสียจะไหลเข้าจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนดังแสดงในภาพที่ 2.5 ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้

แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติถังกรองไร้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะใช้เวลาพักพิงชดสาดต่ำกว่า อย่างไรก็ตามถังกรองไร้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข ปัญหาที่สำคัญก็คือ ต้องการวิธีการกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองให้ได้อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกัน แต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาได้โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนส่งเข้าถังกรองไร้อากาศ

ถังกรองไร้อากาศแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆที่กล่าวไปแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีไม่สูงมากก็ได้



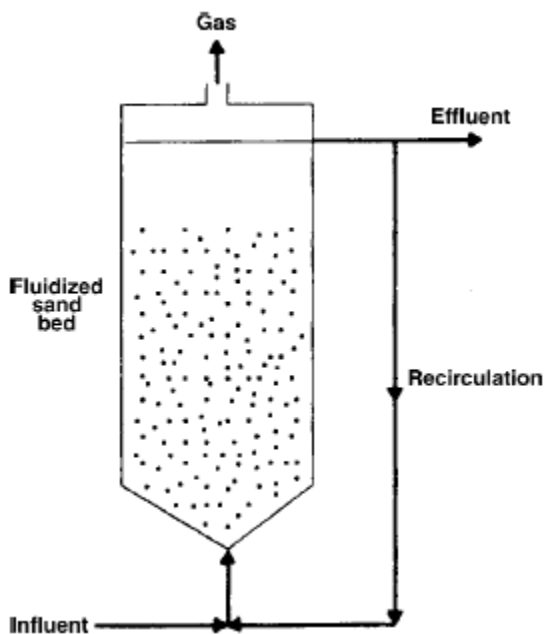
ภาพที่ 2.5 ระบบถังกรองไร้อากาศ

ที่มา: Bitton, 2005

#### 2.4.5 ระบบชั้นลอยตัวแบบไร้อากาศ (Anaerobic fluidized bed หรือ AFB)

ระบบนี้คล้ายกับระบบถังกรองไร้อากาศตรงที่มีน้ำไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งจัดเป็นระบบ Fixed film แบบไร้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย ดังแสดงในภาพที่ 2.6 อัตราการไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ทราย แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบถังกรองไร้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมากซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมาก

มหาศาลอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ทำให้ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลา มักจะก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและการควบคุมระบบหลายอย่าง และยังสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้รับความนิยม



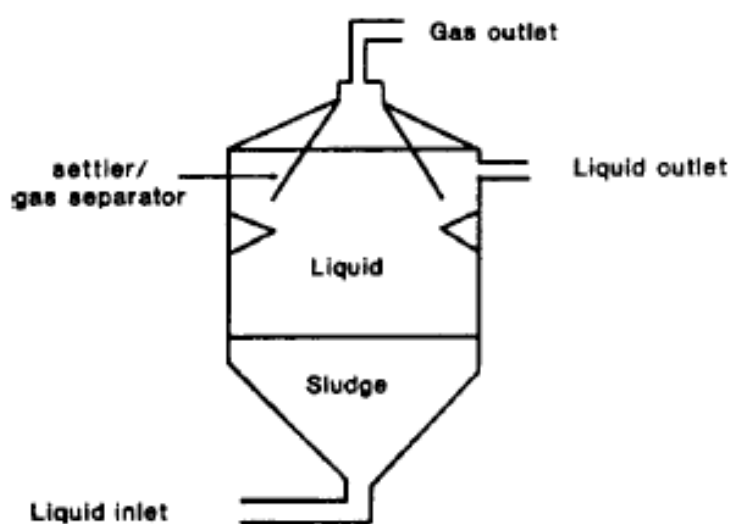
ภาพที่ 2.6 ระบบชั้นลอยตัวแบบไร้อากาศ

ที่มา: Bitton, 2005

#### 2.4.6 ระบบยูเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

ระบบยูเอสบีเป็นระบบที่ไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวกลาง ระบบนี้มีทิศทางการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน โดยไม่ใช้ตัวกลาง แต่แบคทีเรียในระบบนั้นจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถึงปฏิกิริยาจะทำให้เม็ดแบคทีเรียลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ไม่จมลงก้นถัง อนึ่งการเลี้ยงแบคทีเรียไร้ออกซิเจนให้สามารถจับตัวกันเป็นเม็ดใหญ่นั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก ผู้ใช้ระบบนี้จึงต้องมีเทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดชั้นสลัดจ์ภายในถังปฏิกิริยาและถือเป็นความรู้เฉพาะด้วย ระบบนี้มีรายงานว่าใช้กันมากในประเทศแถบอเมริกาใต้ และมีใช้ในยุโรปบางประเทศ

จุดอ่อนของระบบคือ การสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก และอาจถือว่าเป็นเรื่องที่ไม่เป็นธรรมชาติของแบคทีเรียไร้ออกซิเจน เนื่องจากไม่มีนิสสัยเกาะจับกันเป็นกลุ่มฟล็อก วิศวกรได้นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จ โดยอ้างว่าระบบนี้สามารถรับออร์แกนิกโหลดได้สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบอื่น และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น ระบบ UASB มักจะออกแบบให้มีอุปกรณ์สำหรับแยกตะกอนแบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 2.7

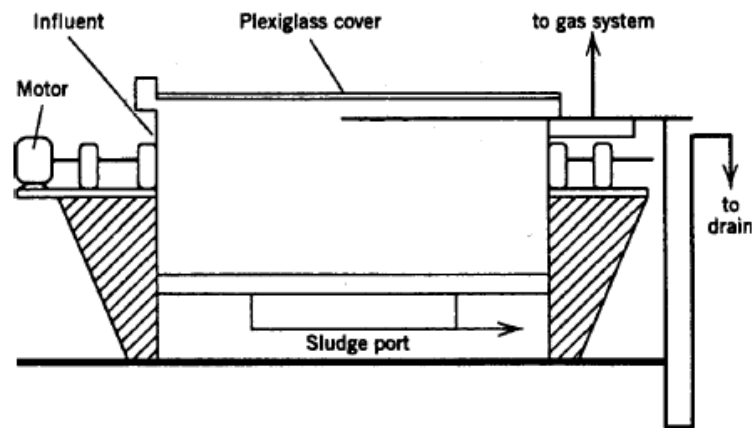


ภาพที่ 2.7 ระบบยูเอเอสบี

ที่มา: Bitton, 2005

#### 2.4.7 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic Rotating Biological Contactor หรือ AnRBC)

ได้เริ่มมีการทดลองโดย Tait และ Friedman, 1980 โดยใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากต้องการลดการใช้พลังงานในการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนในระบบ AFB และได้นำข้อดีของระบบฟิล์มตรึง (Fixed film) และจานหมุนชีวภาพธรรมดา แต่มีฝาปิดเพื่อไม่ให้สัมผัสอากาศจากภายนอก และมีช่องสำหรับระบายก๊าซออกทางด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ผลปรากฏว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีบนผิวแผ่นจาน ระบบนี้สามารถรับออร์แกนิกและไฮโดรลิกโหลดที่สูงขึ้นอย่างกะทันหันได้ดี

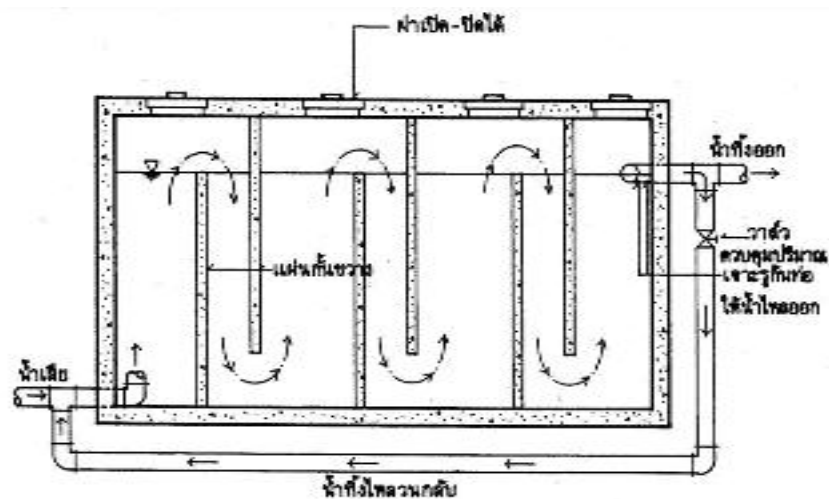


ภาพที่ 2.8 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor

ที่มา: Bitton, 2005

#### 2.4.8 ระบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor หรือ ABR)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ คือมีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นมุดลง อยู่ในแนวนอน ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ถึงปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบ ไร้อากาศแบบอื่นๆ ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างในราคาต่ำ Bachmann และคณะ, 1982 ได้ ทดลองใช้ระบบนี้ที่มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด สหรัฐอเมริกา ได้กล่าวถึงข้อดีของระบบนี้ว่าเป็น ระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอน แขนวลอยออกจากน้ำเกิดได้ดีและง่ายเช่นกัน ลักษณะดังกล่าวทำให้การเก็บกักเซลล์ในระบบ สามารถกระทำอย่างได้ผลดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก การบำบัดน้ำเสีย จึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง



ภาพที่ 2.9 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor

ที่มา: เกรียงศักดิ์, 2537

### 2.4.9 บ่อน้ำบาดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

กระบวนการไร้อากาศแบบนี้เป็นแบบง่ายที่สุด โดยมักจะเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึกประมาณ 3-4 ม. และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลายวัน ภายในระยะเวลาดังกล่าว น้ำเสียจะถูกย่อยด้วยปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ บ่อยครั้งมีขนาดใหญ่ จึงต้องมีการใช้ที่ดินค่อนข้างมากในการสร้าง นอกจากนี้ยังอาจเกิดกลิ่นที่สร้างความรบกวน ระบบบ่อไร้อากาศจึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชานเมืองซึ่งราคาที่ดินไม่สูงนัก และมีผู้คนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น

## 2.5 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับกระบวนการไร้อากาศ

### 2.5.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมินั้นมีผลต่อกระบวนการย่อยสลายของระบบบำบัดแบบไร้อากาศคล้ายกับการดำเนินการทางชีวเคมีอื่นๆ ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่งอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลชีพจะเพิ่มขึ้น ผลนี้สำคัญโดยเฉพาะในระบบบำบัดแบบไร้อากาศเพราะอันตรกิริยาระหว่างจุลชีพแบบที่เรียกต่างชนิดจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิในปริมาณต่างกัน ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอมีความสำคัญมากกว่าการรักษาอุณหภูมิที่ให้อัตราสูงสุดที่เป็นไปได้

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายของระบบบำบัดแบบไร้อากาศคือ 25 - 35 °ซ. (Metcalf และ Eddy, 2004)

### 2.5.2 พีเอช

พีเอชของตัวกลางที่กลุ่มจุลชีพอยู่จะมีผลต่อจุลชีพหลักทั้งสอง แบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ใช้ไฮโดรเจนมีความไวต่อพีเอชมาก โดยทั่วไปการเติบโตเกิดขึ้นในช่วงแคบ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนชนิดหนึ่งที่พบในถังย่อยมีช่วงการเติบโตที่ค่าพีเอชประมาณ 6.5 - 7.7 โดยทั่วไปค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ประมาณค่าที่เป็นกลาง จากการทดลองหนึ่งพบว่าการผลิตมีเทนของแบคทีเรียสร้างมีเทนถูกยับยั้งเกือบทั้งหมดที่ค่าพีเอช 6.2 ดังนั้นอาจเกิดปัญหาขึ้นในระบบได้ถ้าค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 6.5

ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8 - 7.2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

### 2.5.3 กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid, VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของกรดไขมันระเหยจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบเนื่องจากแบคทีเรียผลิตมีเทนไม่สามารถนำผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียสร้างกรดไปใช้ได้ทันจึงส่งผลให้เกิดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหย ทำให้พีเอชในระบบลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในช่วงที่ไม่

เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน จนในที่สุดอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมสภาพด่างขึ้น เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ และรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย

สภาพความเป็นด่างทั้งหมดจะมีความสำคัญน้อยกว่าสภาพด่างไบคาร์บอเนต เพราะในระบบไร้อากาศ สภาพด่างทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนสภาพด่างไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เกิดขึ้นในระบบ

ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นด่าง คือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (VFA :  $\text{HCO}_3^-$ ) ทราบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตน้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็วถึงแม้กรดไขมันระเหยง่ายจะมีการเพิ่มเพียงเล็กน้อยก็ตาม ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุมตรวจวัดค่าอัตราส่วนนี้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เพื่อป้องกันการล้มเหลวของระบบ (มันลิน ตัณฑุ เวศม์, 2542)

#### 2.5.4 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา

##### 2.5.4.1 กรดอินทรีย์ระเหยได้

กรดอินทรีย์ระเหยได้มีผลต่อค่าพีเอชของตัวกลาง กรดอะซิติกและบิวทริกไม่ก่อให้เกิดผลที่มีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ค่าความเข้มข้นไม่เกิน 10,000 ก./ลบ.ม. กรดโพรพิโอนิกจะหน่วงแบคทีเรียผลิตกรดในการย่อยตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ค่าพีเอชเป็นกลางมีเพียงกรดโพรพิโอนิกเท่านั้นที่แสดงความเป็นพิษต่อระบบ

##### 2.5.4.2 แคลไออนของโลหะเบา

แคลไออนของโลหะเบาได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียมและแมงกานีส หากค่าความเข้มข้นของไออนเหล่านี้มีค่ามากเกินไปจะสามารถหน่วงการทำงานของระบบได้

##### 2.5.4.3 ซัลไฟด์

น้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ถ้าความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายมากกว่า 200 ก./ลบ.ม. ปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของกลุ่มผลิตมีเทนจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรงนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ จุลชีพจะมีความสามารถในการทนได้โดยการทำให้คูนที่ความเข้มข้นระหว่าง 100 - 200 ก./ลบ.ม. ซึ่งจะมีผลเล็กน้อยต่อการทำงานของระบบ หลังจากการทำให้คูนแล้ว ซัลไฟด์ละลายเท่านั้นที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษในระบบได้เนื่องจากสามารถเข้าถึงเซลล์ของจุลชีพได้



ความเป็นพิษของซัลไฟด์ มักจะเกิดขึ้นในกรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำแต่มีซัลเฟตสูง โดยเฉพาะถ้ามีอัตราส่วนของซีโอดีต่อซัลเฟตต่ำกว่า 7.5 เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอที่จะไล่ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำให้หลุดออกไปเป็นก๊าซ

การแก้ปัญหาคอนเซนเตรชันของซัลไฟด์สูงเกินไปสามารถทำได้โดย

- เจือจางน้ำเสียที่ส่งเข้าระบบ
- เติมเกลือของเหล็ก เพื่อตกตะกอนซัลไฟด์ออกจากน้ำ
- เป่าไล่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากน้ำและหมุนเวียนก๊าซชีวภาพมาเป่าในถังปฏิกรณ์
- ออกซิไดส์ซัลไฟด์ด้วยวิธีการทางชีวภาพ และนำกำมะถันมาใช้ใหม่

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีอยู่หลายชนิด ซึ่งความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารพิษเหล่านั้น ดังตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารพิษที่ขัดขวางการทำงานของแบคทีเรีย (Metcalf และ Eddy, 2004)

สาร	ความเข้มข้นที่ขัดขวางปานกลาง (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่ขัดขวางมาก (มก./ล.)
โซเดียม, Na <sup>+</sup>	3,500-5,500	8,000
โปแตสเซียม, K <sup>+</sup>	2,500-4,500	12,000
แคลเซียม, Ca <sup>+</sup>	2,500-4,500	8,000
แมกนีเซียม, Mg <sup>2+</sup>	1,000-1,500	3,000
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,500-3,000	3,000
ซัลไฟด์, S <sup>2-</sup>	200	200
ทองแดง, Cu <sup>2+</sup>		0.5 (ละลายน้ำ) 50-70 (ทั้งหมด)
โครเมียม, Cr(VI)		3.0 (ละลายน้ำ) 200-250 (ทั้งหมด)
โครเมียม, Cr(III)		2.0 (ละลายน้ำ) 180-420 (ทั้งหมด)
นิกเกิล, Ni <sup>2+</sup>		30.0 (ทั้งหมด)
สังกะสี, Zn <sup>2+</sup>		1 (ละลายน้ำ)

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของสารพิษที่ขีดขวงการทำงานของแบคทีเรีย 50% (Metcalf และ Eddy, 2004)

สาร	ความเข้มข้นที่ขีดขวงการทำงานของแบคทีเรีย 50% (มิลลิโมล)
1-Chloropropene	0.1
Nitrobenzene	0.1
Acrolein	0.2
1-Chloropropane	1.9
Formaldehyde	2.4
Lauric acid	2.6
Ethyl benzene	3.2
Acrylonitrile	4
3-Chlorol-1, 2-propandediol	6
Crotonaldehyde	6.5
2-Chloropropionic acid	8
Vinyl acetate	8
Actaldehyde	10
Ethyl acetate	11
Acrylic acid	12
Catechol	24
Phenol	26
Aniline	26
Resorcinol	29
Propanol	90

### 2.5.5 ธาตุอาหาร

โดยทั่วไประบบบำบัดแบบไร้อากาศจะต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ เท่ากับ 10 - 13, 2.0 - 2.6, 1 - 2 มก.ต่อ 100 มก.ของปริมาณเซลล์ (Metcalf และ Eddy, 2004) นอกจากนี้ยังมีสารอาหารที่ต้องการเป็นปริมาณน้อย ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณธาตุอินทรีย์ที่ต้องการ (Metcalf และ Eddy, 2004)

ธาตุ	ปริมาณ (มก./ก.อะซิเตดที่เกิดขึ้น)
เหล็ก	0.020
โคบอลต์	0.004
นิกเกิล	0.003
สังกะสี	0.020

## 2.6 ถังกรองไร้อากาศ

### 2.6.1 ลักษณะทั่วไป

ระบบถังกรองไร้อากาศเป็นระบบที่มวลชีวภาพยึดเกาะอยู่กับตัวกลาง จุลชีพยึดติดอยู่บนตัวกลางทำให้ได้ความเข้มข้นของจุลชีพและระยะเวลาที่จุลชีพสูง ระบบถังกรองไร้อากาศมักถูกออกแบบให้น้ำเสียมีทิสไหลขึ้นซึ่งจะให้น้ำท่วมถึงตลอดเวลาเพื่อให้มั่นใจว่าตัวกลางสำหรับยึดเกาะของจุลชีพจะจมอยู่ในของเหลวทั้งหมดเพื่อเป็นการรักษาสภาพไร้อากาศไว้และจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีโอกาสหลุดลอยออกมาต่ำ ทำให้มีสารแขวนลอยน้อย น้ำที่ออกมาหลังจากผ่านถังกรองไร้อากาศแล้วจึงใส ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอนและที่ไม่นิยมออกแบบให้น้ำเสียมีทิสทางไหลลงเนื่องจากการกระจายตัวของสารอาหารและจุลินทรีย์ด้านบนจะมาก มีโอกาสที่จุลินทรีย์จะอุดตันระหว่างช่องว่างของตัวกลางมากกว่าการให้น้ำเสียมีทิสทางไหลขึ้นและทิสทางการไหลของน้ำมีทิสทางเดียวกับการตกตะกอนของจุลินทรีย์ ดังนั้นการป้อนทางด้านล่างจะช่วยทำให้การกระจายตัวของจุลินทรีย์ไปได้ทั่วถังกรองมากกว่าแบบการป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านบน

ตัวกลางสำหรับยึดเกาะอาจผลิตจากวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่น พลาสติก, เซรามิก, ดินเหนียว เป็นต้น หลักการทั่วไปของระบบคือ ป้อนน้ำเสียด้วยความเร็วต่ำเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ให้ไหลผ่านตัวกลางที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งทำหน้าที่เป็นผิวหน้ายึดเกาะให้กับจุลชีพและเพิ่มพื้นที่ตกตะกอนให้กับจุลชีพชนิดที่ไม่ยึดเกาะอีกด้วย จุลชีพทั้งสองประเภทในระบบจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนที่น้ำเสียจะไหลออกจากระบบทางด้านบนของถังปฏิกรณ์

สุรพล สายพานิช (2542) กล่าวว่า ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นมีข้อดีกว่าแบบไหลลงในด้านขนาดและราคา แต่ในกรณีที่น้ำเสียมีตะกอนแขวนลอยมากกว่า 10% ของซีโอดีเข้า ถ้าใช้ระบบไหล

ขึ้นอาจจะต้องมี Pretreatment เพื่อลดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังแบบไหลขึ้นนั้นดีกว่าแบบไหลลงที่ระยะเก็บกักชลศาสตร์เดียวกัน

การเปรียบเทียบระบบกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นและไหลลง แสดงดังตารางที่ 2.7 โดยมีลักษณะถังกรองไร้อากาศดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบระบบกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นและไหลลง (สุรพล สายพานิช, 2542)

รายการ	แบบไหลขึ้น	แบบไหลลง
ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สามารถส่งเข้าระบบได้	น้อยกว่า	มากกว่า
อัตราการหมุนเวียนน้ำ	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ขนาด	เล็กกว่า	ใหญ่กว่า
ราคา	ถูกกว่า	แพงกว่า
ความสามารถในการรับปริมาณของแข็งแขวนลอยเข้าสู่ระบบ	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ความสูงของถัง	น้อยกว่า	มากกว่า
ความหนาแน่นของจุลินทรีย์	มากกว่า	น้อยกว่า
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ HRT เดียวกัน	มากกว่า	น้อยกว่า

ตารางที่ 2.8 ลักษณะของถังกรองไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2542)

รายละเอียด	ค่าที่วัดได้
ความสูงทั้งหมด (ซม.)	160
ความสูงชั้นตัวกลาง (ซม.)	120
เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	10
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	78.54
ปริมาตรทั้งหมด (ลบ.ซม.)	12.56
ปริมาตรตัวกลาง (ลบ.ซม.)	9.425

## 2.6.2 ค่าการออกแบบ (Design Parameters)

### 2.6.2.1 ความเข้มข้นและอุณหภูมิของน้ำเสีย

กระบวนการไร้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้ทุกชนิดตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำๆ เช่น น้ำเสียชุมชน ไปจนถึงน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมาก เช่น โรงกลั่นสุรา แต่จะต้องคำนึงถึงข้อเท็จจริงและองค์ประกอบอื่นๆร่วมด้วยดังนี้

- 1) กระบวนการไร้อากาศเหมาะสำหรับใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง เพราะไม่ต้องมีการเติมอากาศเหมือนระบบอาศัยอากาศ ทำให้มีการใช้พลังงานต่ำ อีกทั้งยังเกิดก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย
- 2) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลชีพแบบไร้อากาศ ซึ่งสามารถทำงานได้ดีมีอยู่สองช่วงคือช่วง Mesophilic ประมาณ 30 - 40 °ซ. และช่วง Thermophilic ประมาณ 50 - 60 °ซ. แต่ส่วนใหญ่จะออกแบบให้ทำงานในช่วง Mesophilic เพราะระบบจะมีเสถียรภาพและความแน่นอนในการทำงานสูงกว่าและยังเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิในประเทศไทยจึงไม่ต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงปฏิกิริยาดังด้วยพลังงานอื่นๆอีก

### 2.6.2.2 ชนิดและคุณสมบัติของตัวกลาง

ตัวกลางที่บรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เซลล์จุลชีพหลุดออกไปจากระบบ อีกทั้งยังเป็นที่ยึดเกาะของจุลชีพ ส่งผลให้เซลล์หลุดออกจากระบบน้อย อยู่ในระบบนานมีค่า Sludge Retention Time สูง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมาก

ตัวกลางที่ใช้ในสมัยแรกๆมักเป็นหินหรือกรวด แต่มีข้อเสียที่ให้ช่องว่างระหว่างตัวกลาง (Void space) น้อย และเกิดการอุดตันเนื่องจากของแข็งหรือมวลชีวภาพได้ง่าย ดังนั้นจึงถูกเปลี่ยนมาใช้ตัวกลางพลาสติกซึ่งมีน้ำหนักเบา ความพรุนสูงช่วยให้ระบบสามารถรับอัตราการไหลที่สูงขึ้นได้ ส่วนใหญ่ใช้ตัวกลางแบบเดิมไม่เป็นระเบียบและอัดตัวแบบหลวมด้วยแหวนพลาสติก หรือใช้แผ่นพลาสติกเรียงกันเป็นกล่อง (Module) ชนิดของวัสดุที่นำมาผลิตตัวกลางควรจะไม่มีผลต่อการทำงานของระบบ เนื่องจากจุลชีพสามารถยึดเกาะกับพื้นที่ผิวได้แทบทุกประเภท ตัวอย่างของวัสดุได้แก่ ไนลอน โพลีโพรพิลีน โพลีไวนิลคลอไรด์ เซรามิก

ตัวกลางที่ใช้จะต้องมันคงและทนแรงดันต่อเนื่องได้นาน เมื่อผิวของตัวกลางเป็นแบบไฮโดรฟิลิก จุลชีพจะยึดเกาะได้อย่างรวดเร็ว แต่หากเป็นแบบไฮโดรโฟบิก จุลชีพจะต้องขับสารโพลีเมอร์ชีวภาพออกมาใช้เป็นตัวประสาน

สำหรับตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก Aqua nishihara corporation limited เป็นตัวกลางพลาสติกที่ทำหน้าที่สำหรับให้แบคทีเรียสามารถยึดเกาะอาศัย (เพิ่มระยะเวลาเก็บกักและปริมาณแบคทีเรีย) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มีปริมาณลดลง ตัวกลางนี้ยังป้องกันไม่ให้แบคทีเรียในระบบหลุดออกมาพร้อมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

#### คุณลักษณะของตัวกลางพลาสติก AQUA

1. ช่วยกระจายการไหลช้าลงของน้ำให้ทั่วทั้งพื้นผิว
2. เพิ่มระยะเวลาของการกักเก็บตะกอน ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้น
3. ทุกจุดที่แผ่นตัวกลางพลาสติกสัมผัสกัน จะถูกเชื่อมด้วยกาวโดยกรรมวิธีพิเศษที่แตกต่างจากตัวกลางพลาสติกชนิดอื่น จึงช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากการตัดเพื่อประกอบลงบำบัดได้มาก
4. ตัวกลางพลาสติก AQUA ผลิตด้วย PVC ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานคงทนอยู่คู่กับระบบตลอดไป

ลักษณะตัวกลางพลาสติกที่ใช้คือ Model R-190 มีลักษณะดังตารางที่ 2.9 และภาพที่ 2.10

Model	R-190
Type	Random Flow Configuration
Material	Polyethylene
Size (LxWxH)	Diameter : 70 mm. Height : 22 mm.
Specific surface	190 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> of media
Void ratio	90%
Application	Anaerobic filter

จากข้อมูลของตารางที่ 2.9 จะสามารถหาพื้นที่ผิวตัวกลางต่อ 1 อัน ได้ดังนี้  
-เส้นผ่านศูนย์กลาง (d) = 0.07 ม.

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ Area} &= \pi d^2/4 \\
 &= \pi * 0.07^2/4 \\
 &= 3.35 \times 10^{-3} \text{ ตร.ม.}
 \end{aligned}$$

-ความสูง (h) = 0.022 ม.

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตร (V)} &= \text{ความสูง (h)} * \text{Area} \\ &= 0.022 * 3.35 * 10^{-3} \\ &= 8.47 * 10^{-5} \text{ ลบ.ม.}\end{aligned}$$

จากข้อมูล Specific surface = 190 ตร.ม./ลบ.ม. of media

ปริมาตร 1 ลบ.ม.	จะมีพื้นที่ผิว 190 ตร.ม.
ปริมาตร $8.47 * 10^{-5}$ ลบ.ม.	จะมีพื้นที่ผิว 0.016 ตร.ม.

จะได้ว่า ตัวกลาง 1 อันจะมีพื้นที่ผิว 160 ตร.ซม.



ภาพที่ 2.10 ตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 Random Flow Media

### 2.6.2.3 ความสูงของถังปฏิกรณ์

ความสูงของถังปฏิกรณ์ จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ไปถึงระดับหนึ่ง จากนั้นความสูงที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ

โดยทั่วไปความสูงของถังกรองจะอยู่ในช่วง 1.0 - 1.80 ม. ถังกรองที่มีความสูงน้อยกว่านี้อาจมีโอกาสนำให้น้ำเข้ามีไหลลัดวงจร ส่วนความสูงที่มีมากกว่า 1.80 ม. จะเป็นการสิ้นเปลือง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความสูงจะต้องสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัด และระยะเก็บกักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time) ทั้งนี้เพื่อให้จุลชีพได้มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำเสีย

#### 2.6.2.4 ความเข้มข้นซีไอดีและภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ระบบถังกรองไร้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นในช่วงน้อยกว่า 1,000 มก.-ซีไอดี/ล. ขึ้นไปจนกระทั่งถึงมากกว่า 20,000 มก.-ซีไอดี/ล. แต่หากระบบต้องรับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ควรมีการเวียนน้ำทิ้งที่ออกจากระบบแล้วกลับเข้าสู่ระบบเพื่อให้ความเข้มข้นน้ำเสียในระบบอยู่ในช่วง 8,000-12,000 มก.-ซีไอดี/ลิตร

ระบบถังกรองไร้อากาศที่เปิดดำเนินงานอยู่ ถูกออกแบบให้รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่เกิน 16 กก.-ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระยะเวลาพักชดสาดที่สอดคล้องกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์นี้อยู่ในช่วง 12 - 96 ชม.

ส่วนใหญ่จะใช้ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ (Volumetric Organic Loading) สำหรับการคำนวณถังปฏิกรณ์ เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีค่าสำรองความปลอดภัยอยู่พอสมควร โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Bv = \frac{CiQ}{V} \times 10^{-3} \quad \dots(2.9)$$

โดย

- Bv = อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ (กก.-ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)
- Ci = ความเข้มข้นซีไอดีที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสีย (มก.-ซีไอดี/ล.)
- Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)
- V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (ลบ.ม.)

สุรพล สายพานิช (2542) กล่าวว่าค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจริงอยู่ระหว่าง 0.2 - 16 กก.-ซีไอดี/ลบ.ม./วัน อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้ในการออกแบบโดยทั่วไปควรต่ำกว่า 12 กก.-ซีไอดี/ลบ.ม./วัน นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่าตามความเป็นจริงแล้วภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและการควบคุมการทำงานของระบบ แต่เป็นที่รวมปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่างๆ เช่น อัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพ อัตราการทำลายสารมลพิษ ความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกรณ์ อัตราการส่งถ่ายสารเข้าไปในมวลชีวภาพเข้าไปในค่าเดียวกันเพื่อความสะดวกในการคำนวณและเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ทั้งทางด้านราคาและด้านเทคนิค เนื่องจากสามารถแสดงค่าเหล่านี้ได้ง่ายเมื่อเทียบกันในรูปแบบของปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

ตัวกลางที่ใช้บรรจุภายในถังปฏิกรณ์สำหรับยัดเกาะและกักเซลล์แบคทีเรียทำขึ้นจากท่อพีวีซีชนิดบางตัดเป็นรูปวงแหวน (รายละเอียดตามตารางที่ 2.10) ด้านบนของถังปฏิกรณ์เป็น



ปลายเปิดแต่ติดตั้งอุปกรณ์แยกตามสถานะเพื่อแยกฟิล์มจุลชีพที่หลุดออก ก๊าซที่ระบบผลิตขึ้น และ น้ำออกจากระบบออกจากกัน โดยจะบังคับก๊าซที่แยกได้ให้ไหลต่อไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ แบบแทนที่น้ำ อีกทั้งยังเจาะช่องเก็บตัวอย่างตามแนวตั้งที่ความสูง 15 30 และ 45 ซม.จากฐานของ ถังปฏิกรณ์

**ตารางที่ 2.10** รายละเอียดของตัวกลางที่บรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ (สุรพล สายพานิช, 2542)

ลักษณะ	ค่าที่วัดได้
เส้นผ่านศูนย์กลาง, มม.	15
ความหนา, มม.	10
ความพรุน (Void space), ร้อยละ	81.25
พื้นที่ผิว, ตร.ม./ลบ.ม.	367

#### 2.6.2.5 ระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time)

ระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบ ระบบถังกรองไร้อากาศมี ระยะเวลาเก็บกักระหว่าง 12 - 96 ชม. ยกเว้นระบบบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบใช้เวลาเก็บกัก 30 - 40 วัน และระบบบำบัดของเสียจากโรงกลั่นสุรา ใช้เวลาเก็บกัก 12 - 14 วัน

#### 2.6.2.6 ความเข้มข้นของมวลจุลชีพ

Hall (1992) แสดงให้เห็นว่าถังกรองไร้อากาศมีความเข้มข้นของมวลจุลชีพได้ 4.9 - 35 กก.-วีเอสเอส/ลบ.ม. หรืออาจสูงขึ้นไปถึง 60 กก.-วีเอสเอส/ลบ.ม.

#### 2.6.2.7 การเวียนกลับน้ำทิ้ง

การหมุนเวียนน้ำมีประโยชน์เมื่อมีค่าซีโอดีสูงกว่า 8,000 ถึง 12,000 มก./ล. เพื่อลดความต้องการค่าความเป็นด่าง เพื่อปรับปรุงการกระจายน้ำเสียผ่านชั้นตะกอน และเพื่อลดความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (Young และ Yang, 1989 อ้างใน สุรพล สายพานิช, 2542) แนะนำ อัตราหมุนเวียนน้ำดังสมการต่อไปนี้

$$r = \frac{S_0}{12,000} = \frac{R}{Q} \quad \dots(2.10)$$

เมื่อ

$r$  = สัดส่วนของอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน (R) ต่ออัตราการไหลของน้ำเสียเข้า (Q)

$S_0$  = ความเข้มข้นของซีโอดีเข้า (มก./ล.)

### 2.6.3 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของระบบถังกรองใรรีอากาศเทียบกับระบบชีวภาพอื่นๆ ข้อได้เปรียบ

- 1) ระบบถังกรองใรรีอากาศเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารละลาย
- 2) มวลชีวภาพมีความเข้มข้นสูง และมีระยะเวลาที่กวมลจุลชีพยาวนาน
- 3) ปริมาตรของถังปฏิกรณ์น้อยเนื่องจากใช้อัตราการอินทรีย์สูงใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย
- 4) มีเสถียรภาพภายใต้ภาวะน้ำเข้าผันแปร หรือประสพภาวะเป็นพิษวิกฤติ
- 5) ไม่ต้องการเครื่องกวนแบบกลในการกวนผสม การเกิดก๊าซชีวภาพ และการเวียนกลับน้ำทิ้ง ช่วยให้อุณหภูมิ พีเอช และความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า สม่่าเสมอทั่วทั้งถังปฏิกรณ์
- 6) มีความเหมาะสมในการนำไปบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักสามารถตกตะกอนทางเคมีได้ด้วยซัลไฟด์ที่เป็นผลผลิตของระบบใรรีอากาศ

นอกเหนือจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดใรรีอากาศแบบฟิล์มตรึงกับระบบบำบัดใรรีอากาศแบบกวนสมบูรณ์ จะพบว่า

- 1) ระบบถังกรองใรรีอากาศจะยังมีเสถียรภาพเมื่อรับภาระวิกฤต (Shock load) และทนทานต่อภาระและสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้มากกว่า เช่น พีเอช และอุณหภูมิ
- 2) ระบบถังกรองใรรีอากาศสามารถเดินระบบแบบเดินๆหยุดๆ (Intermittent mode) ได้
- 3) ระบบถังกรองใรรีอากาศสามารถลดผลกระทบของโลหะหนักได้ด้วยการทำให้คุ้น (Acclimatization)

#### ข้อเสียเปรียบ

- 1) ของแข็งแขวนลอยสะสม ส่งผลกระทบต่อด้านลบกับชลศาสตร์และสมบัติการส่งผ่านมวลภายในถังปฏิกรณ์
- 2) ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูง
- 3) ไม่สามารถสังเกตลักษณะภายในถังปฏิกรณ์ได้ ตรวจสอบการอุดตันของตัวกลางได้ยาก
- 4) ตัวกลางที่นิยมใช้และระบบรองรับตัวกลางมีราคาสูง

ระบบถังกรองใรรีอากาศมักถูกมองว่าเป็นถังปฏิกรณ์แบบไหลตามกัน (Plug flow) แต่การที่มีตัวกลางยึดเกาะที่อัดตัวอยู่ในถังปฏิกรณ์จะทำให้เส้นทางการไหลของน้ำเสียผสานกัน อีกทั้งผลของอัตราไหลต่ำ ทำให้แบบจำลองของการไหลตามกันแบบดั้งเดิมไม่เหมาะสมกับระบบชนิดนี้ ระบบถังกรองใรรีอากาศสามารถลดผลกระทบที่เลวร้ายอันเนื่องมาจากสารพิษได้ ด้วยเหตุที่ระบบมีลักษณะแบบกึ่งไหลตามกัน (Quasi-plug flow) ที่จะส่งผ่านสารพิษอย่างรวดเร็วโดยไม่ทำให้ฟิล์ม

ชีวภาพถูกชะออก (Parkin และ Speece, 1984) ในด้านการควบคุมความหนาของฟิล์มชีวภาพนั้น โดยปกติจะควบคุมด้วยการล้างย้อน

## 2.7 การวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

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

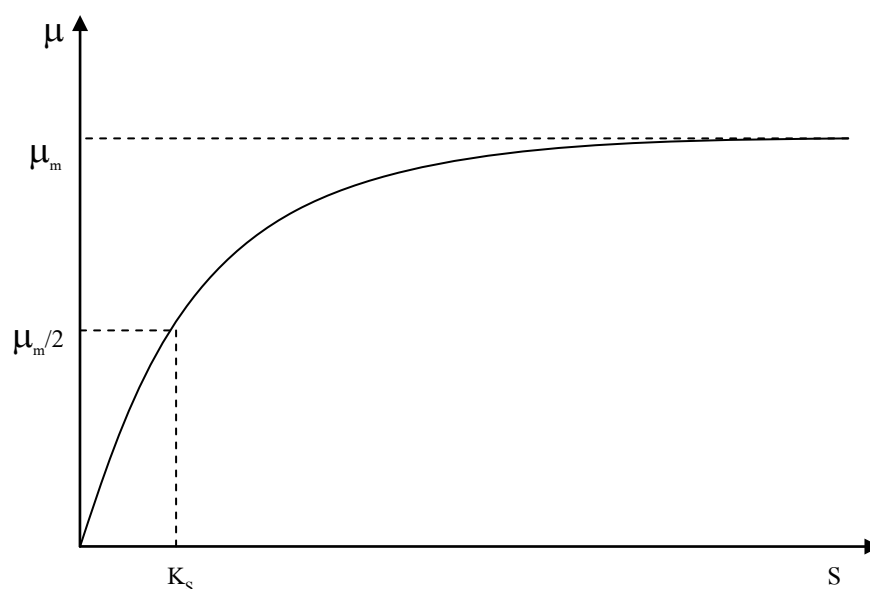
### 2.7.1 สมการของ Monod (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

เป็นสมการที่ได้จากการทดลอง ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ มีสมการดังนี้

$$\mu = \frac{1}{x} r = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad \dots(2.11)$$

กราฟที่ได้จากสมการที่ (2.11) จะมีลักษณะดังภาพที่ 2.11 เมื่อหาค่าของ  $\mu_m$  ในกราฟได้ จะสามารถประมาณค่า  $K_s$  ได้โดย  $K_s$  เท่ากับค่าความเข้มข้น (S) ที่ทำให้ได้ค่า  $\mu = \mu_m/2$

การหาค่า  $\mu_m$  และ  $K_s$  ในรูปแบบนี้ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ (Non-linear relationship)



ภาพที่ 2.11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Monod

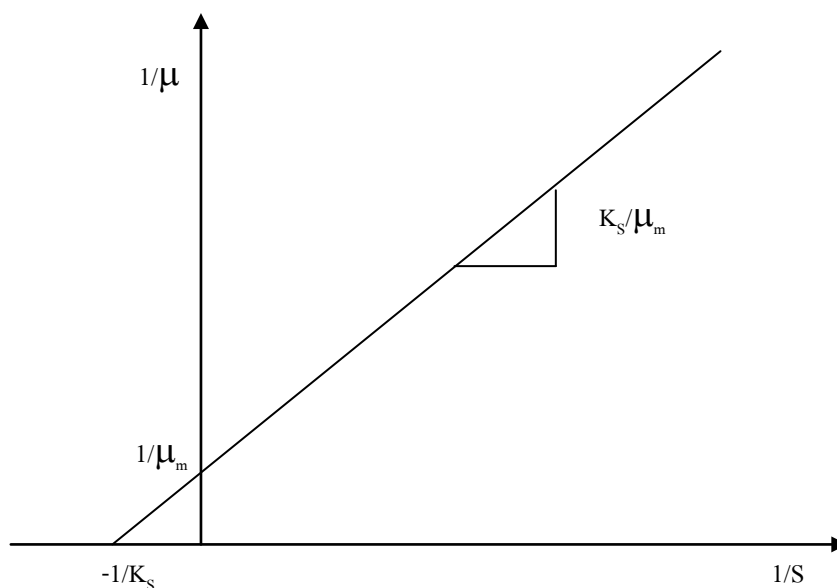
### 2.7.2 สมการของ Lineweaver-Burk (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

มาจากการนำสมการของ Monod มาหาส่วนกลับ ได้ดังสมการที่ 2.12 (ภาพที่ 2.12)

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \cdot \left(\frac{1}{S}\right) \quad \dots(2.12)$$

ข้อดี คือ สามารถหาค่าจลนพลศาสตร์ ( $K_s$ ) ได้จากจุดตัดบนแกน X และค่าความชันของกราฟ

ข้อเสียของสมการนี้ คือ ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวที่ไม่ดี โดยไปรวมกลุ่มอยู่แค่สองตำแหน่ง กล่าวคือ ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำจะรวมตัวอยู่ใกล้กับตำแหน่งจุดตัดแกน Y เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูงทำให้การทดลองวิเคราะห์ค่าในบริเวณนี้สามารถหาได้ง่ายและมีความถูกต้องสูง ส่วนข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนสูงจะอยู่ไกลออกไปที่ปลายเส้นกราฟ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ



ภาพที่ 2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Lineweaver-Burk

### 2.7.3 สมการของ Hanes (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

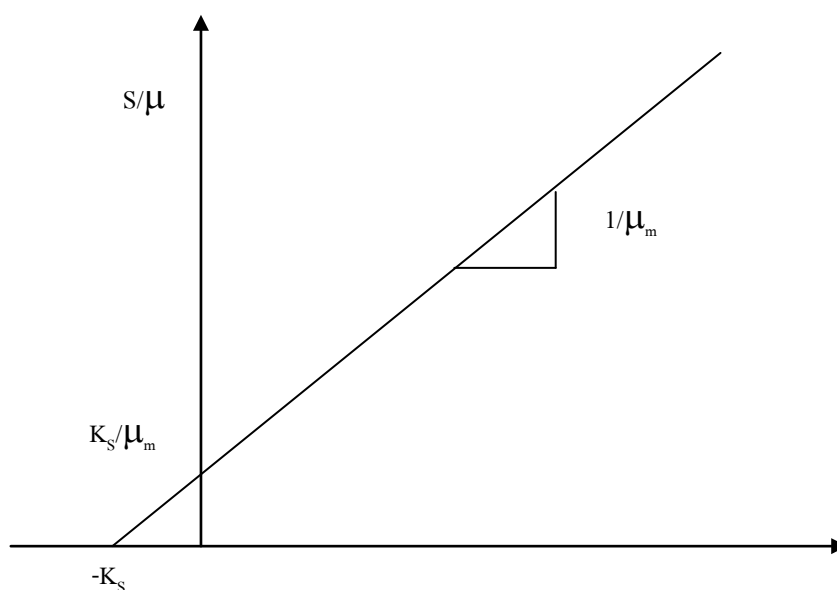
สมการนี้มาจากการนำสมการของ Lineweaver-Burk มาปรับแก้ลดความคลาดเคลื่อนของสมการ โดยการคูณด้วย  $S$  เข้าไปในสมการ ซึ่งจะได้สมการที่ (2.13) ออกมา

$$\frac{S}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} \cdot S + \frac{K_s}{\mu_m} \quad \dots(2.13)$$

สมการที่ได้นี้จะอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง แต่ให้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น อันเนื่องมาจากการกระจายตัวที่ดีของข้อมูลตลอดเส้นกราฟ โดยไม่ไปรวมตัวตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง กราฟที่ได้จากสมการนี้มาจากอัตราส่วนของความเข้มข้นสารอาหารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $S/\mu$ ) กับความเข้มข้นสารอาหาร ( $S$ ) ดังภาพที่ 2.13 การหาค่าจลนพลศาสตร์จากสมการนี้ หาได้จากจุดตัดแกน Y และค่าความชัน

ข้อดีของสมการนี้ คือ ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี ทำให้กราฟที่ได้มีความแม่นยำกว่ากราฟของ Lineweaver-Burk และได้ค่าความชันที่ถูกต้องกว่า โดยเฉพาะเมื่อใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างกราฟจะให้ข้อมูลที่ดียิ่งขึ้น

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



ภาพที่ 2.13 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hanes

### 2.7.4 สมการของ Hofstee (Grady, Daigger และ Lim, 1999)

มาจากการนำสมการของ Monod มาคูณกับพจน์  $(K_s + S)/S$  ได้สมการดังนี้ (ภาพที่ 2.14)

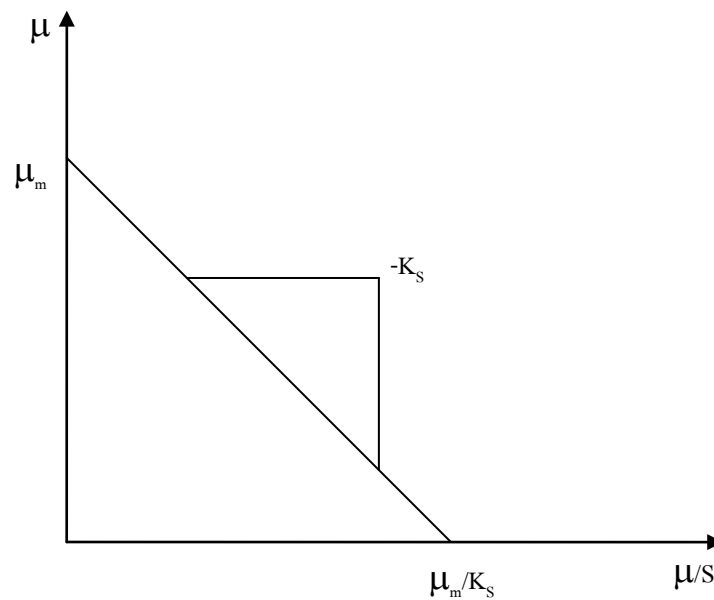
$$\mu \cdot \left( \frac{K_s + S}{S} \right) = \mu_m \quad \dots(2.14)$$

จะได้

$$\mu = \mu_m - K_s \cdot \left( \frac{\mu}{S} \right) \quad \dots(2.15)$$

ข้อดีของสมการนี้ คือ ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวดีและสามารถสร้างเส้นกราฟได้เองโดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วย

ข้อเสีย คือ เส้นกราฟที่ได้จะให้ค่าของ  $\mu_m$  อยู่บนจุดตัดแกน X และ Y ทำให้ใช้คอมพิวเตอร์สร้างการถดถอยเชิงเส้นไม่ได้



ภาพที่ 2.14 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ Hofstee

## 2.8 วิวัฒนาการและการศึกษาวิจัยถังกรองไร้อากาศ

Young และ McCarty (1969) ทำการศึกษาและวิจัยเรื่องถังกรองไร้อากาศ โดยงานวิจัยใช้น้ำทิ้งสังเคราะห์ 2 ชนิดคือ Protein-Carbohydrate Waste และ Volatile Acid Waste ผลการวิจัยพบว่าที่สภาวะ COD Loading เดียวกัน ร้อยละการลดลงของค่าบีโอดีเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นซีโอดี หรือบีโอดีน้ำทิ้งนั้นๆ

Raman และ Chaladar (1972) ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลของถังกรองไร้อากาศจากการทำความสะอาดน้ำโสโครกจากบ่อเกรอะ โดยทดลองในประเทศอินเดียทั้งนี้ตั้งถังกรองไร้อากาศไว้ 3 แห่ง คือที่ Mullickpur, Jalaghata และ Apurbapur พบว่าที่ Mullickpur ถังกรองไร้อากาศหลังจากการทำงานนาน 19 เดือนจะเกิดการอุดตัน ต้องทำการล้างเอาตะกอนออก จากนั้นจึงสามารถทำงานได้ดังเดิม โดยถังกรองไร้อากาศมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 4.00 x 2.25 ฟุต ภายในบรรจุตัวกลางเป็นอิฐหัก 3 ชั้น ชั้นล่างสุดขนาด 0.5-0.75 นิ้ว สูง 15 นิ้ว ชั้นกลางขนาด 0.25-0.5 นิ้ว สูง 9 นิ้ว และชั้นบนสุดขนาด 0.063-0.25 นิ้ว สูง 3 นิ้ว ได้สรุปผลการวิจัยของถังกรองไร้อากาศทั้ง 3 แห่งไว้ว่า บีโอดีของน้ำโสโครกก่อนเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศมีค่าประมาณ 170-240 ก./ลบ.ม. บีโอดีของน้ำโสโครกหลังผ่านถังกรองไร้อากาศมีค่าประมาณ 35-70 ก./ลบ.ม. ซึ่งการลดลงของค่าบีโอดีจะมีค่าประมาณ 65-75% การลดซีโอดีจะมีค่าประมาณ 55-68% และ Hydraulic Loading ของถังกรองทั้ง 3 แห่ง มีค่าใกล้เคียงกับ Low-Rate Trickling Filter อีกทั้งขนาดของถังกรองไร้อากาศในการออกแบบมีค่าประมาณ 0.042-0.058 ลบ.ม./คน

Raman และ Chaladar ยังรายงานว่าในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี 120-125 มก./ล. โดยที่ไหลสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอและที่อุณหภูมิแตกต่างกันตั้งแต่ 12.5-26 °ซ. ในฤดูหนาวและ 25-36 °ซ. ในฤดูร้อน พบว่าระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศยังคงมีประสิทธิภาพสูง

นอกจากนี้ Raman และ Chaladar (1972) ทำการทดลองและวิจัยในห้องทดลอง โดยใช้ถังกรองรูปร่างท่อสี่เหลี่ยม ขนาด 0.1x0.1 ม. ใช้หินขนาด 12.5 มม. เป็นตัวกลางสูง 0.75 ม. ใช้น้ำโสโครกจากถังหมักมีค่าบีโอดีเท่ากับ 290 ก./ลบ.ม. ความคุมอัตราการไหลไว้ที่ 3.2 ลบ.ม./ตร.ม./วัน ค่าปริมาณบีโอดีเท่ากับ 0.34 ก./ลบ.ม. ซึ่งสรุปผลการทดลองและวิจัยว่า ค่าบีโอดีของน้ำโสโครกหลังจากผ่านถังกรองไร้อากาศมีค่าประมาณ 67 ก./ลบ.ม. พบว่าการลดบีโอดีมีค่าประมาณ 75%

Raman และ Khan (1977) พบว่าในการทดลองสภาพสนามจริง หลังจากใช้งานเป็นระยะเวลา 2 ปี ระบบยังคงสามารถบำบัดบีโอดีได้ถึง 70-78% ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของน้ำเข้ามีค่าบีโอดี 170-250 มก./ล. ที่ค่าการระบรทุกเฉลี่ย 0.90 กก.บีโอดี/ลบ.ม./วัน

Raman และ Khan (1978) ทำการทดลองและวิจัยถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัย ทั้งการทดลองในห้องทดลองและในสนามจริง ถังกรองที่ใช้ทดลองในห้องทดลองเป็นท่อขนาด 0.10 ม. ใช้หินขนาด 20-25 มม. ใส่ลงไปสูง 1.20 ม. สำหรับการทดลองในสนามจริงได้สร้างถังกรองไร้อากาศขนาด 1.61 x 1.61 ม. สูง 1.40 ม. ภายในบรรจุหินขนาด 25-35 มม. สูง 1.20 ม. บำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีความเข้มข้นของบีโอดี 115-238 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 27.5 °ซ. โดยมีระยะเวลาพักน้ำ 6.4 ชม. ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีโดยเฉลี่ย 72.5% และสรุปได้ว่าถังกรองไร้อากาศเมื่อนำไปบำบัดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัยสามารถลดบีโอดีได้ประมาณ 70-80% ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าประมาณ 25-30 ก./ลบ.ม. ขนาดของหินกรองใช้ขนาด 19-25 มม. ความลึกของชั้นหินกรอง 0.75-1.20 ม. อัตราการไหลของถังกรองไร้อากาศมีค่าประมาณ 3.4 ลบ.ม./ตร.ม./วัน ปริมาณบีโอดีมีค่าประมาณ 0.34 กก./ลบ.ม./วัน อุณหภูมิประมาณ 23-32.5 °ซ. อีกทั้งถังกรองไร้อากาศสามารถทำงานได้นาน 1.5-2 ปี โดยไม่มีการอุดตัน

Veiga และคณะ (1994) ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองระบบ ระบบที่หนึ่งเป็นระบบถังกรองไร้อากาศ ซึ่งใช้ตัวกลางลักษณะวงแหวน ทำจากโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 ซม. สูง 1.2 ซม. จัดวางในถังกรองไร้อากาศแบบไม่เป็นระเบียบ แต่ละชั้นตัวกลางมีพื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับ 0.3 ตร.ม. และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface) 300 ตร.ม./ลบ.ม. ระบบที่สองเป็น Downflow stationary fixed film (DSFF) ซึ่งใช้ตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นลอนโพลีไวนิลคลอไรด์ (Corrugated polyvinyl chloride) ตัวกลางมีหนามทำด้วยโพลีสไตรีน (Needle punched polystyrene) และตัวกลางทำด้วยดินเหนียว วางในถังกรองไร้อากาศอย่างเป็นระเบียบมีพื้นที่ผิวตัวกลางแต่ละชั้นเฉลี่ย 0.07 ตร.ม. และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface) 70 ตร.ม./ลบ.ม. บำบัดน้ำเสียปลาทูน้า ผลการศึกษาพบว่าระบบถังกรองไร้อากาศสามารถบำบัดชีโอดีได้ 75% ที่อัตราการอินทรีย์ 11-13 กก.-ชีโอดี/ ลบ.ม./วัน มากกว่าระบบ DSFF ซึ่งบำบัดชีโอดีได้ 70% ที่อัตราการอินทรีย์ 3 กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน

Kwong และ Fang (1996) ใช้ระบบยูเอเอสบีและถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น โดยทั้ง 2 ถัง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 104 มม. สูง 1000 มม. ขนาด 8.5 ล. ต่อแบบขนานกันโดยในถังกรองไร้อากาศบรรจุด้วยตัวกลางพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. พื้นที่ผิว 235 ม<sup>2</sup>/ ม<sup>3</sup>. บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่มีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสม และเพิ่มค่าชีโอดีในน้ำเสียจาก 3,000 มก./ล. จนถึง 45,000 มก./ล. ในรูปของค่าภาระอินทรีย์ระหว่าง 3 ถึง 90 ก.-ชีโอดี/ล./วัน พบว่าที่อัตราการอินทรีย์ระหว่าง 3 ถึง 10 ก.-ชีโอดี/ล./วันทั้งระบบถังกรองไร้อากาศและยูเอเอสบีสามารถบำบัดชีโอดีไปได้ 96.8% และ 96.9% ตามลำดับ ที่อัตราการอินทรีย์ตั้งแต่ 10 ถึง 90 ก.-ชีโอดี/ล./วัน



สามารถบำบัดซีโอดีได้เท่ากับคือ 95.3% แสดงว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอสบีและถังกรองไร้อากาศต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Show และ Tay (1999) ใช้ระบบถังกรองไร้อากาศทรงกระบอกสูง 1 ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.14 ม. ปริมาตร 15 ล. จำนวน 3 ถัง โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ 2,500 5,000 และ 10,000 มก.-ซีโอดี/ล. ทำการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวกลาง 3 ชนิดดังนี้ แก้วที่มีผิวขรุขระ พีวีซีที่เจาะรูผิวเรียบ และพีวีซีที่ไม่เจาะรูผิวเรียบ และเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่กักกักชลศาสตร์ 15 20 และ 30 ชั่วโมง พบว่าถังกรองไร้อากาศสามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงถึง 10,000 มก./ล. ได้ 90% ตัวกลางที่มีความพรุนและขรุขระทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเก็บกักชลศาสตร์มากๆ ประสิทธิภาพยิ่งสูงขึ้น

Li และคณะ (2006) ใช้เกลือ (NaCl) ติดตามการดูดซับของระบบ SBR (Sequencing batch reactor) เนื่องจากการดูดซับของระบบจะส่งผลให้ระบบการทำงานล้มเหลวได้ สำหรับความเข้มข้นของน้ำเกลือที่เหมาะสมไม่ควรมากกว่า 1,000 มก./ล. และเวลาในการตรวจวัดควรวัดทุกๆ 15 นาทีเพื่อไม่ให้เป็นการปล่อยสารเคมีและเป็นการทำงานหนักจนเกินไป

Bodkhe (2008) ใช้ระบบถังกรองไร้อากาศบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งน้ำเสียชุมชนที่นำมาบำบัดมีค่าเท่ากับ 350-450 มก.-ซีโอดี/ล. โดยมีการใช้ tube settlers เพิ่มเข้าไปในถังกรองไร้อากาศ ทำการศึกษาเวลากักกักชลศาสตร์ตั้งแต่ 3 ชั่วโมงถึง 12 วัน พบว่าเวลากักกักชลศาสตร์ที่ดีควรมากกว่า 12 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งสามารถบำบัดซีโอดีได้มากกว่า 95%

Taruyanon และ Tejasen (2010) ใช้โปรแกรม AQUASIM ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าโปรแกรม AQUASIM สามารถทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลาย

ชลธิพร สุทธิธรรม (2550) ศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียดินแดงโดยใช้โปรแกรม AQUASIM ร่วมกับแบบจำลองระบบเอเอส 1 ในการสร้างแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียดินแดงและวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์

ในงานวิจัยใช้ถึงปฏิกิริยาแบบแบตซ์ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงและบ่อเกรอะจากอาคาร 22 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียตั้งแต่ 60 ถึง 200 มก.-ซีโอดี/ล. และความเข้มข้นจุลชีพเริ่มต้นที่ 100 และ 710 มก./ล. ผลการทดลองได้ค่าจลนพลศาสตร์ ดังนี้

$$Y = 0.43 \text{ mg-VSS/mg-COD} \quad K_s = 41.34 \text{ mg/l}$$

$$\mu_{\max} = 3.96 \text{ d}^{-1}$$

ผลการทดลองมีความผิดพลาดมาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 10 ของความเข้มข้นเริ่มต้น อีกทั้งการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบบำบัดน้ำเสียดินแดงโดยใช้ค่าจลนพลศาสตร์ที่

วิเคราะห์ได้พบว่าค่าซีโอดีที่จำลองได้มีค่าต่ำกว่าที่ค่าซีโอดีที่วัดได้จริงจากโรงบำบัด ซึ่งคาดว่าสาเหตุอาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้าหลุดออกจากระบบไปกับน้ำทิ้ง

ธงชัย นิรันดร์วงศ์วาน (2551) ศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียชุมชนจริงของประเทศไทยด้วยระบบเอเอส และสร้างแบบจำลองของโรงบำบัดน้ำเสียชองนนทรีด้วยโปรแกรม AQUASIM

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบเบตซ์ จากการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้น้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียชองนนทรีพบว่าค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพสูงถึง 80% ซึ่งไม่เหมาะแก่การทดลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเปลี่ยนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากโรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 30 – 800 มก./ล. ทดลองโดยใช้เชื้อสัดจ์ความเข้มข้นสูง 500-900 มก./ล. และใช้เชื้อสัดจ์ความเข้มข้นต่ำ 30 มก./ล. จากโรงบำบัดน้ำเสียชองนนทรี ซึ่งผลการทดลองได้ค่าจลนพลศาสตร์ ดังนี้

$$Y = 0.25 \text{ mg-VSS/mg-COD} \quad K_s = 166 \text{ mg/l}$$

$$\mu_{\max} = 2.35 \text{ d}^{-1}$$

ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากการสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม AQUASIM เมื่อนำไปใช้จำลองระบบบำบัดน้ำเสียชองนนทรี พบว่าสอดคล้องกับข้อมูลจากโรงบำบัดน้ำเสียชองนนทรี อย่างไรก็ตามค่าซีโอดีของน้ำทิ้งขาออกที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าซีโอดีขาออกของโรงบำบัดน้ำเสียชองนนทรี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลองของค่าซีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อป้อนลงในแบบจำลอง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้โปรแกรม AQUASIM ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ให้ผลเป็นที่น่าพอใจและใช้งานได้เป็นอย่างดี

สำหรับค่าการออกแบบของระบบถังกรองไร้อากาศแบบ Upflow Attached Growth Reactor จากการรวบรวมพบว่าส่วนใหญ่เป็นค่าการออกแบบจากน้ำเสียความเข้มข้นสูงดังตารางที่ 2.11 และ 2.12

ตารางที่ 2.11 ค่าการออกแบบระบบบำบัดแบบ Upflow Attached Growth Reactor (Metcalf and Eddy, 2004)

Wasterwater	Packing type	Temp (°c)	COD loading (kg/m <sup>3</sup> .d)	HRT (d)	Recycle Ratio R/Q	COD removal (%)
1. Guar Gum	Pall ring	37	7.7	1.2	5.0	61
2. Chemical Process	Pall ring	37	12-15	0.9-1.3	5.0	80-90
	Pall ring	15-25	0.1-0.2	0.5-0.75	0	50-70
3. Domestic	Tubular	37	0.2-0.7	25-37	0	90-96
4. Landfill leachate	Cross-flow	35	1.5-2.5	2-3	0.25	89
5. Food Canning	Cross-flow	30	4-6	1.8-2.5	0	90

ตารางที่ 2.12 ค่าการออกแบบระบบบำบัดแบบ Upflow Anaerobic Filter

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ออกแบบ	หน่วย	ที่มา
HRT	0.5-4	day	Grady et al., 1996
OLR	5-15	kg-COD/ m <sup>3</sup> -d	
HRT	24-48	hour	Qasim, 1999
OLR	1-5	kg-COD/ m <sup>3</sup> -d	
(COD 10,000-20,000 mg/l) COD removal efficiency 75-85%			

จากการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ยังไม่มีการศึกษาข้อมูลในการออกแบบและค่าจลนพลศาสตร์ของถังกรองไร้อากาศสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำที่มากพอ ซึ่งค่าการออกแบบที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นค่าการออกแบบของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้นในการออกแบบน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำในปัจจุบันจึงใช้ค่าการออกแบบของน้ำเสียความเข้มข้นสูงซึ่งไม่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสูงเกินความจำเป็น งานวิจัยนี้จึงทำการหาค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและนำไปสู่การออกแบบ โดยการศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางของระบบกรองไร้อากาศใน

การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ โดยมีการเลือกใช้วัสดุตัวกลาง การปรับเปลี่ยนระยะเวลาพักชดสศาสตร์ให้เหมาะสมเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดชีโอดีในน้ำเสีย โดยสรุปได้ดังนี้

1. ระยะเวลาพักชดสศาสตร์ที่เหมาะสมประมาณ 0.5 - 4.0 วัน
2. วัสดุตัวกลางที่ดีควรมีความพรุน และมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ
3. โปรแกรม AQUASIM สามารถสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ค่า

จลนพลศาสตร์ให้ผลเป็นที่น่าพอใจและใช้งานได้เป็นอย่างดี

ทั้งนี้การจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถจำลองสถานะการทำงานของระบบภายใต้ภาระบรรทุกทางชดสศาสตร์ต่างๆกันได้ ซึ่งช่วยให้ผู้ออกแบบหรือผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียสามารถออกแบบหรือปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

การทดลองทั้งหมดปฏิบัติที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยได้แบ่งแผนการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

- |                  |   |
|------------------|---|
| <u>ส่วนที่ 1</u> | ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด |
| <u>ส่วนที่ 2</u> | ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด     |
| <u>ส่วนที่ 3</u> | ทดสอบการอุดตันของระบบ                           |
| <u>ส่วนที่ 4</u> | หาค่าจลนพลศาสตร์                                |
| <u>ส่วนที่ 5</u> | สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์                     |

ตัวแปรเปลี่ยนอิสระที่ศึกษา คือ ค่าซี โอดีและพื้นที่ผิวตัวกลาง ซึ่งค่าซี โอดีมีการเปลี่ยนแปลง 6 ค่าคือ 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก./ล. สำหรับพื้นที่ผิวตัวกลางมีการเปลี่ยนแปลง 7 ค่าคือ 56,000 32,000 16,000 8,000 3,200 1,600 และ 0 ตร.ซม. ซึ่งมาจากตัวกลางจำนวน 350 200 100 50 20 10 และ 0 อันตามลำดับ

รายละเอียดมีดังนี้

##### 3.1.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด

สร้างถังกรองไร้อากาศจำนวน 6 ถัง โดยทั้ง 6 ถัง ทำด้วยท่อพีวีซี ทรงกระบอกสูง 150 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. มีพื้นที่หน้าตัด 315 ตร.ซม. ปริมาตร 48 ล. ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 36 ล./วัน เวลาพักพักชลศาสตร์ 24 ชม. และตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 จำนวน 350 อัน(พื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับ 56,000 ตร.ซม.) เท่ากันทุกถังปฏิบัติการ โดยแบ่งป้อนน้ำเสียด้วยความเข้มข้นต่างๆคือ 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก./ล. ดังตารางที่ 3.1 เติมน้ำในระบบต่อเนื่องจนความเข้มข้นของน้ำเสียที่ออกคงที่และนำไปหาอัตราการบำบัดที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองป้อนน้ำเสียสังเคราะห์

ความเข้มข้นของน้ำเสีย สังเคราะห์ขาเข้า (มก.-ซีโอดี/ล.)	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ( กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)
100	0.1
200	0.2
500	0.5
1,000	1
2,000	2
5,000	5

ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศด้วยเครื่องสูบน้ำที่ปรับอัตราการไหลได้ในอัตราที่กำหนด เก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากระบบมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จะทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (7 จุด) ในระหว่างการทดลองสามารถปรับพีเอชด้วยสาร  $\text{NaHCO}_3$  ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.

### 3.1.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด

ใช้ถังกรองไร้อากาศจำนวน 2 ถัง โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายเป็นสารอาหาร ป้อนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 36 ล./วัน เวลาพักพักชลศาสตร์เป็นเวลา 24 ชม. โดยใช้ความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และทำการศึกษาตัวกลางพลาสติกกรุ่น R- 190 จากเต็มถังกรองไร้อากาศ(จำนวน 350 อัน มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 56,000 ตร.ซม.) จะลดลงเป็น 32,000 16,000 8,000 3,200 1,600 และ 0 ตร.ซม. โดยการหีบออกแล้วปล่อยให้ระบบคงตัว (Steady State) จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเทียบกับพื้นที่ผิวตัวกลาง

พารามิเตอร์ที่ควบคุมให้มีค่าคงที่ตลอดทุกการทดลองทั้งสองการทดลองคือ อัตราการป้อนน้ำเสีย (36 ล./วัน) เป็นผลให้เวลากักน้ำในถังกรองไร้อากาศมีค่าคงที่

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนแปลงตามได้แก่

1. พีเอช (pH)
2. สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)
3. ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume)

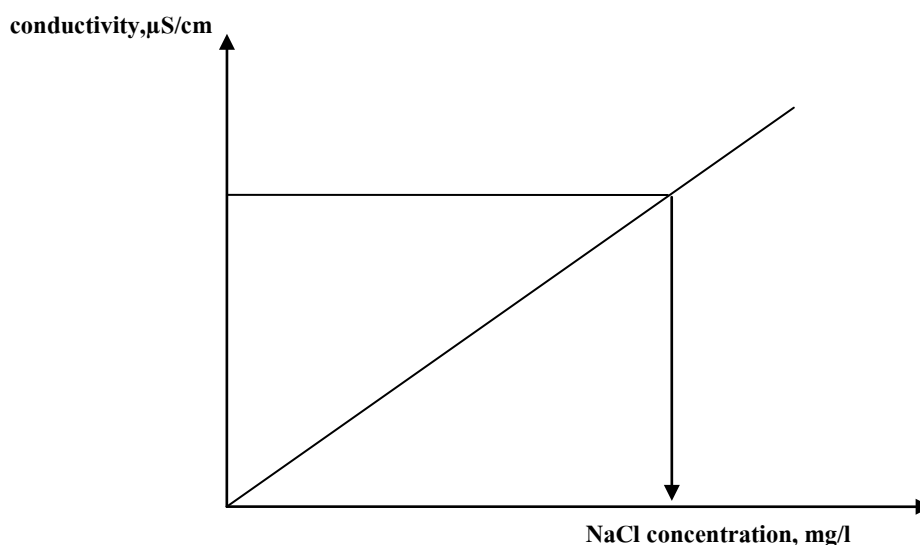
4. เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH<sub>4</sub>)
5. กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA)
6. ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand, TCOD)
7. ซีโอดีละลาย (Soluble Chemical Oxygen Demand, SCOD)
8. อุณหภูมิ (Temperature)
9. ของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)

### 3.1.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบการอุดตันของระบบ

ระหว่างการทดลองส่วนที่ 1 จะทดสอบการอุดตันของระบบด้วยเติมน้ำเกลือ (NaCl) ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. บริเวณทางเข้า หลังจากนั้นวัดความเข้มข้นของน้ำเกลือบริเวณทางออกด้วยค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ซึ่งการทดสอบการอุดตันนี้จะทำการทดลองขณะที่

1. ภายในถึงปฏิกรณ์ว่างเปล่า
2. ขณะทำการเริ่มต้นระบบ
3. เมื่อระบบคงที่

หาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำเกลือและค่าการนำไฟฟ้าเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) เพื่อนำมาเทียบหาความเข้มข้นของน้ำเกลือ จากค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองได้มีลักษณะดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NaCl กับค่าการนำไฟฟ้า

### 3.1.4 การทดลองที่ 4 หาค่าจลนพลศาสตร์

หาอัตราการบำบัดที่ความเข้มข้นต่างๆของแต่ละชุดการทดลอง (COD 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก./ล.) ซึ่งจะสามารถหาค่าอัตราการบำบัด( $r_{\text{COD}}$ )ได้จากสมการที่ 3.1

$$r_{\text{COD}} = \frac{F \cdot \text{COD}_{\text{in}} - F \cdot \text{COD}_{\text{out}}}{\text{Vol}} \quad \dots(3.1)$$

จากนั้นหาค่า  $k$  bCOD และ nbCOD โดยการปรับแก้ข้อมูลด้วยฟังก์ชันการแก้สมการหาตัวแปรของโปรแกรม Microsoft Excel จากสมการปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (1<sup>st</sup>-order) สมการที่ 3.2 ของการทดลองในแต่ละชุดจะได้ค่าอัตราการย่อยสลายของแต่ละชุดการทดลอง

$$\text{COD} = b\text{COD} \cdot e^{-kt} + nb\text{COD} \quad \dots(3.2)$$

นำค่าอัตราการย่อยสลาย( $k$ )และค่าซีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพขาเข้าของแต่ละชุดการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าอัตราการย่อยสลายจำเพาะเพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ต่อไป

### 3.1.5 การทดลองที่ 5 สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

โดยการนำค่าซีโอดีและค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้มาใช้จำลองระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้โปรแกรม AQUASIM 2.1b และเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนของผลจากแบบจำลองกับผลการบำบัดจริง ซึ่งการตรวจสอบและเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้มีขั้นตอนดังนี้

#### 1) การตรวจสอบผลโดยใช้โปรแกรม AQUASIM

1.1) สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบถังกรองไร้อากาศด้วยโปรแกรม AQUASIM2.1b โดยใช้สมการดังนี้

- สมการอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป ( $r_{\text{GX}}$ )

$$r_{\text{GX}} = \frac{dX_{\text{B,H}}}{dt} = k \cdot S \cdot X \quad \dots(3.3)$$

- โดยที่  $k$  = อัตราการย่อยสลายจำเพาะของจุลชีพ (วัน<sup>-1</sup>)  
 $S_{\text{S}}$  = ความเข้มข้นของสารอาหารละลายน้ำ (มก./ล.)  
 $X_{\text{B,H}}$  = ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพเฮเทอโรโทรป (มก./ล.)

- สมการอัตราการสลายตัวของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป ( $r_{\text{DX}}$ )

$$r_{\text{DX}} = -b_{\text{H}} X_{\text{S,H}} \quad \dots(3.4)$$

- โดยที่  $b_{\text{H}}$  = อัตราการสลายตัวจำเพาะของจุลชีพแบบเฮเทอโรโทรป (วัน<sup>-1</sup>)



- สมการอัตราการกำจัดสารอาหาร ( $r_s$ )

$$r_s = \frac{dS}{dt} = -k \cdot S \cdot X \cdot Y_H \quad \dots(3.5)$$

โดยที่  $Y_H$  = ยิลด์ของเฮเทอโรโทรฟ (มก.-วีเอสเอส/มก.-ซีไอดี)

1.2) นำค่า  $COD_{in}$  และ  $COD_{out}$  ที่วิเคราะห์ได้ ป้อนลงไปโปรแกรม รวมทั้งป้อนค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้ในขั้นตอนข้างต้นลงในโปรแกรมเช่นกัน

1.3) จากนั้นให้โปรแกรมจำลองกราฟปริมาณซีไอดีหลังออกจากระบบถังกรองไร้อากาศ

1.4) นำข้อมูลซีไอดีของน้ำเสียดังวิเคราะห์ที่ออกจากระบบถังกรองไร้อากาศ ซึ่งวิเคราะห์จากน้ำเสียดังตัวอย่างที่ออกจากระบบมาเทียบกับกราฟปริมาณซีไอดีที่จำลองมาจากโปรแกรมในขั้นที่ 1.3 โดยดูว่าข้อมูลซีไอดีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับกราฟที่จำลองได้หรือไม่ ถ้าใกล้เคียงแสดงว่าค่าจลนพลศาสตร์ที่หาได้มีความถูกต้องในระดับหนึ่ง

## 2) การทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์

ทำการตรวจสอบระดับความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์ที่วิเคราะห์ได้โดยนำข้อมูลของซีไอดีที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ มาใช้ทดสอบความคลาดเคลื่อน ด้วยสมการความผิดพลาดมาตรฐานจากประมาณค่า (Standard Error of Estimation : SEE) (Holman, 2001) โดยมีสมการดังนี้

Error! Bookmark not defined.

$$SEE = \left[ \frac{\sum (C_i - \hat{C}_i)^2}{n-2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

...(3.6)

โดยที่  $C_i$  = ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

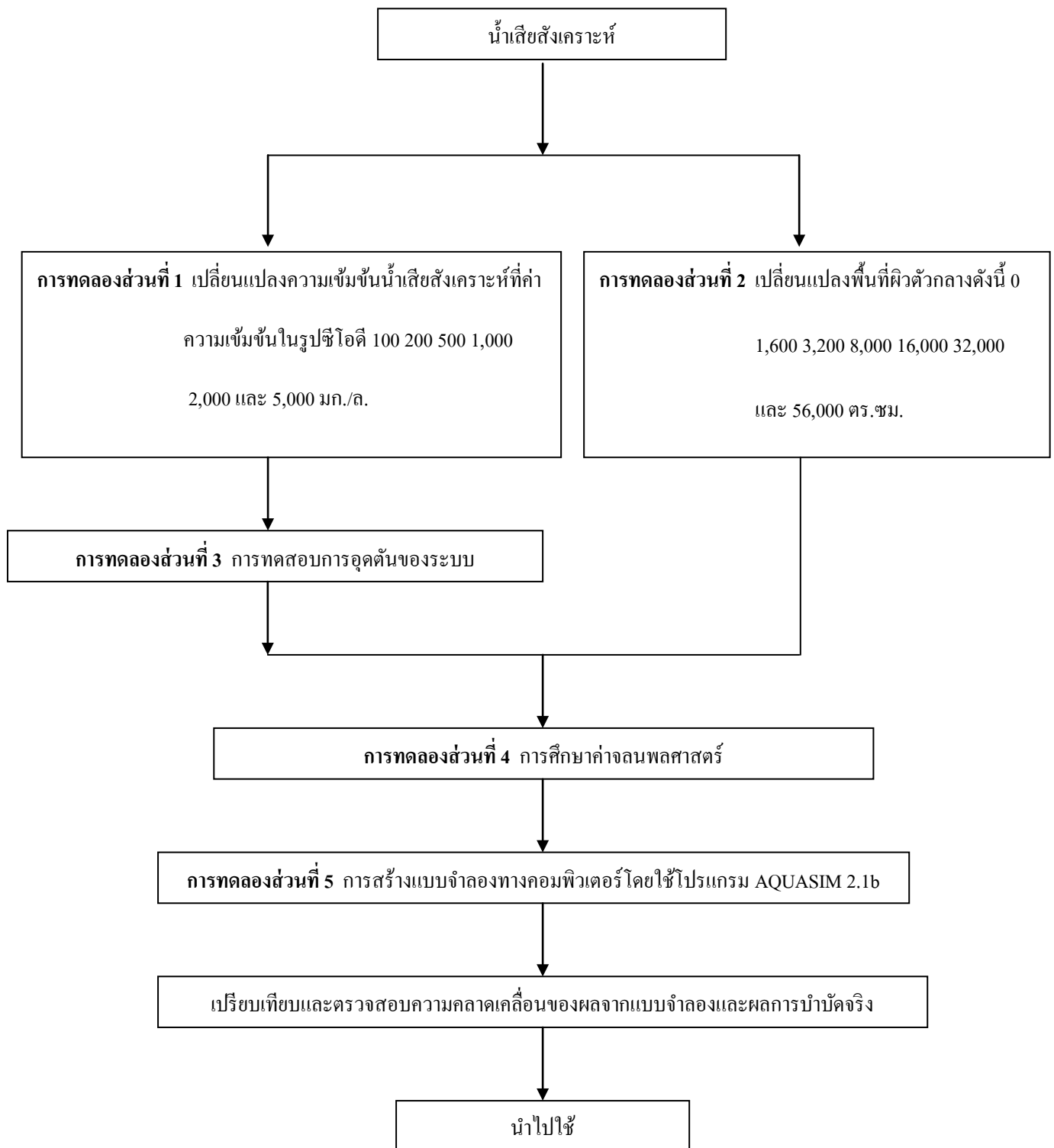
$\hat{C}_i$  = ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง

$n$  = จำนวนข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด

ค่าที่ได้จากสมการควรมีค่าน้อยกว่า 10 % ของความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น

สรุปผลที่ได้จากการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับวิธีต่างๆ จากนั้นอธิบายสาเหตุที่เป็นไปได้ของความแตกต่างและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น รวมถึงแสดงข้อคิดเห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้นี้ไปใช้จริงในอนาคต

โดยภาพรวมของงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3.2



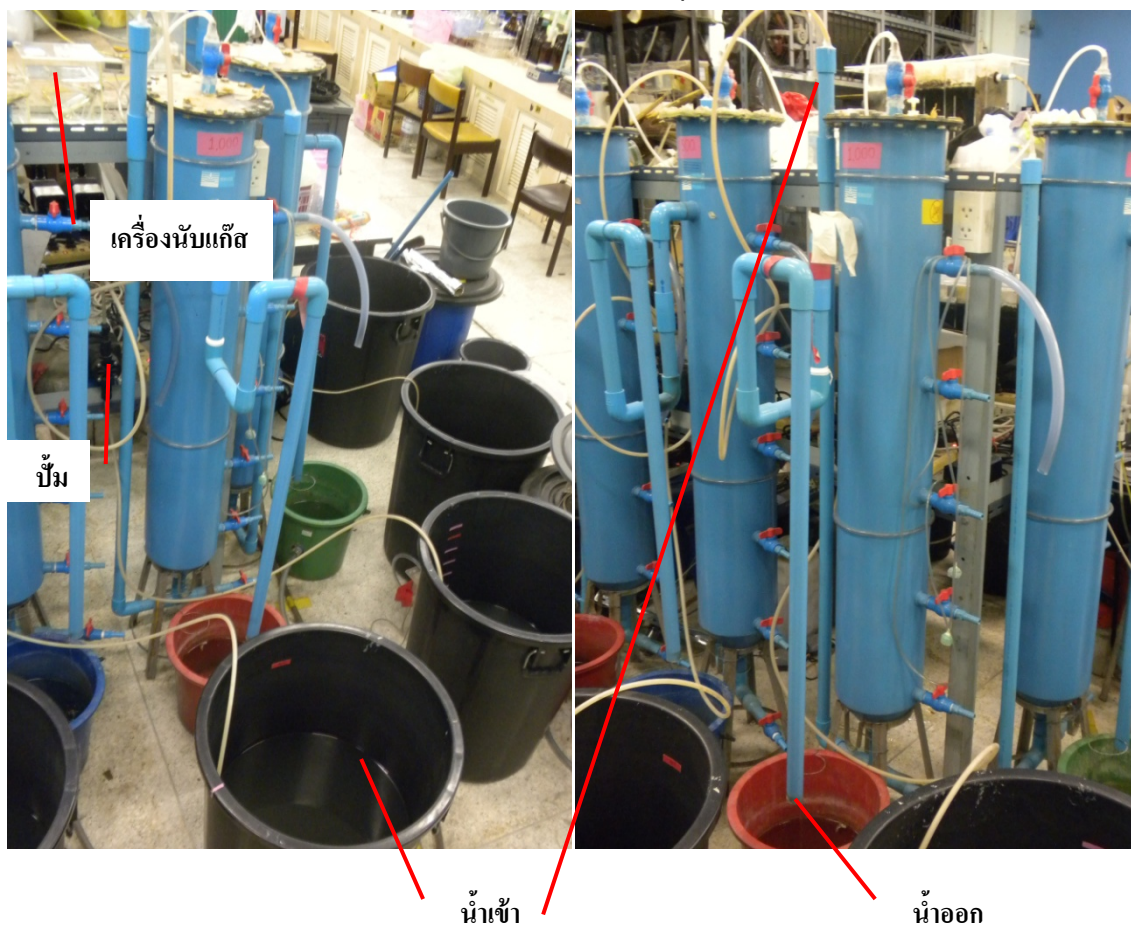
ภาพที่ 3.2 แผนผังรวมสรุปขั้นตอนการทดลองทั้งหมดของงานวิจัยนี้

### 3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1.1 ถังกรองไร้อากาศ

ถังกรองไร้อากาศทำด้วยท่อพีวีซี ทรงกระบอกสูง 150 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. มีพื้นที่หน้าตัด 315 ตร.ซม. มีปริมาตร 48 ล. ลักษณะของถังปฏิกรณ์ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ลักษณะถังกรองไร้อากาศ

##### 3.2.1.2 หัวเชื้อที่ใช้เริ่มต้นระบบ

หัวเชื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบนี้ นำมาจากบริษัท แชน.อี.68 คอนซัลตติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด ซึ่งจากการหมักมูลสุกร โดยเก็บให้มีสภาพไร้อากาศ ดังภาพที่ 3.4 มาผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อทำการเริ่มต้นระบบจำนวน 30% ของปริมาตรทั้งหมด



ภาพที่ 3.4 หัวเชื้อแอนแอโรบิกจากบริษัท แซนอี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด

### 3.2.1.3 ตัวกลางภายในถังกรอง

ตัวกลางที่ใช้คือ ตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 Random Flow Media

### 3.2.1.4 เครื่องสูบน้ำเสีย

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการสูบได้ เพื่อทำการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยในการทดลองนี้จะตั้งอัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบตามที่ออกแบบไว้ที่ 36 ล./วัน

### 3.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย

น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) ที่ป้อนให้กับถังกรองไร้อากาศมีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) และมีธาตุอาหาร (nutrients) ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยกำหนดให้มีค่าซีโอดีประมาณ 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก./ล. โดยเตรียมให้มีอัตราส่วนของ COD:N:P เท่ากับ 100:1.1:0.2 ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆมีดังนี้

#### 1. Macro nutrient

N:  $\text{NH}_4\text{Cl}$

P:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$

S:  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

#### 2. Micro nutrient

Iron:  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Cobalt:  $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Nickel:  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Zinc:  $\text{ZnCl}_2$

Copper:  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Manganese:  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Molybdenum:  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Selenium:  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$

Tungsten:  $\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

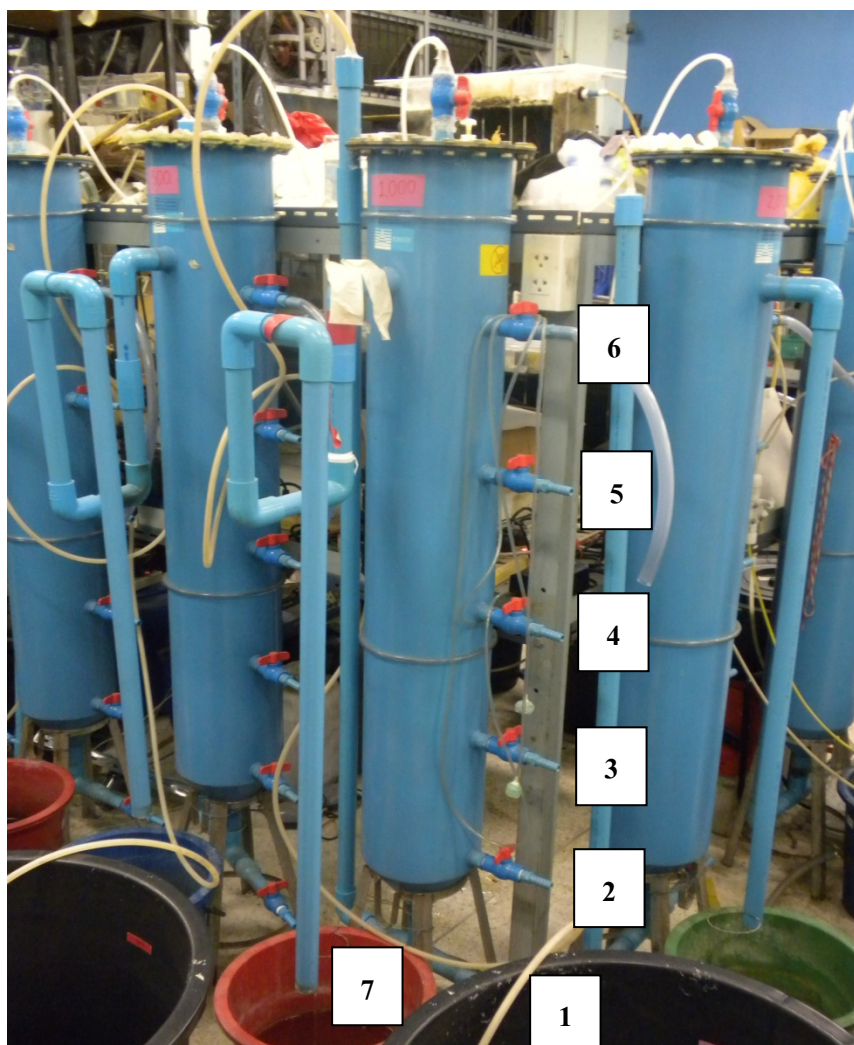
Boron:  $\text{H}_3\text{BO}_3$

ที่มา : Speece, 1996

จากการทดลองในห้องต้นพบว่าน้ำตาลทรายขาวหนัก 1 ก. (ยี่ห้อมิตรผล) เมื่อละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ล. พบว่ามีค่าซีไอดี ประมาณ 1,000 มก./ล.

### 3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 จุด คือ แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 3.5 และความถี่ในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

ตัวแปรเปลี่ยนแปลงตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง						
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7
Total COD	A	A	A	A	A	A	A
pH	A	A	A	A	A	A	A
SCOD	A	A	A	A	A	A	A
MLSS	A	A	A	A	A	A	A
Volatile fatty acid	A	A	A	A	A	A	A
Total alkalinity	A	A	A	A	A	A	A
Total gas volume	-	-	-	-	-	-	S
Temperature	A	A	A	A	A	A	A
Percent methane	-	-	-	-	-	-	S

หมายเหตุ A หมายถึง ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

S หมายถึง ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์เมื่อระบบคงตัว (Steady State)

### 3.4 วิธีที่ใช้วิเคราะห์

1. Total COD : Closed Reflux, Titrimetric Method
2. pH : Electronic pH Meter Method
3. SCOD : Closed Reflux, Titrimetric Method
4. MLSS : Standard Method
5. Volatile Fatty Acid : Direct Titration
6. Total Alkalinity : Direct Titration
7. Total Gas Volume : Count Meter Method
8. Temperature : Electronic Thermometer Method
9. Percent Methane : Gas Chromatography

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด

##### 4.1.1 การเริ่มต้นระบบ

ก่อนเริ่มต้นเดินระบบได้นำหัวเชื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบซึ่งเป็นมูลสุกรที่เก็บให้มีสภาพไร้อากาศนำมาผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายจำนวน 30 % ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการนำตัวกลางพลาสติกุ่น R-190 ไปแช่ในหัวเชื้อดังกล่าวและทำการเลี้ยงโดยการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายที่ความเข้มข้น 10,000 มก.-ซีโอดี/ล.และเติมธาตุอาหารต่างๆ (Speece,1996)ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบเพื่อให้เชื้อเกาะติดกับตัวกลางและทำให้เชื้ออยู่ในสภาพพร้อมที่จะบำบัดโดยทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 203 วัน ผลพบว่าในช่วงแรกมีค่าพีเอชต่ำจึงทำการเติมด่าง ( $\text{NaHCO}_3$ ) ในช่วง 30 วันแรกจนมีพีเอชเท่ากับ 7.2 จากนั้นระบบสามารถปรับสภาพได้เองโดยตลอดเวลาที่แช่ตัวกลางมีค่าพีเอช 7-8

เมื่อเริ่มต้นเดินระบบได้นำตัวกลางที่แช่ไว้ก่อนเริ่มต้นเดินระบบมาบรรจุให้เต็มถัง (350 ลิตร) เท่ากันทุกถัง และนำน้ำที่แช่ตัวกลางมาเป็นหัวเชื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบเนื่องจากหัวเชื้อดังกล่าวผ่านการเลี้ยงให้ชินกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งนำน้ำดังกล่าวมาใส่ในถังกรองไร้อากาศจำนวน 40% ของปริมาตรถังกรองไร้อากาศทั้งหมดจำนวน 6 ถัง จากนั้นป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยอัตราการไหล 36 ลิตร/วัน เวลาพักพักชดสสาร 24 ชม.

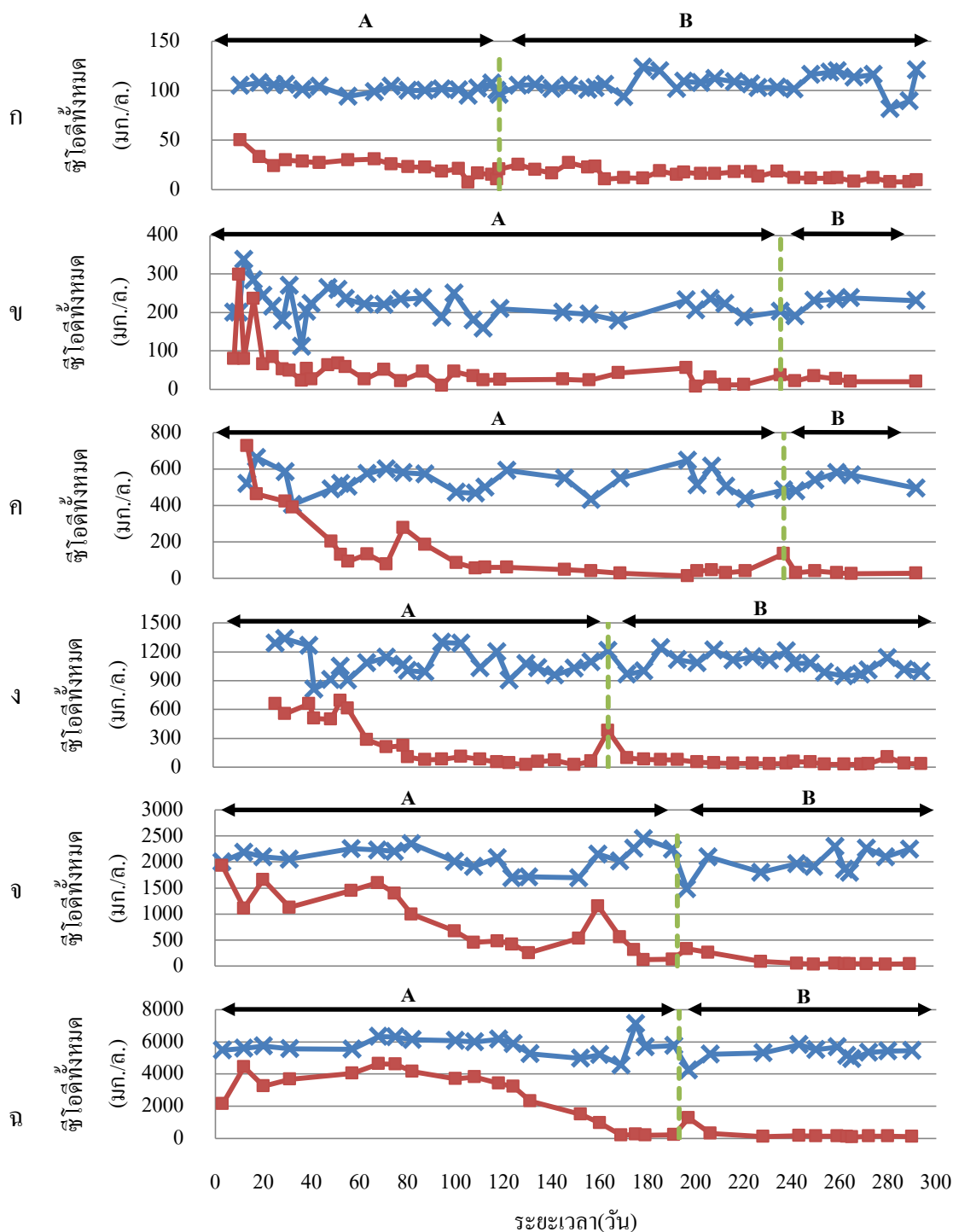
##### 4.1.2 ค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) และค่าซีโอดีละลาย (SCOD)

การทดลองนี้ศึกษาอัตราการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก.-ซีโอดี/ล. (เทียบเป็นอัตราสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ตามลำดับ) จากผลการทดลองพบว่าใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมด 160 292 292 208 290 และ 290 วันตามลำดับ เริ่มต้นเดินระบบ (start-up) แต่ละอัตราสารอินทรีย์ใช้ความเข้มข้นน้ำตาลที่ความเข้มข้น  $100 \pm 4$   $249 \pm 48$   $546 \pm 105$   $1,026 \pm 124$   $2,197 \pm 137$  และ  $5,532 \pm 587$  มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ พบว่าที่อัตราสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 และ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน เมื่อเดินระบบไปได้ 30 56 101 และ 81 วัน ตามลำดับ ค่าซีโอดีน้ำออกจึงเริ่มคงที่ เมื่อเดินระบบต่อจนถึงวันที่ 120 236 237 และ 164 วัน ตามลำดับ พบว่าค่าซีโอดี

น้ำเข้า  $100 \pm 7$   $206 \pm 43$   $534 \pm 86$  และ  $1,063 \pm 120$  มก.-ซีโอดี/ล. จะเหลือค่าซีโอดีน้ำออก  $14 \pm 2$   $24 \pm 13$   $30 \pm 13$  และ  $43 \pm 15$  มก.-ซีโอดี/ล. สำหรับที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบค่าซีโอดีน้ำออกมีค่าแปรปรวนมากดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2

จากการศึกษาระยะเวลาที่สูงของถังกรองไร้อากาศต่ออัตราการบำบัดพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสามารถบำบัดได้คือที่ความสูง 0.25 ม.ของถังกรองไร้อากาศ จึงคิดว่าประสิทธิภาพที่บำบัดได้เกิดจากหัวเชื้อที่เติมลงไปตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบ เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องเน้นการบำบัดที่เกิดจากเชื้อที่เกาะอยู่บนพื้นผิวตัวกลาง จึงทำการเอาหัวเชื้อออกจากระบบในทุกๆอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ในวันที่ 120 236 237 164 193 และ 193 วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงจากเดิมจากค่าซีโอดีน้ำเข้า 87 183 430 941 1,632 และ 4,128 มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ พบค่าซีโอดีน้ำออก 22 25 104 344 423 และ 1,210 มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ จากนั้นเมื่อเดินระบบต่อไปพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดค่อยๆเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่จากค่าซีโอดีน้ำเข้า  $120 \pm 10$   $222 \pm 29$   $543 \pm 71$   $1,133 \pm 29$   $2,102 \pm 242$  และ  $5,309 \pm 494$  มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ จะได้ค่าซีโอดีน้ำออกเท่ากับ  $12 \pm 0.4$   $20 \pm 2$   $25 \pm 5$   $33 \pm 2$   $43 \pm 10$  และ  $117 \pm 26$  มก.-ซีโอดี/ล. ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งสรุปได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 90 91 95 97 98 และ 98 % ตามลำดับ





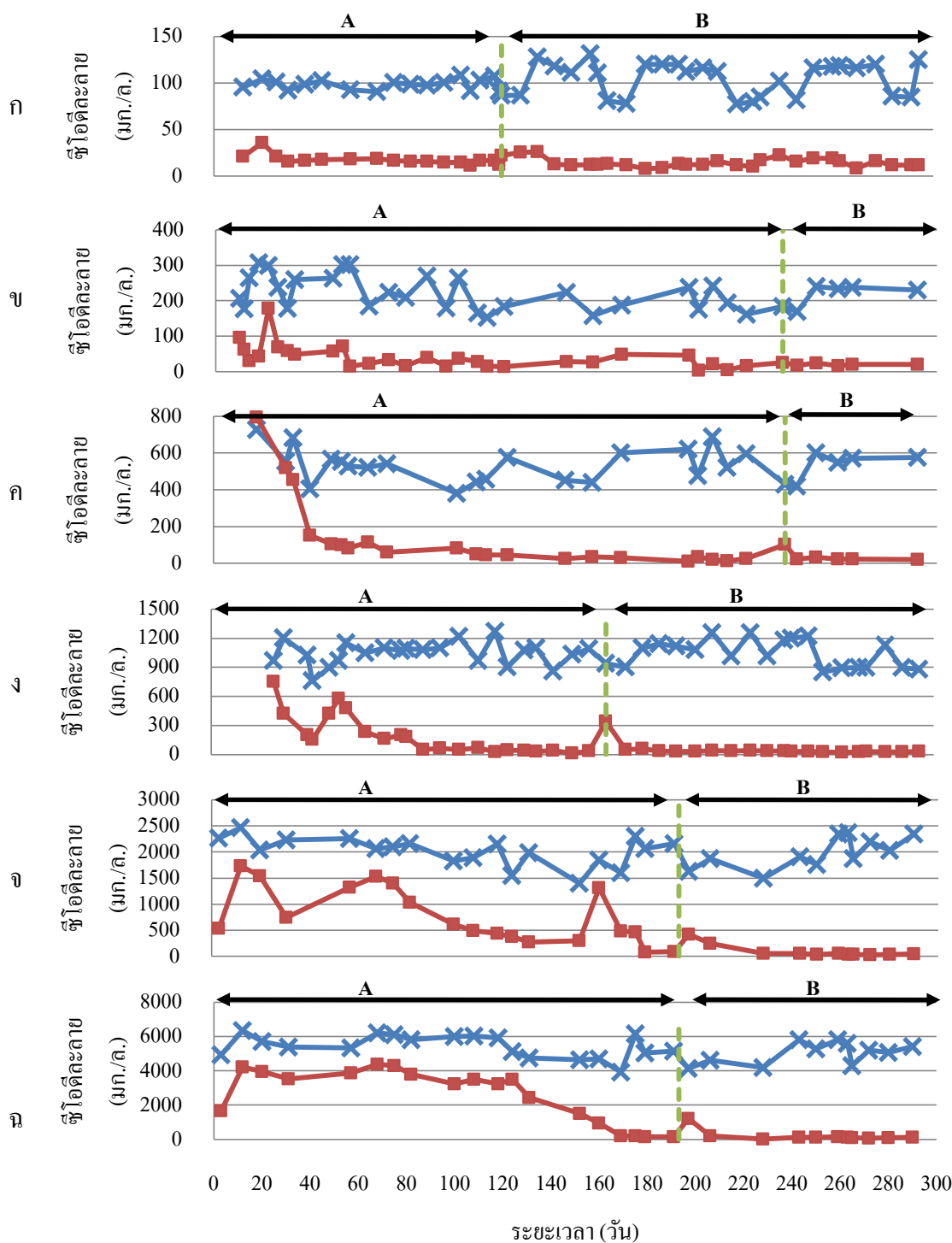
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการบำบัดซีโอดีทั้งหมดที่อัตรากระบวนการทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

(—x— = ซีโอดีน้ำเข้า —■— = ซีโอดีน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่ให้มีเชื้อ B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก

ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.

ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ฉ : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการนำมัตซีไอดีละลายที่อัตรากระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

(—x— = ซีไอดีน้ำเข้า —■— = ซีไอดีน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่มัตซีไอดีเข้า B หมายถึงหลังนำมัตซีไอดีออก

ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.

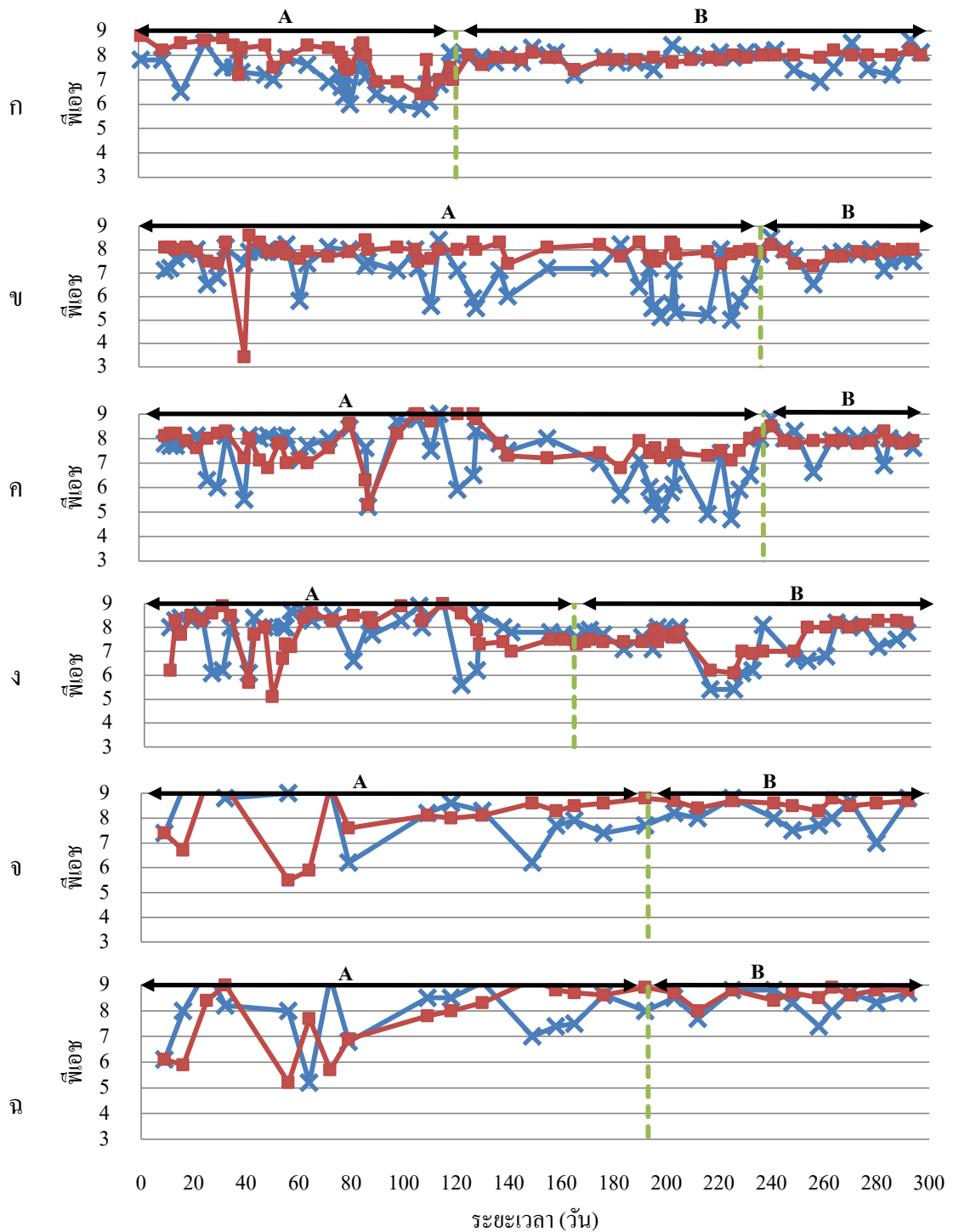
ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ฉ : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

#### 4.1.3 พีเอช (pH)

การทดลองนี้ทำการควบคุมพีเอชภายในถังกรองใรรีอากาศให้อยู่ในช่วงระหว่าง 6.8 – 7.2 เพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ โดยการปรับค่าพีเอชทำโดยการเติมผงโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) พร้อมกลับน้ำเสียแล้วทำการวัดพีเอชที่น้ำเข้าและน้ำออกของถังกรองใรรีอากาศ ผลการทดลองพบว่าในช่วงแรกพีเอชระบบถังกรองใรรีอากาศมีค่าแปรปรวนเนื่องจากอยู่ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ระบบมีกรดที่ผลิตจากกระบวนการสร้างกรดเป็นจำนวนมากทำให้บางช่วงพีเอชลดลงต่ำมากและเป็นช่วงทดลองปรับปริมาณค่าที่เหมาะสมกับระบบ ทั้งนี้จะพบว่าพีเอชของน้ำเข้าของถังกรองใรรีอากาศมีค่าขึ้นลงเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้เตรียมน้ำจำนวนมากเพื่อการเดินระบบในแต่ละครั้ง แต่เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ จะพบว่าค่าพีเอชน้ำออกจะคงที่ ซึ่งค่าเฉลี่ยพีเอชที่สภาวะคงที่ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน พีเอชน้ำเข้าเท่ากับ  $7.9 \pm 0.2$   $7.6 \pm 0.2$   $7.7 \pm 0.5$   $7.6 \pm 0.2$   $8.0 \pm 0.5$  และ  $8.3 \pm 0.4$  ตามลำดับ และพีเอชน้ำออกเท่ากับ  $7.8 \pm 0.1$   $7.8 \pm 0.1$   $7.9 \pm 0.1$   $7.5 \pm 0.1$   $8.5 \pm 0.1$  และ  $8.6 \pm 0.1$  ตามลำดับ จะแสดงดังภาพที่ 4.3

#### 4.1.4 อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกของถังกรองใรรีอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้องขณะทดลองและฤดูกาลในขณะนั้นๆ ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งในน้ำเข้าและน้ำออกของถังกรองใรรีอากาศมีค่าประมาณ 30 °ซ. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่สภาวะคงที่ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าเท่ากับ  $29.3 \pm 0.6$   $28.3 \pm 0.7$   $28.3 \pm 0.6$   $29.0 \pm 0.7$   $28.4 \pm 1.3$  และ  $29.1 \pm 0.6$  °ซ. ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิน้ำออกเท่ากับ  $29.6 \pm 0.8$   $28.6 \pm 0.6$   $28.6 \pm 0.5$   $29.1 \pm 0.8$   $28.6 \pm 1.5$  และ  $29.5 \pm 0.9$  °ซ. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชที่ค่าอัตราสารบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

(—x— = พีเอชน้ำเข้า —■— = พีเอชน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่มิหวัเชื้อ B หมายถึงหลังนำหวัเชื้อออก

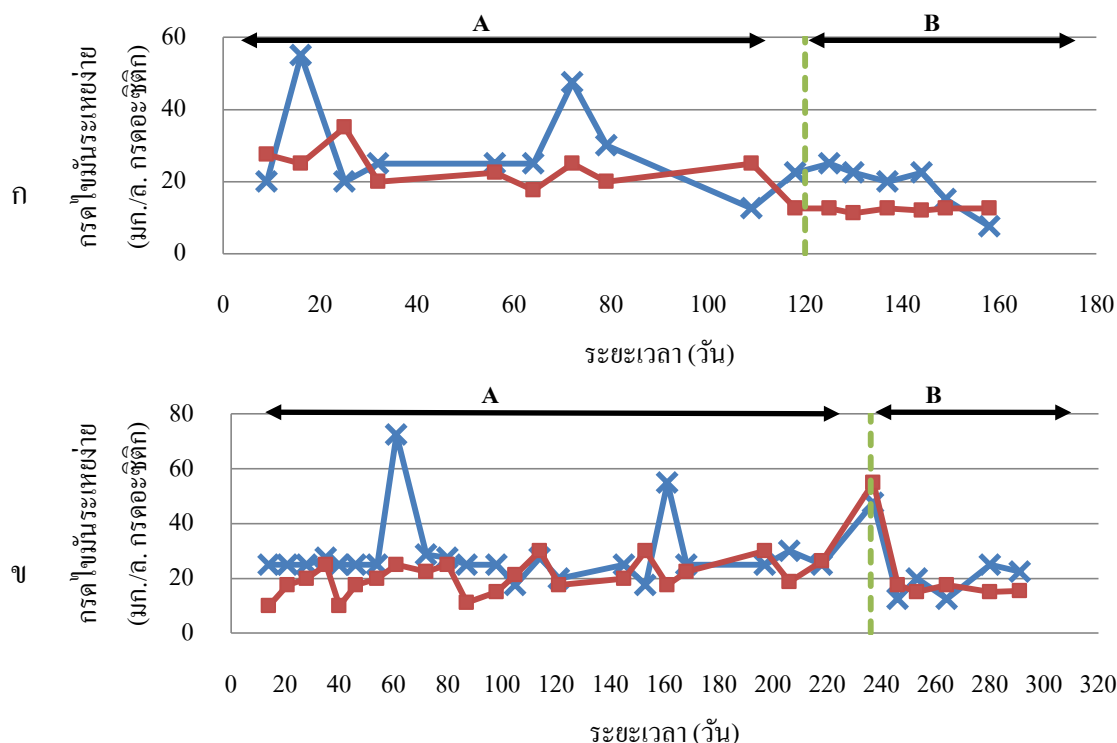
ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.

ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ฉ : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

#### 4.1.5 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างทั้งหมด

##### 4.1.5.1 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)

จากภาพที่ 4.4 แสดงค่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่เข้าระบบและออกจากระบบ ภายใต้อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่าในน้ำเข้าระบบจะมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงบ้างต่ำบ้าง เนื่องจากน้ำที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้เป็นจำนวนมากในการเดินระบบแต่ละครั้ง ทั้งนี้หากเตรียมน้ำเสียแล้ววัดผลจะพบว่ามีค่ากรดไขมันระเหยง่ายไม่สูงนัก แต่หากวัดผลหลังจากเตรียมน้ำไปแล้วสัก 1 ถึง 2 วัน ค่ากรดไขมันระเหยง่ายจะสูงขึ้นตามลำดับ ส่วนในน้ำออกจากระบบพบว่ามีค่ากรดไขมันระเหยง่ายน้อยทั้งนี้อาจเกิดจากการที่แบคทีเรียนำกรดไขมันระเหยง่ายไปใช้ ทำให้ไม่เกิดการสะสมในระบบ และพบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำออกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ทำให้ทราบว่าเมื่ออัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น จะกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายได้ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

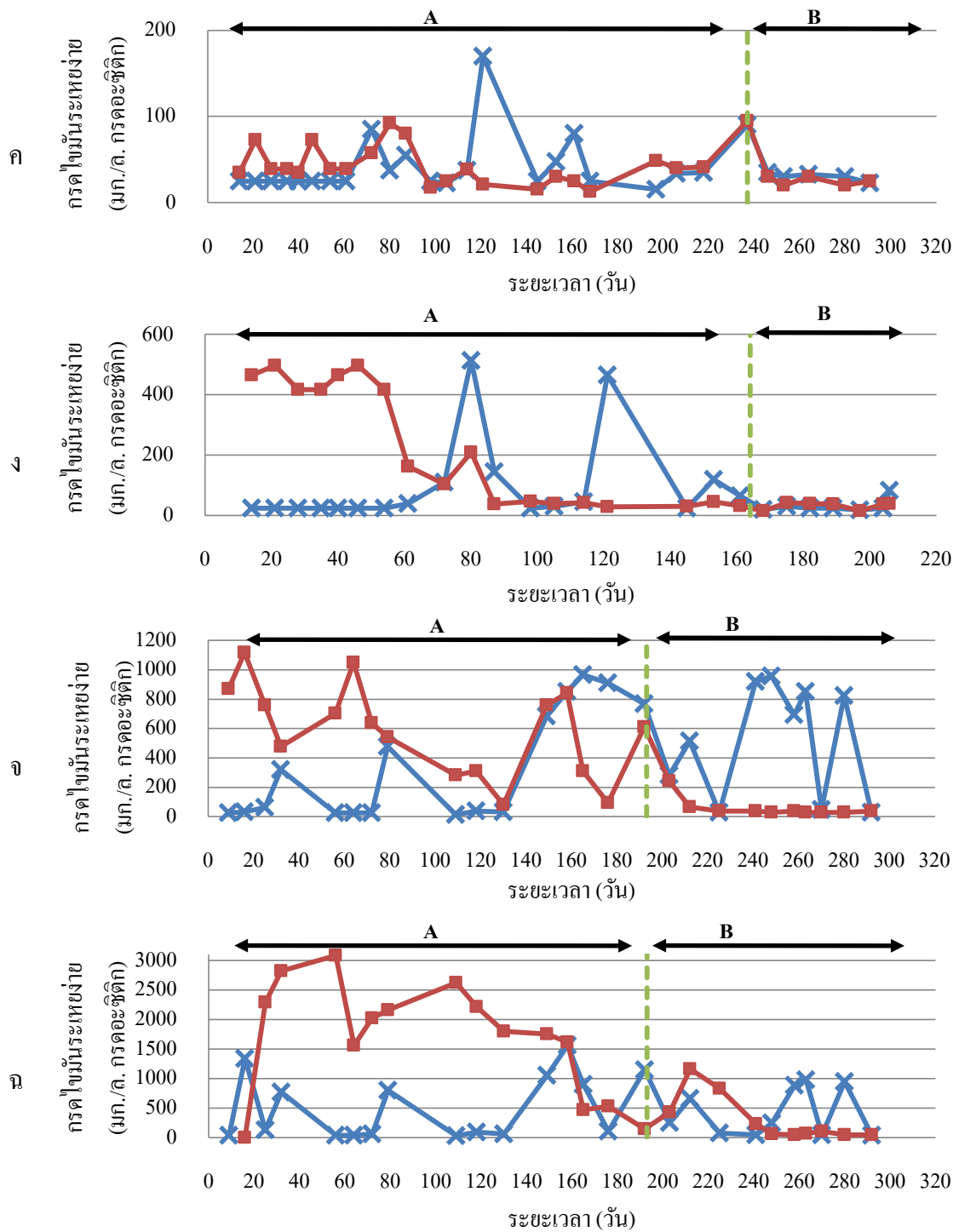


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์

ต่างๆ (—x— = กรดไขมันระเหยง่ายน้ำเข้า —■— = กรดไขมันระเหยง่ายน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่มิหั่วเชื้อ B หมายถึงหลังนำหั่วเชื้อออก

ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล.



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ค่าอัตราภาวะบรรทุกลดสารอินทรีย์

ต่างๆ (ต่อ) (—x— = กรดไขมันระเหยน้ำเข้า —■— = กรดไขมันระเหยน้ำออก)

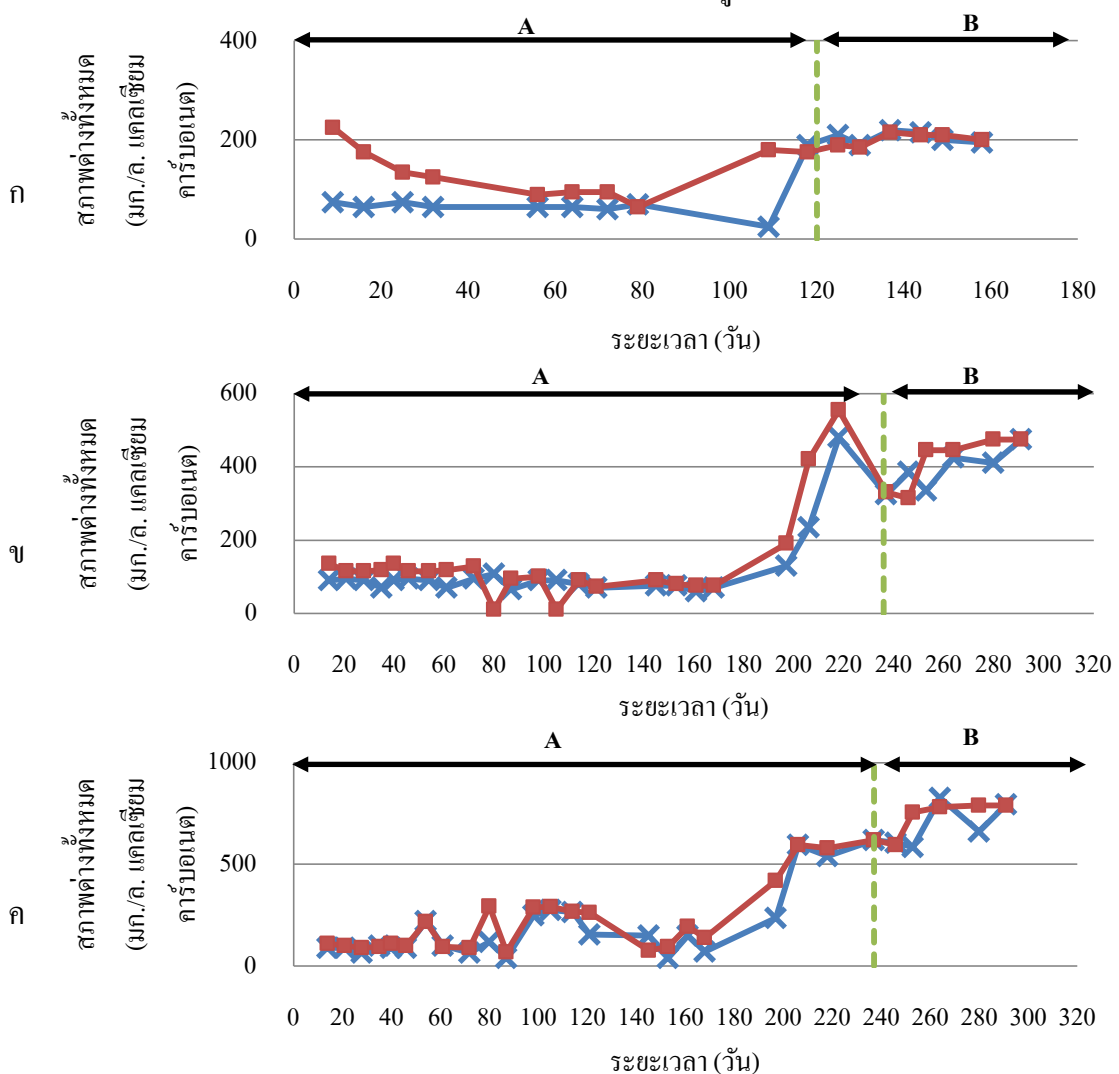
หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่มึ้นหัวเชื้อ B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก

ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล. ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.

ฉ : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

#### 4.1.5.2 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

จากภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.1 พบว่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดค่อยๆสูงขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ที่สภาพความเป็นด่างทั้งหมดสูงขึ้นอาจเนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ทั้งนี้เมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้นจะต้องเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตสูงขึ้นเพื่อให้ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์มากขึ้น เพื่อรองรับกรดไขมันระเหยง่ายที่สูงขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นเพื่อควบคุมให้ระบบอยู่ในสมดุลและรักษาค่าพีเอชของระบบไม่ให้ต่ำเกินไปจนทำให้แบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

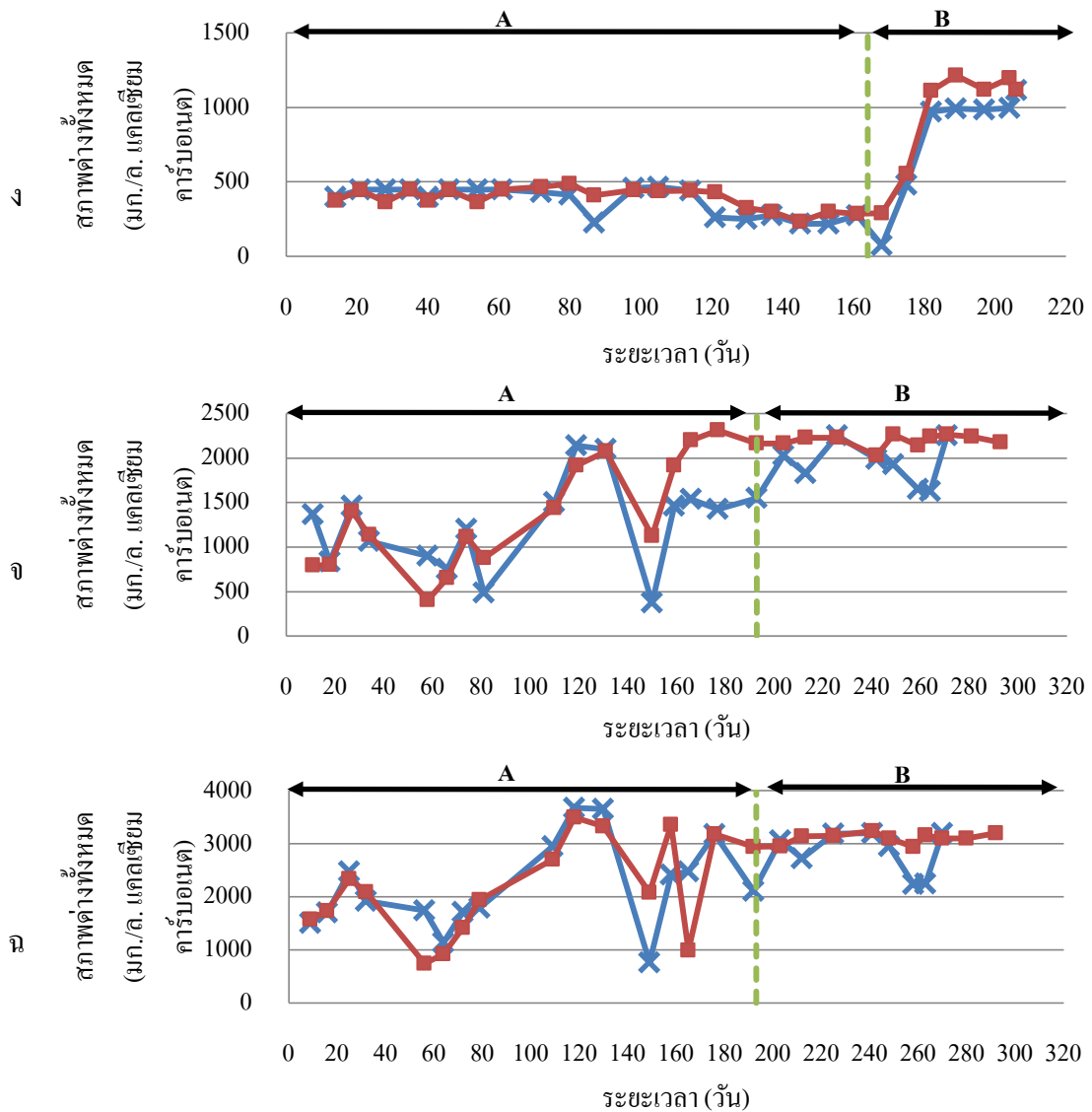


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่างทั้งหมดที่ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ต่างๆ ( —x— = สภาพด่างทั้งหมดน้ำเข้า —■— = สภาพด่างทั้งหมดน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่ มีหัวเชื้อ B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก

ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต่างทั้งหมดที่ค่าอัตรากระบวนการทุกสารอินทรีย์  
 ต่างๆ (ต่อ) (—x— = สภาพต่างทั้งหมดน้ำเข้า —■— = สภาพต่างทั้งหมดน้ำออก)  
 หมายถึง : A หมายถึงช่วงเวลาที่มิห้วเชื้อ B หมายถึงหลังนำห้วเชื้อออก  
 ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

#### 4.1.5.3 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างทั้งหมด

จากตารางที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมดของทุกอัตรา  
 ภาสสารอินทรีย์มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอในการควบคุมไม่ให้  
 ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนระบบล่มได้

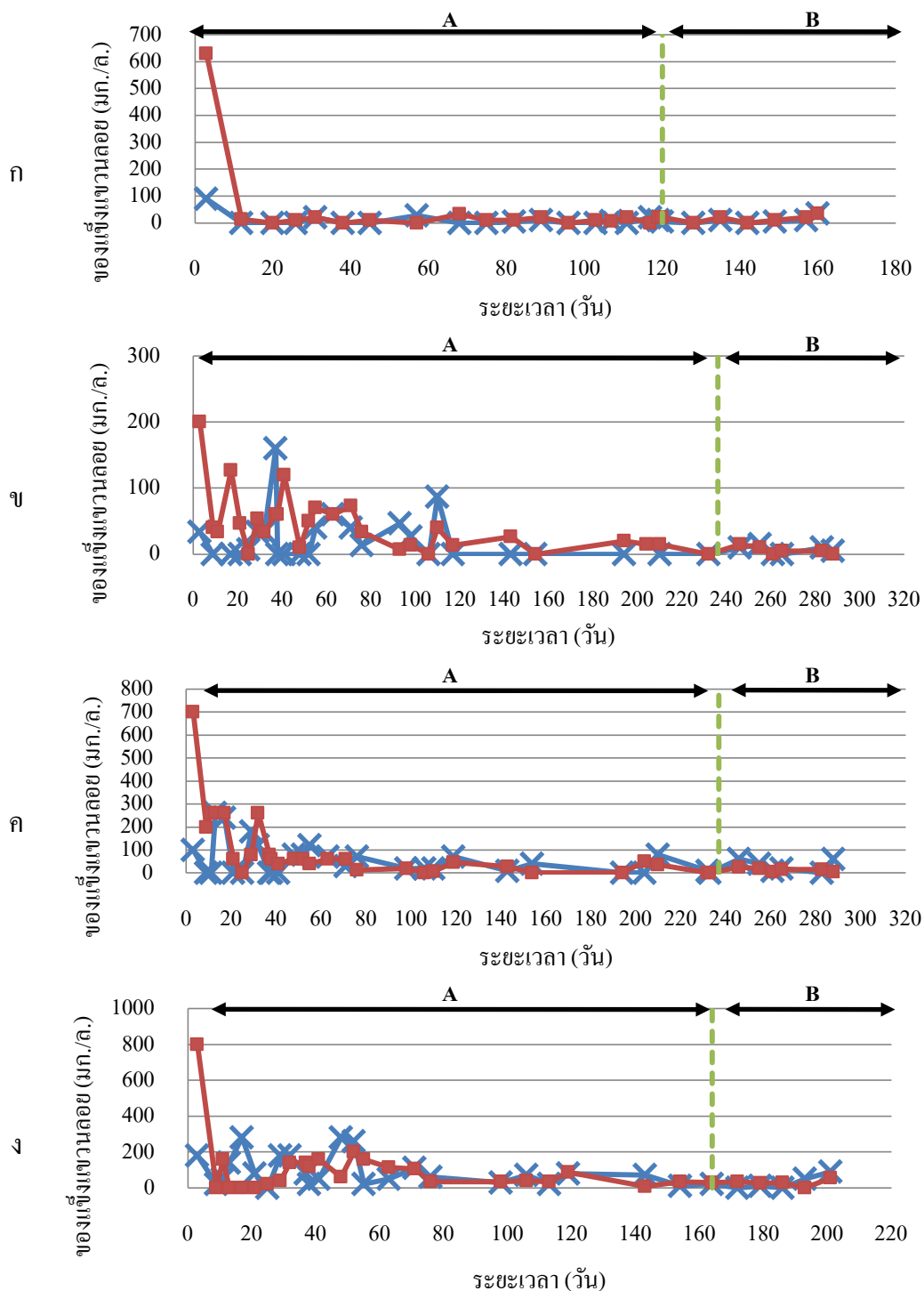


ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยครดไขมันระเหยง่าย สภาพความเป็นด่างทั้งหมดและอัตราส่วนครดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่

อัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ครดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)		สภาพความเป็นด่างทั้งหมด (มก./ล.)		อัตราส่วน ครดไขมัน ระเหยง่าย ต่อสภาพ ด่างทั้งหมด
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
0.1	18.7±6.4	12.2±0.5	205.0±11.8	201.6±12.1	0.06±0.003
0.2	20.0±5.4	15.7±1.1	436.6±34.0	465.0±17.3	0.03±0.004
0.5	30.0±4.6	25.0±5.0	716.25±113.1	778.7±16.5	0.03±0.005
1	23.9±4.0	31.2±12.7	985.0±10.8	1,160.0±52.7	0.02±0.009
2	543.7±428.7	32.8±5.0	1,919.4±309.4	2,198.6±76.6	0.01±0.002
5	338.8±430.9	52.2±7.3	2,777.7±486.5	3,125.0±84.7	0.01±0.002

#### 4.1.6 ของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)

จากภาพที่ 4.6 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยของถังกรองไร้อากาศเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ น้ำเข้าถังกรองไร้อากาศที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน มีค่าของแข็งแขวนลอย 5±4.4 5±6.3 31.7±25.6 59.2±55.8 122.5±43.6 และ 166.7±53.5 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำออกจากถังกรองไร้อากาศมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 11.7±9.8 7±5.8 14.2±8.0 45±34.3 43.1±18.6 และ 93.5±33.1 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในน้ำเข้ามีค่าของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการเติมน้ำเสีย เนื่องจากที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ปริมาณสารเคมีที่ใช้จึงเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดตะกอนสกปรกขึ้น สำหรับน้ำออกจากถังกรองไร้อากาศพบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอยไม่สูงมากนัก ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ในระบบถังกรองไร้อากาศบรรจุตัวกลางเต็มถึง ตัวกลางจึงช่วยกักไม่ให้เซลล์ออกจากระบบทำให้พบค่าของแข็งแขวนลอยที่ต่ำ



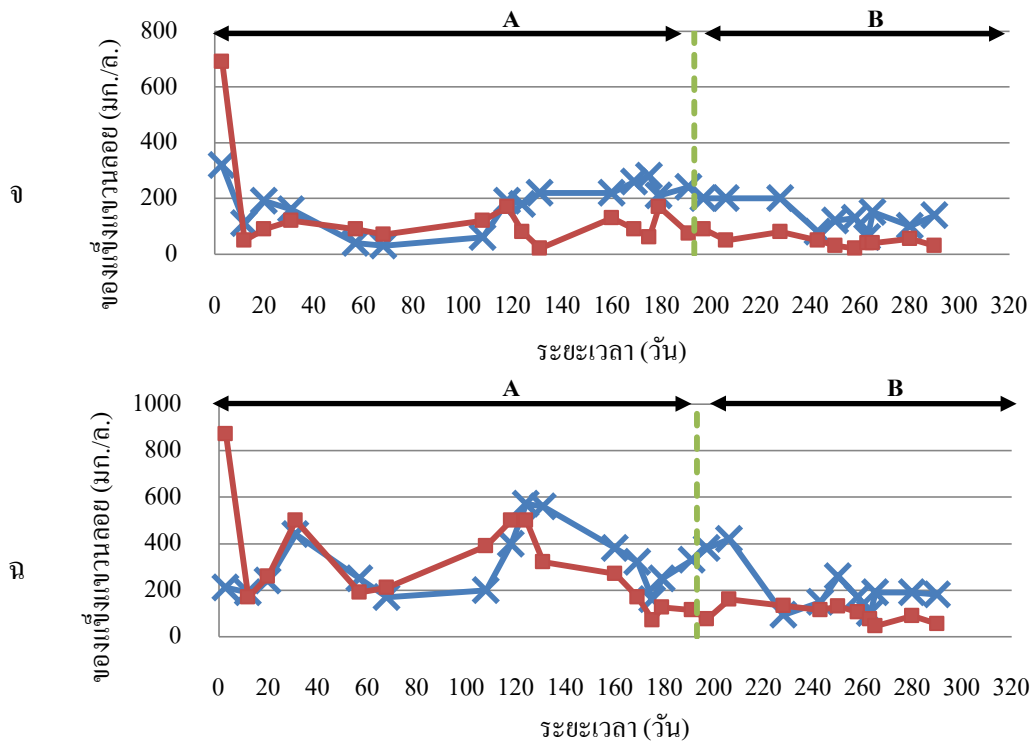
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแอมโมเนียที่ค่าอัตรากระบวนการทุกสารอินทรีย์

ต่างๆ ( —×— = ของแอมโมเนียเข้า —■— = ของแอมโมเนียออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่ให้มีเชื้อ B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก

ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.

ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยที่ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์  
 ต่างๆ (ต่อ) (—x— = ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า —■— = ของแข็งแขวนลอยน้ำออก)  
 หมายเหตุ : A หมายถึงช่วงเวลาที่ให้มีเชื้อ B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก  
 จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ฉ : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

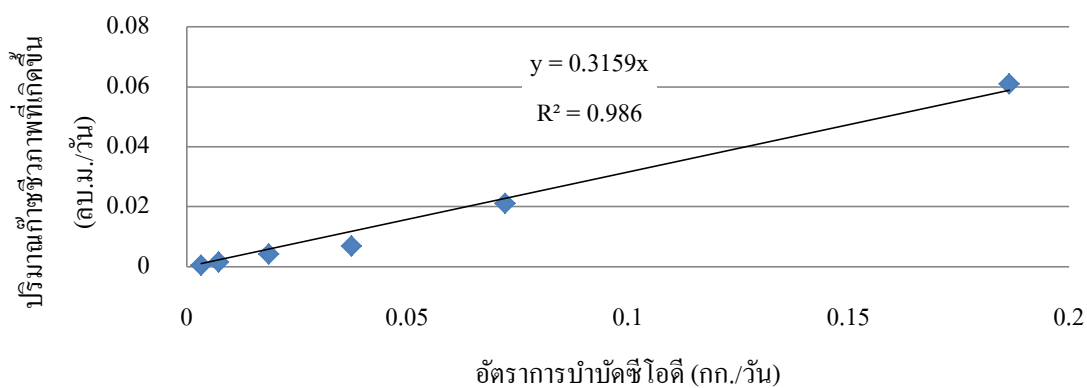
#### 4.1.7 ปริมาณก๊าซทั้งหมด (Total Gas Volume) และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH<sub>4</sub>)

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพภายใต้อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ซึ่งพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น เห็นได้จากอัตราการบำบัดซีไอดีสูงขึ้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะสูงตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่มีประสิทธิภาพดี พบว่าอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเท่ากับ 0.3159 ลบ.ม./กก.-ซีไอดีซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยที่ว่าระบบไม่ใช้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 0.3-0.5 ลบ.ม./กก.-ซีไอดี (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) แต่ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่าปริมาณทางทฤษฎีดังภาพที่ 4.8 ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังกรองไร้อากาศมีส่วนประกอบหลักคือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีปริมาณน้อยแตกต่างจากอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ

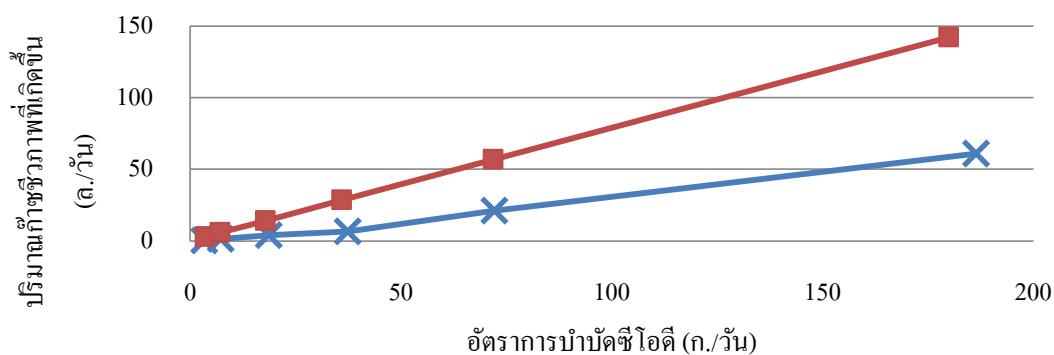
ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้ามีค่าน้อย ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าระบบมีปริมาณแบคทีเรียสร้างมีเทนเพียงพอต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ก๊าซที่สภาวะคงที่

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ เกิดขึ้นจริง (ล./วัน)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซ (%)	
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
0.1	0.2±0.1	6.27-9.51	90.49-93.73
0.2	1.4±0.2	40.53-47.12	52.88-59.47
0.5	4±0.7	39.69-52.19	47.81-60.31
1	6.8±1.0	43.38-49.13	50.87-56.62
2	21±2.8	32.13-52.38	47.62-67.87
5	60.9±9.3	56.19-70.98	29.02-43.81



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงอัตราการบำบัดชีโอดีต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

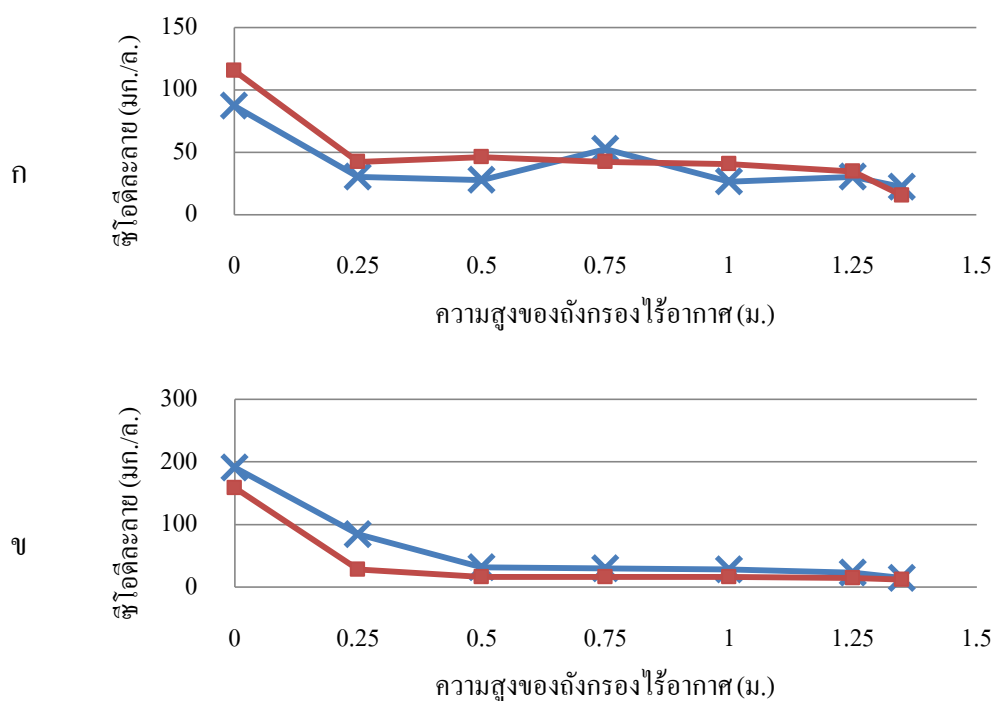


ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพทางทฤษฎีเทียบกับผลการทดลอง

(—X— = ค่าจากการทดลอง —■— = ค่าจากทฤษฎี)

#### 4.1.8 อัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศ

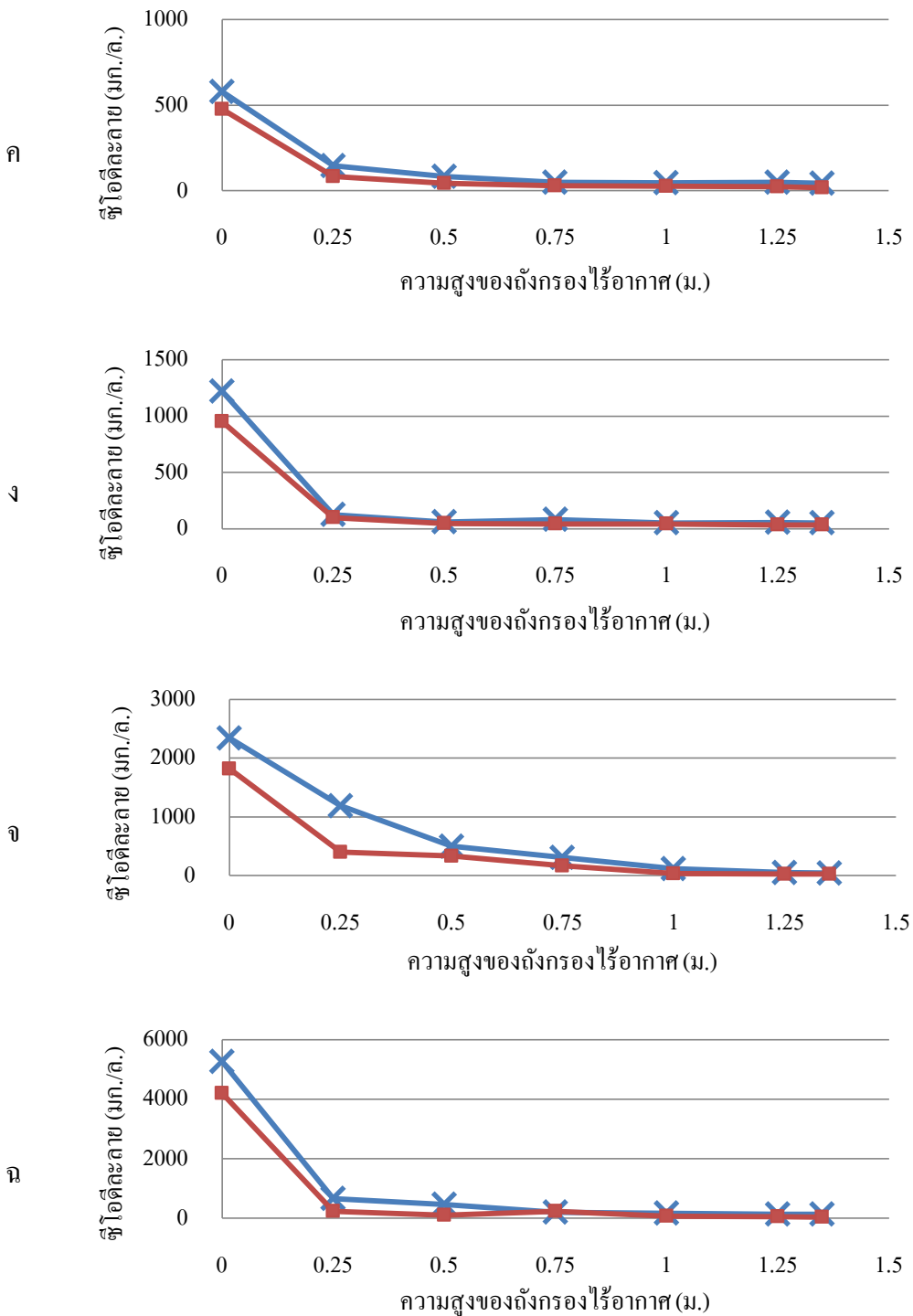
การศึกษาอัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ทั้งนี้เมื่อเดินระบบจนสู่สภาวะคงที่จึงทำการศึกษาความสูงของถังกรองไร้อากาศต่อประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่าที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าซีโอดีลดไปอย่างรวดเร็วที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 (ความสูง 0.25 ม.) และหลังความสูงที่ 0.5 ม.มีค่าคงที่ ทั้งนี้การที่สามารถบำบัดซีโอดีได้มากตั้งแต่ที่ความสูง 0.25 ม. อาจเกิดจากหัวเชื้อที่ใส่ไปตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบ งานวิจัยนี้จึงถ่ายตะกอนแขวนลอยออกจากระบบหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว เดินระบบจนระบบคงที่จากนั้นวัดอัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศอีกครั้ง พบว่ายังคงสามารถบำบัดได้ดีตั้งแต่ที่ความสูง 0.25 ม. แสดงให้เห็นว่าการมีหัวเชื้อในระบบไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมากนักดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศ

(—×— = ก่อนนำหัวเชื้อออก —■— = หลังนำหัวเชื้อออก)

หมายเหตุ : ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล.



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศ (ต่อ)

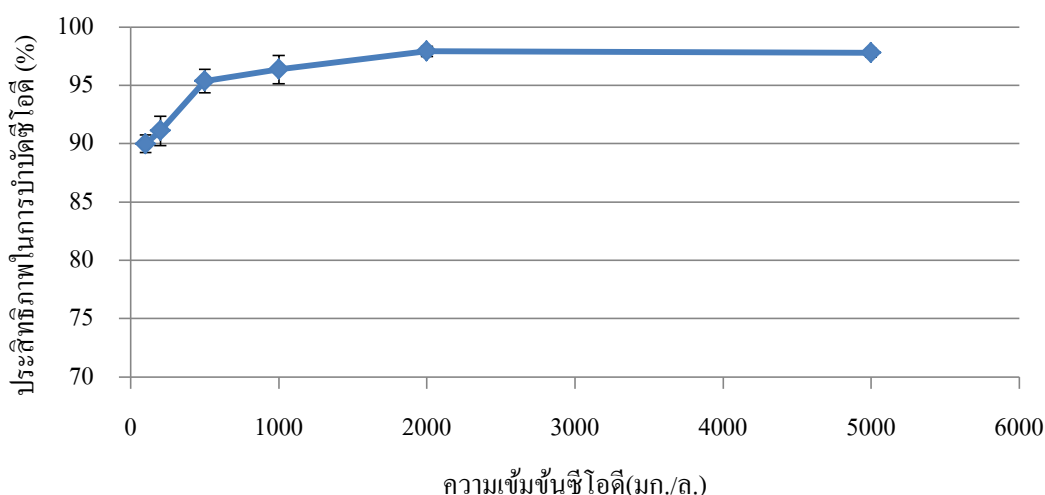
(× = ก่อนนำหัวเชื้อออก ■ = หลังนำหัวเชื้อออก)

หมายเหตุ : ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล. ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.

จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ฉ : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

## 4.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัดพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วันมี ประสิทธิภาพไม่ต่างกันมากนัก ดังแสดงในภาพที่ 4.10 เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษา ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำจึงเลือกที่ความเข้มข้น 100 และ 1,000 มก.-ซีโอดี/ล. (เทียบเป็นอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 และ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน) เพื่อเป็นตัวแทนของน้ำเสียชุมชนในการศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัดต่อไป



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่ออัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

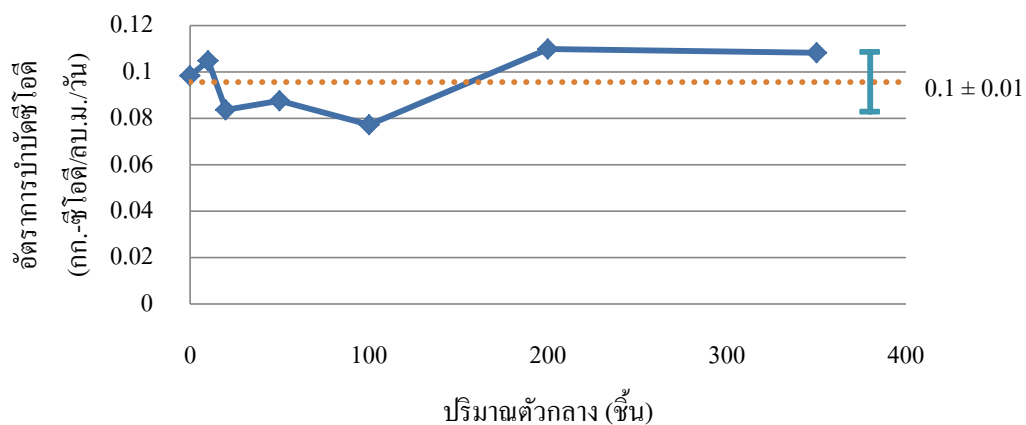
### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

#### 4.2.1.1 ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.

ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมด 355 วัน การศึกษานี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด การศึกษานี้จึงศึกษาหลังจากวันที่ 120 ที่นำหัวเชื้อออกจากระบบจนระบบคงที่จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนจำนวนตัวกลางเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัดแสดงผลดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 และภาพที่ 4.11 4.12 4.13 4.14 และ 4.15 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าทุกๆการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางจากเต็มถังกรองไร้อากาศจนกระทั่งไม่มีปริมาณตัวกลางนั้น ประสิทธิภาพของระบบยังคงเดิม ดังนั้นปริมาณตัวกลางจึงไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่

พื้นที่ผิว (ตร.ซม.)	ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)		ซีโอดีละลาย (มก./ล.)		ประสิทธิภาพใน การบำบัดซีโอดี (%)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
56,000	102.8±2	19.9±3	120.2±10.1	11.9±0.4	90±0.7
32,000	115.2±11.6	15±3.7	119.7±0.5	9.8±2.9	91.8±2.4
16,000	109.2±2.7	17.1±1	89.8±19.2	12.6±2.9	85.9±1.0
8,000	112.2±9.3	11.4±0.2	105.2±20.1	17.7±1.8	83±1.7
3,200	95.9±17.8	9.2±2.4	96.8±20.1	13.1±2.4	86.4±0.2
1,600	121.4±3.3	14±1.9	116.7±1.8	11.8±0.05	89.9±0.2
0	109.3±16.2	9.6±2	106.2±20.4	7.9±0.05	92.3±1.6

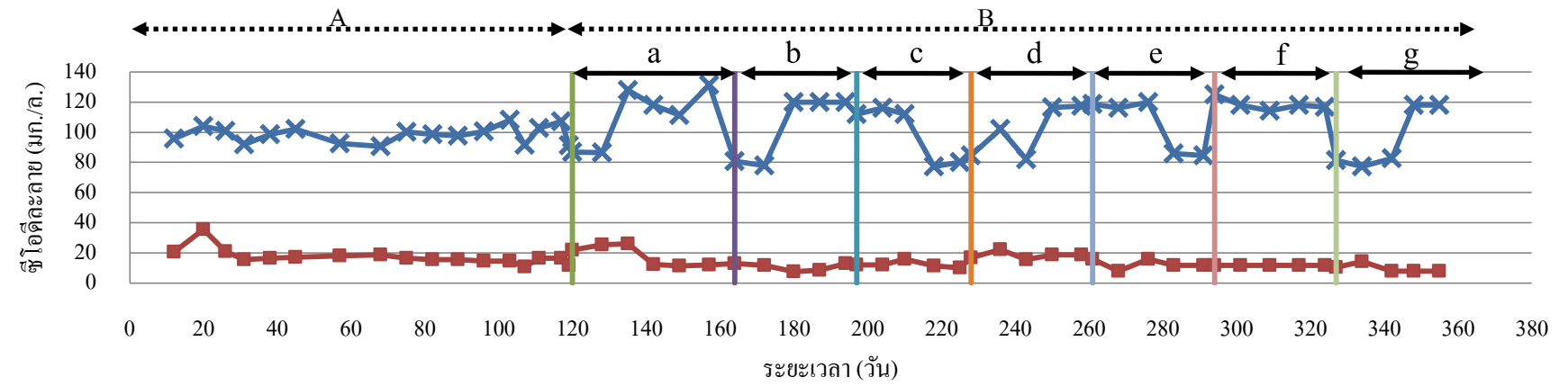
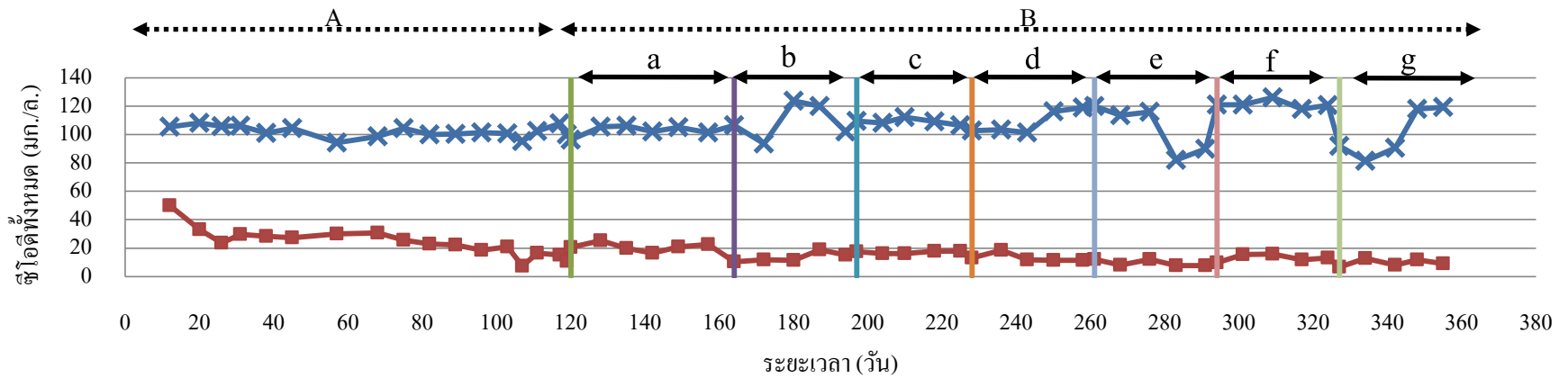


ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีต่อปริมาณตัวกลางที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล.



ตารางที่ 4.4 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่

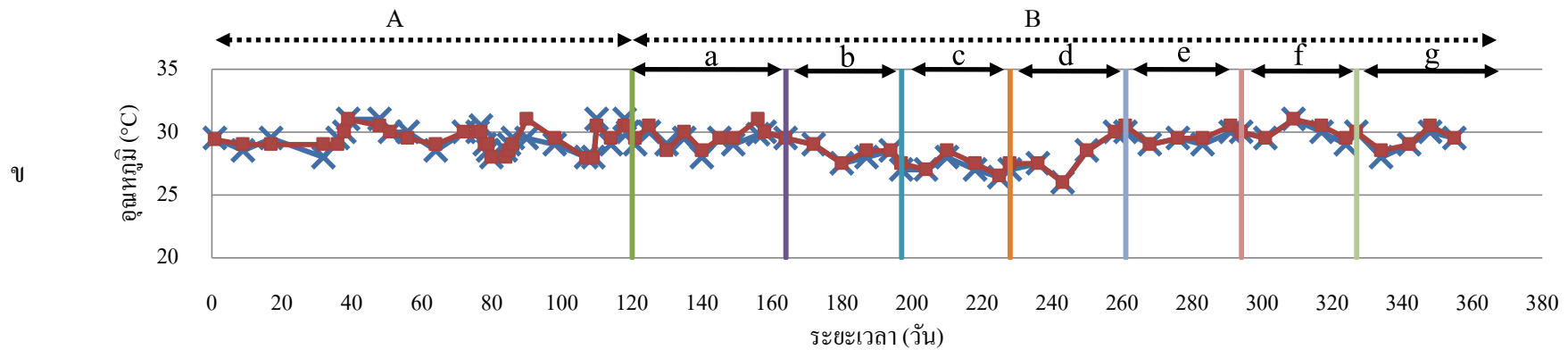
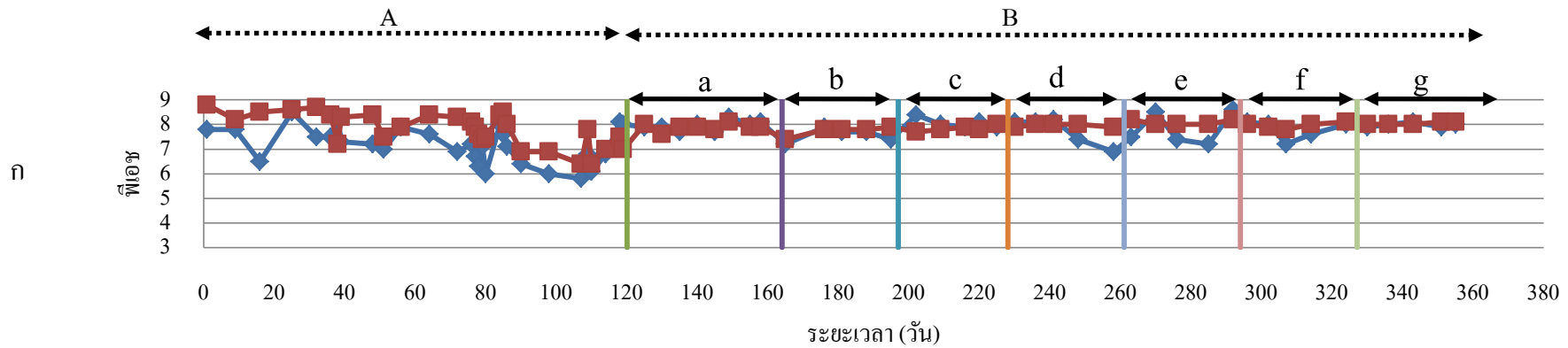
พื้นที่ผิว (ตร.ซม.)	พีเอช		อุณหภูมิ (°ซ.)		กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)		สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล.)		ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
56,000	8.1±0.1	8 ±0.1	29.6±0.5	30.2±0.7	15±7.5	12.3±0.2	203.3±10.4	206.7±5.7	5±5	10±10
32,000	7.6±0.1	7.8±0.1	28±0.5	28.2±0.5	10	11.7±1.4	238.3±31.7	281.7±28.8	2.5±18	6.7±11.5
16,000	8±0.1	7.9±0.1	27.1±0.8	27.5±1	15.8±8	12.5±2.5	308.3±2.8	318.3±7.6	1.7±2.8	6.7±11.5
8,000	7.5±0.7	8 ±0.1	28.2±2	28.2±2	15.8±3.8	12.5±2.5	301.7±10.4	336.7±2.8	15±13.2	11.6±10.4
3,200	7.7±0.7	8.1±0.1	29.5±0.5	29.8±0.5	9.2±1.4	10±2.5	291.7±17.6	315±5	11.7±5.7	13.3±11.5
1,600	7.6±0.4	7.9±0.1	29.9±0.8	30.1±0.7	10±2	7.5	295±19.1	312.5±5	11.3±16.5	5±7
0	8 ±0.1	8.1±0.1	29.5±0.5	29.7±0.7	11.7±1.4	7.5	308.3±2.8	311.7±2.8	1.7±2.8	16.7±7.6



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวดักกลางที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีโอดี/ล. (—x— = ซีโอดีน้ำเข้า —■— = ซีโอดีน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.

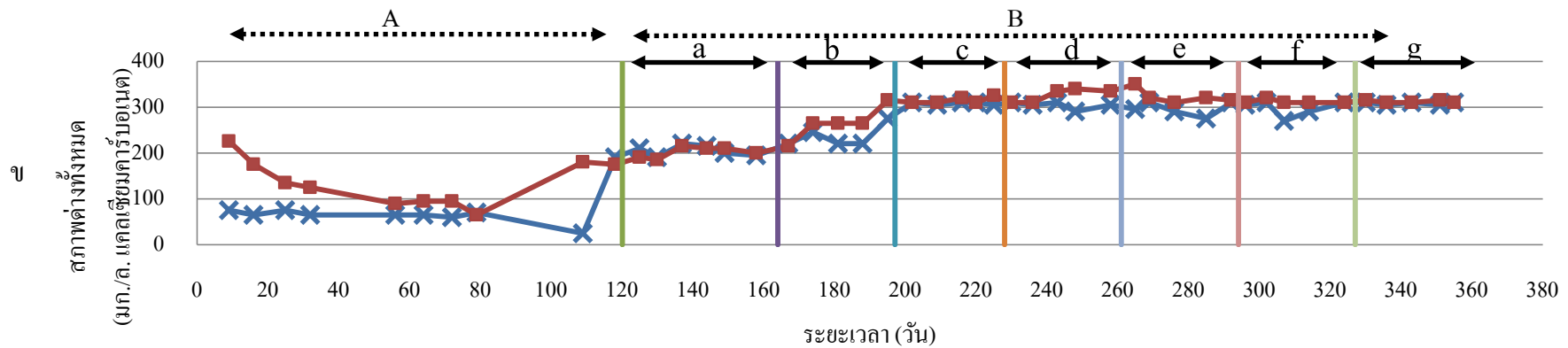
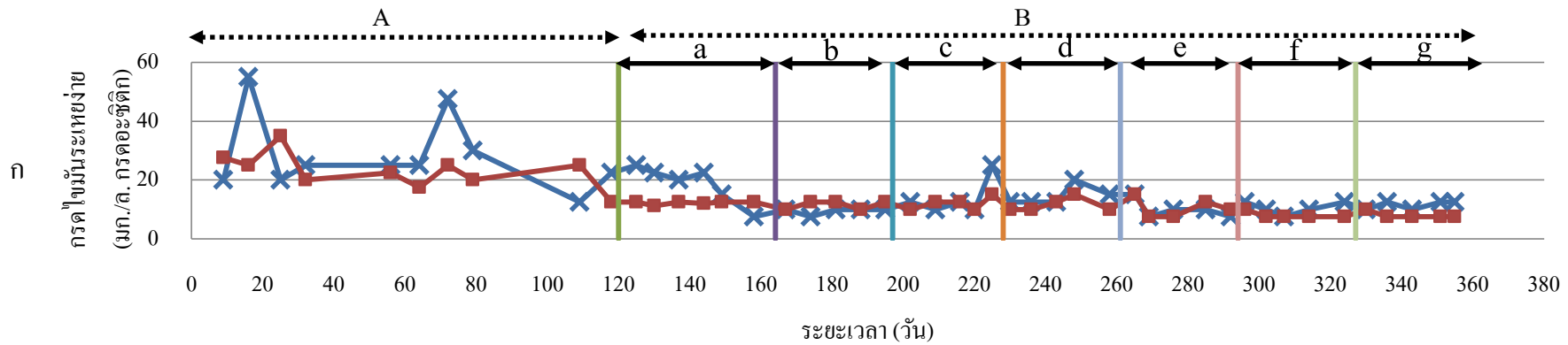


ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีไอดี/ล.

( $\times$  = น้ำเข้า  $\blacksquare$  = น้ำออก) ก แสดงค่า พีเอช ข แสดงค่า อุณหภูมิ

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.

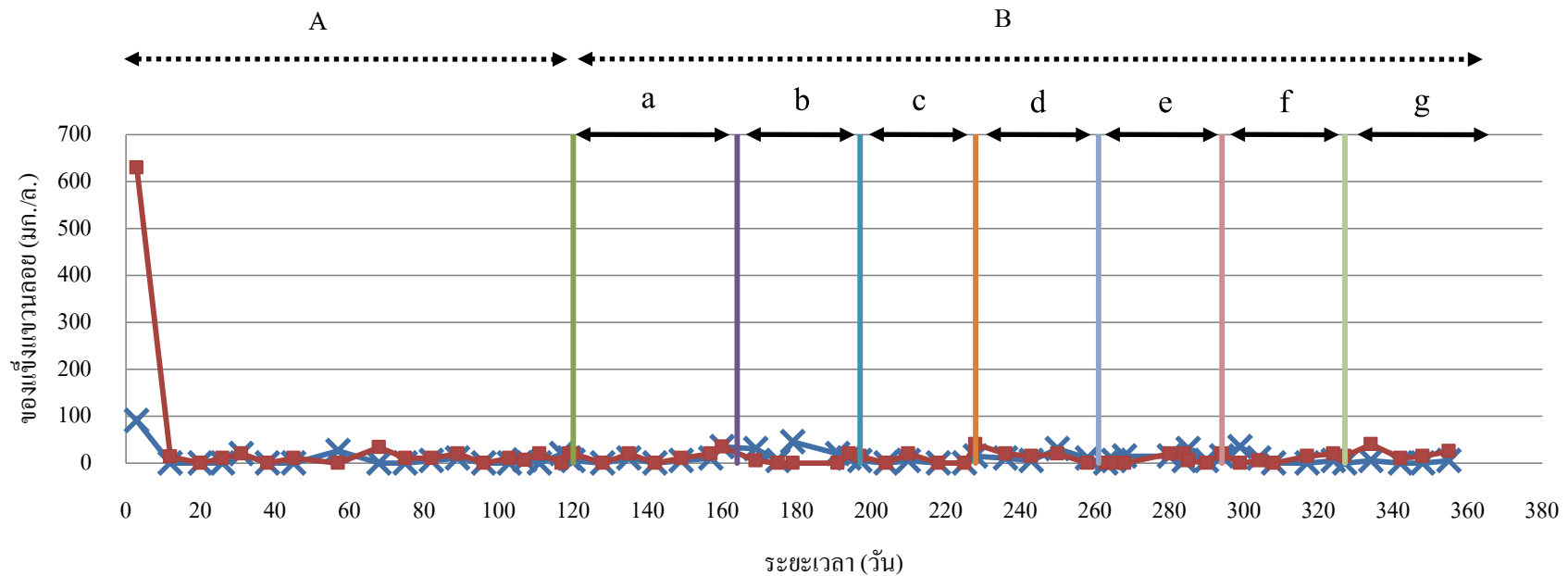


ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมดที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซี ไออดี/ล.

(—x— = น้ำเข้า —■— = น้ำออก) ก แสดงค่า กรดไขมันระเหยง่าย ข แสดงค่า สภาพต่างทั้งหมด

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีไอดี/ล.ในถังกรองไร้อากาศ

(—x— = ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า —■— = ของแข็งแขวนลอยน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

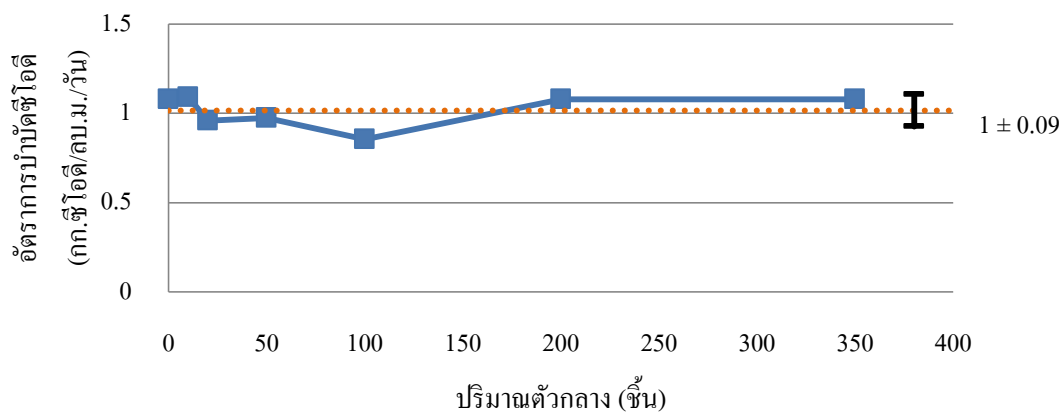
c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.

#### 4.2.1.2 ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล.

การศึกษานี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระบบทั้งหมด 399 วัน โดยทำการศึกษาหลังจากนำหัวเชื้อออกจากระบบในวันที่ 164 จากนั้นจึงเดินระบบจนระบบคงที่ และทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด ซึ่งผลแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 และภาพที่ 4.16 4.17 4.18 4.19 และ 4.20 พบว่าได้ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซึ่งช่วยยืนยันได้ว่าปริมาณตัวกลางไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่

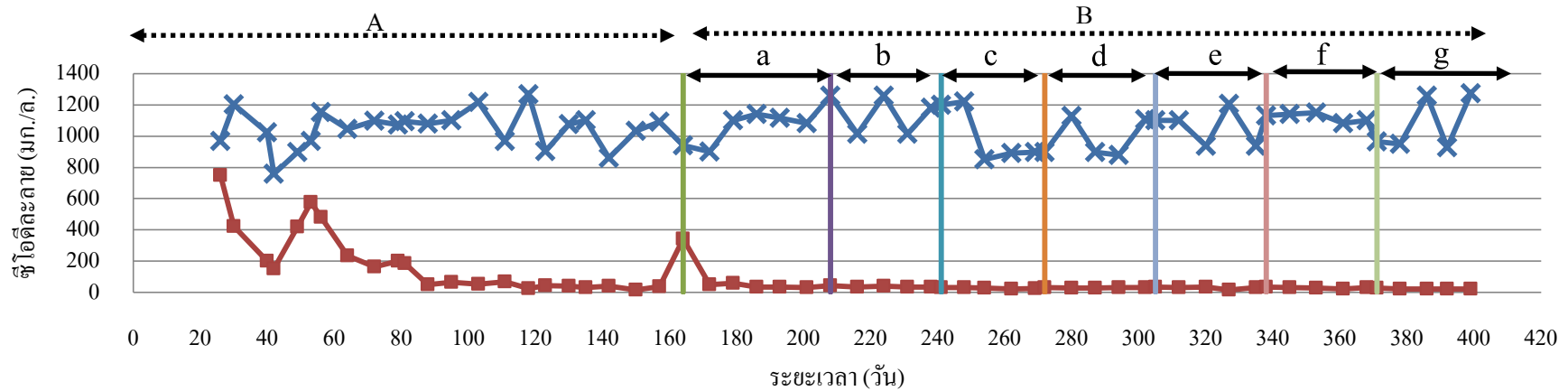
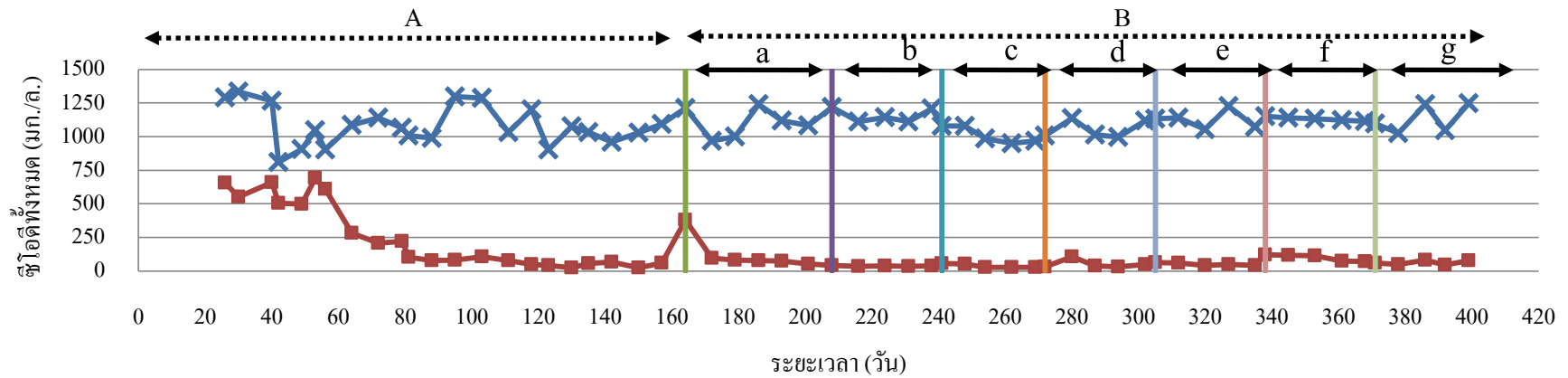
พื้นที่ผิว (ตร.ซม.)	ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)		ซีโอดีละลาย (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (%)
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
56,000	1,146.8±83.7	67.5±14.2	1,113.4±29.8	33.7±2.5	97±0.1
32,000	1,144.3±45.8	36.6±1.1	1,116.7±121.7	36.8±2.9	97±0.2
16,000	967.7±19.3	27.5±0.7	879.6±24.4	25.4±2	97.1±0.3
8,000	1,065.7±71	56±33.4	1,002.4±132.9	29.3±2.2	97±0.4
3,200	1,088.9±45.2	48.1±10.2	991.1±94.3	33.2±1.6	96.6±0.4
1,600	1,127.3±11.7	94.3±24.1	1,119.1±32.7	28.4±3.7	97.5±0.3
0	1,139.1±119.8	64.2±18.4	1,102.1±189	23.4±0.2	97.8±0.3



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีต่อปริมาณตัวกลางที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล.

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ณ สภาวะคงที่

พื้นที่ผิว (ตร.ชม.)	พีเอช		อุณหภูมิ (°ซ.)		กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)		สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.)		ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
56,000	7.6±0.3	7.6±0.1	29±0.9	29.1±1.1	22.9±3.6	30±12.9	990±0.5	1,176.7±50.1	46.7±45	28.3±27.5
32,000	6.5±1.1	6.8±0.4	28.8±0.5	29.1±0.8	51.7±2.8	48.3±2.8	971.7±15.3	1,128.3±22.5	45±20.8	6.3±9.4
16,000	7.7±0.8	8.1±0.1	29.5±0.5	29.8±0.5	46.7±5.7	52.5±4.3	1,129.2±140.1	1,335±37.7	18.3±20.2	30±13.2
8,000	7.6±0.3	8.2±0.1	29.9±0.2	30.1±0.6	57.5±11.9	44.4±3.7	1,188.8±191.2	1,341.9±33.7	60±27	25±13.5
3,200	8.2±0.2	8.6±0.1	29.5±0.5	29.8±0.5	19.2±6.2	25	1,383.3±7.2	1,387.5±12.5	70±45.8	3.3±2.8
1,600	7.5±0.7	8.6±0.1	28.6±0.7	28.9±0.4	19.4±0.7	18.75	1,096.9±205.7	1,384.4±27.7	67.5±41.9	32.5±30.1
0	8.3±0.4	8.5±0.1	29.6±0.2	30±0.4	19.1±0.6	18.75	1,242.5±189.2	1,384.4±21.3	40±30	55±15

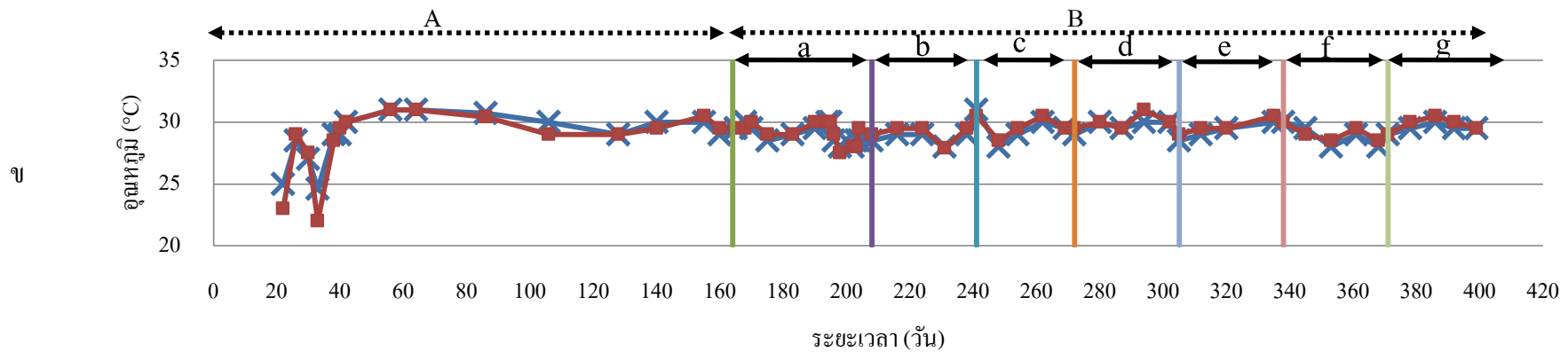
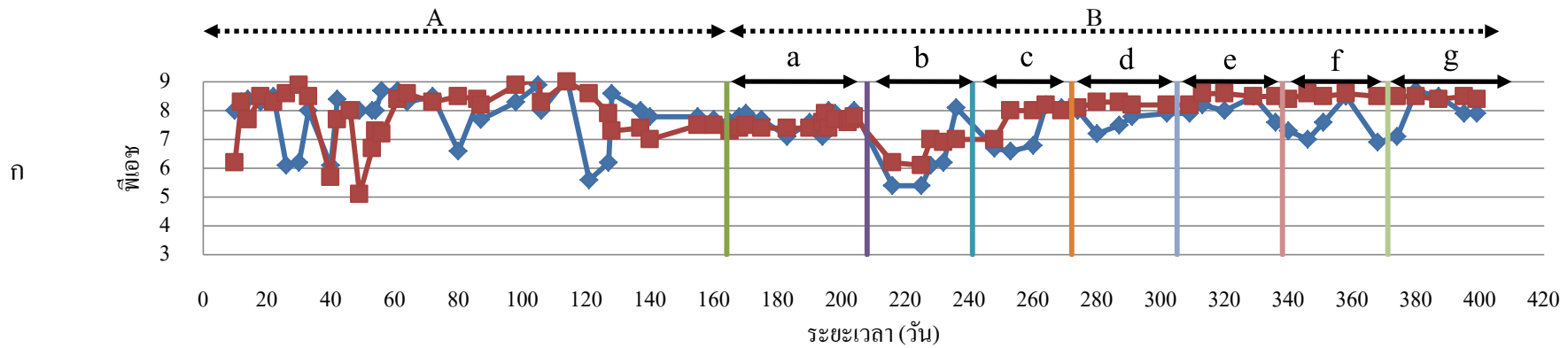


ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงการบำบัดซีไอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่มีความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีไอดี/ล. (—x— = ซีไอดีน้ำเข้า —■— = ซีไอดีน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.



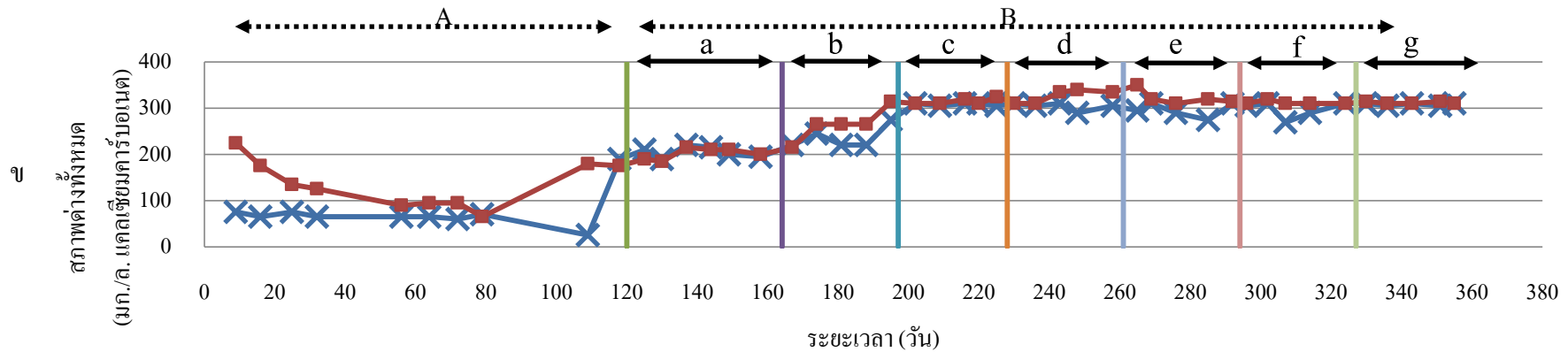
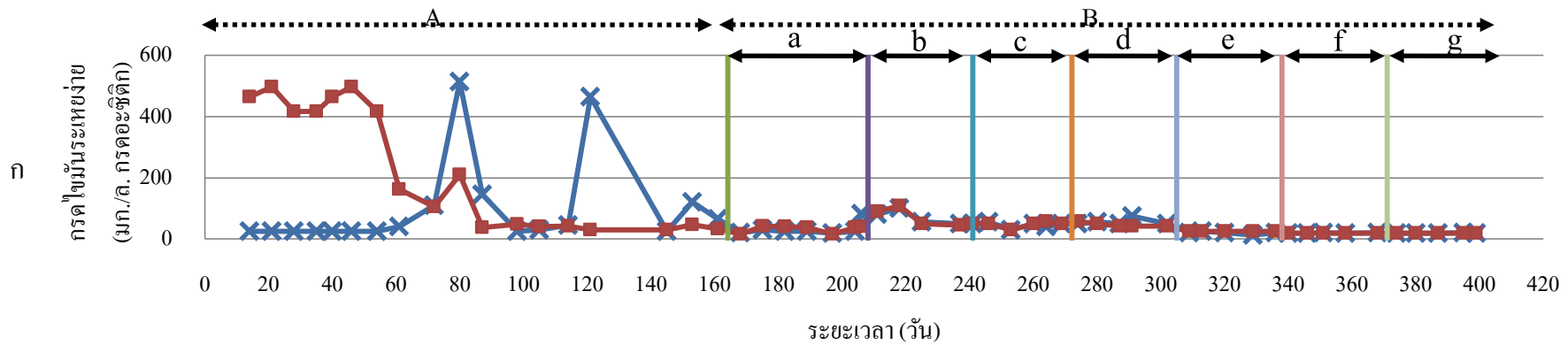


ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล.

( $\times$  = น้ำเข้า  $\blacksquare$  = น้ำออก) ก แสดงค่า พีเอช ข แสดงค่า อุณหภูมิ

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.

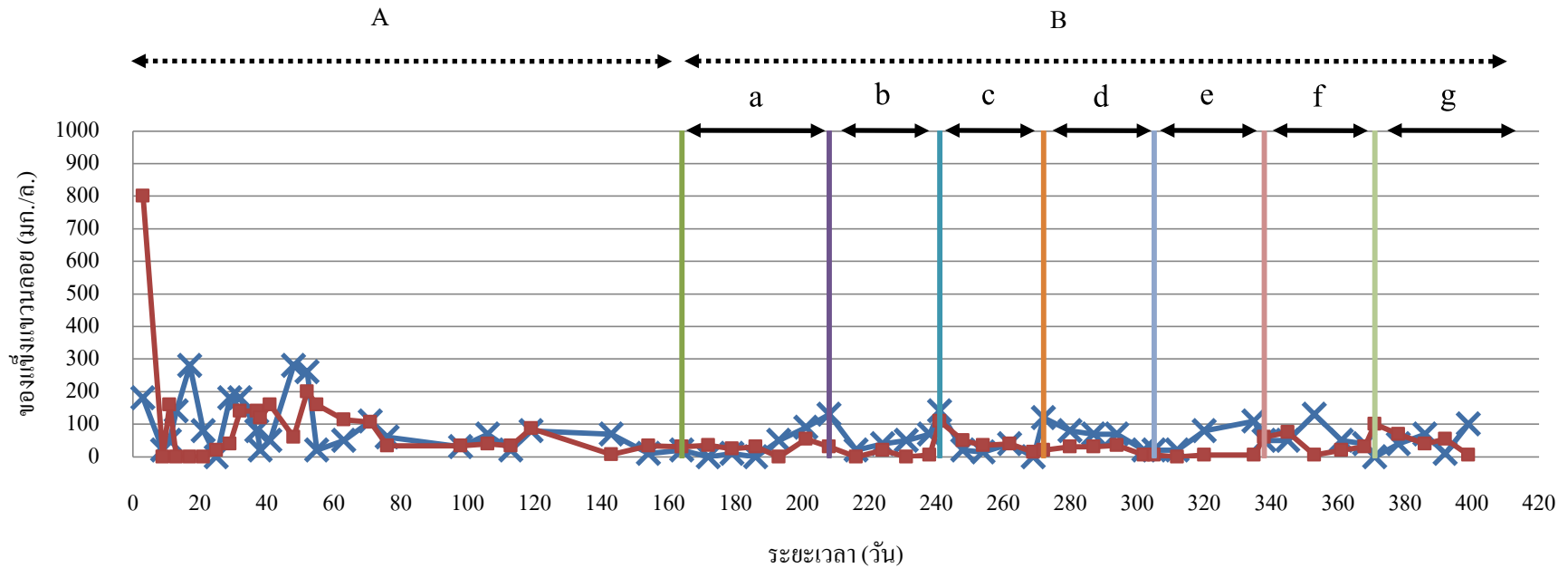


ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมดที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีไอดี/ล.

(—x— = น้ำเข้า —■— = น้ำออก) ก แสดงค่า กรดไขมันระเหยง่าย ข แสดงค่า สภาพต่างทั้งหมด

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,600 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอย ที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีไอดี/ล. ในถังกรองไร้อากาศ

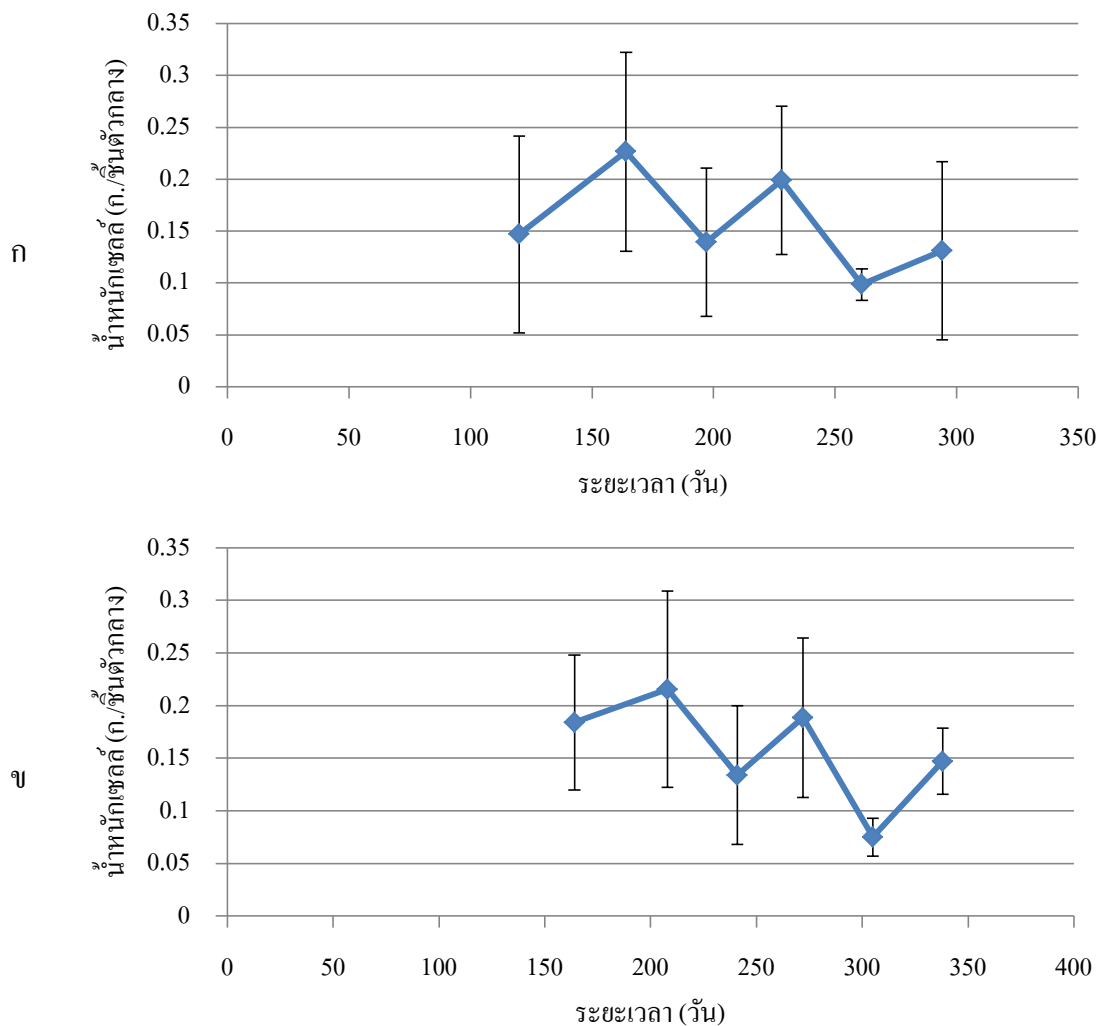
(—x— = ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้า —■— = ของแข็งแขวนลอยน้ำออก)

หมายเหตุ : A หมายถึงก่อนนำหัวเชื้อออก B หมายถึงหลังนำหัวเชื้อออก a หมายถึงพท.ผิว 56,000 ตร.ซม. b หมายถึงพท.ผิว 32,000 ตร.ซม.

c หมายถึงพท.ผิว 16,000 ตร.ซม. d หมายถึงพท.ผิว 8,000 ตร.ซม. e หมายถึงพท. 3,200 ตร.ซม. f หมายถึงพท.ผิว 1,6 00 ตร.ซม. g หมายถึงพท.ผิว 0 ตร.ซม.

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักรีดตัวกลางที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างๆ

จากการศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด ขณะทำการหีบตัวกลางพลาสติก ออกได้ลุ่มตัวอย่างของตัวกลางพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเซลลื้อต่อขึ้นตัวกลางพบว่าค่า น้ำหนักเซลลื้อในแต่ละพื้นที่ผิวตัวกลางต่างๆมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของเซลลื้อที่เกาะติด บนพื้นที่ผิวตัวกลางที่ความเข้มข้นซีไอดี 100 และ 1,000 มก./ล. มีค่า  $0.157 \pm 0.117$  และ  $0.157 \pm 0.149$  ก.ต่อขึ้นตัวกลาง ตามลำดับแสดงให้เห็นดังภาพที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่ายิ่งระยะเวลาในการ เติบระบบมากขึ้นไม่ช่วยทำให้เกิดเซลลื้อเกาะที่ตัวกลางมากขึ้นและที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไม่ทำให้เกิด เซลลื้อมากขึ้น



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงน้ำหนักรีดต่อระยะเวลาในถังกรองไร้อากาศ  
ก แสดงค่า ที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซี ไอดี/ล. ข แสดงค่า ที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซี ไอดี/ล.

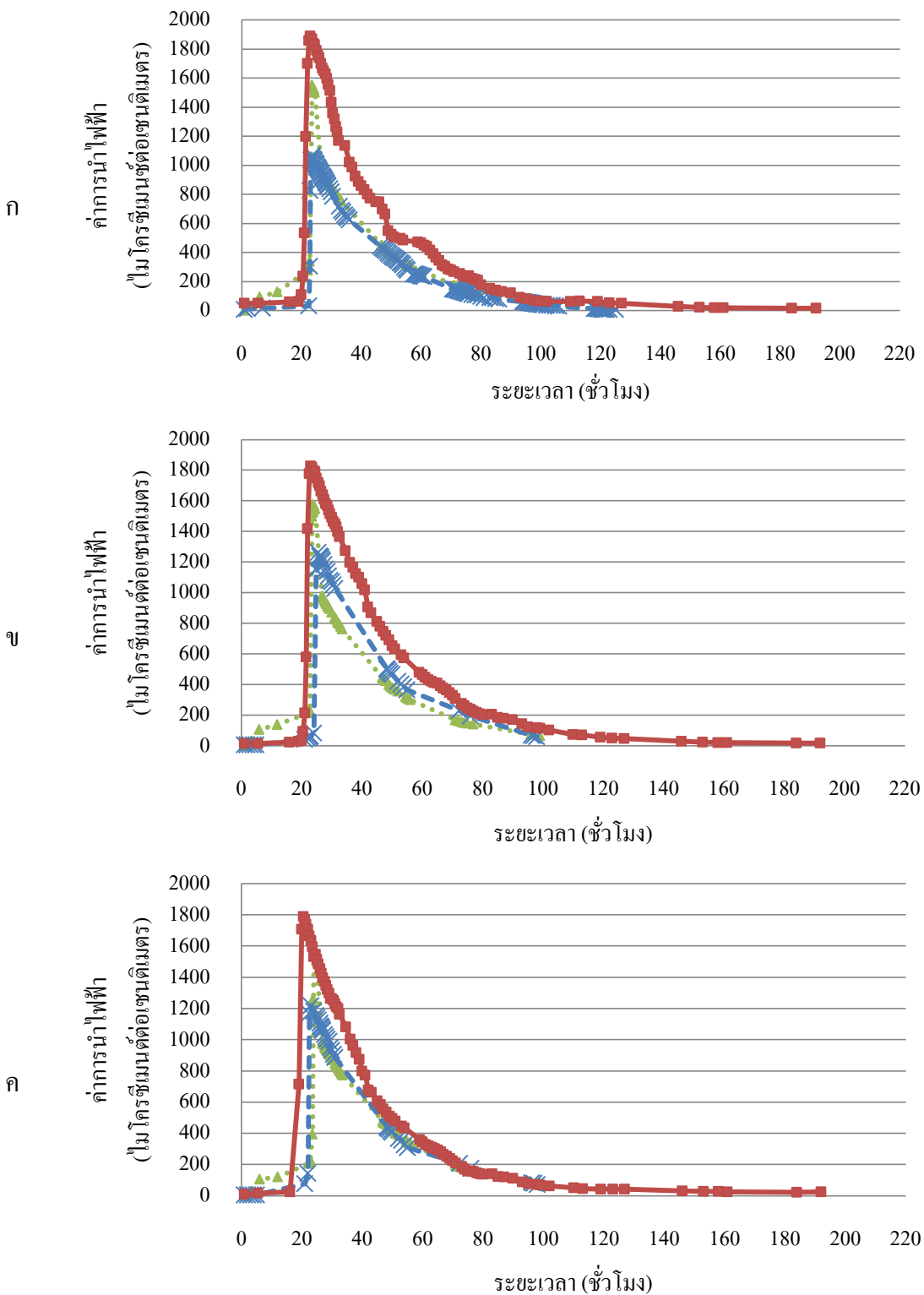
### 4.3 การทดสอบการอุดตันของระบบ

การทดสอบการอุดตันของระบบด้วยการเติมน้ำเกลือ ปริมาณความเข้มข้นน้ำเกลือที่เหมาะสมคือ 1,000 มก./ล. จึงทดลองใส่เกลือจำนวน 36 ก. ละลายน้ำแล้วทรงบริเวณทางน้ำเข้า จากนั้นเดินระบบด้วยน้ำประปาที่เติมอากาศเพื่อไล่คลอรีนแล้ววัดความเข้มข้นน้ำเกลือบริเวณทางน้ำออก

จากการทดลองพบว่าปริมาณของถังปฏิกรณ์ที่ว่างเปล่ามีปริมาตรเท่ากับ 42 ล. จึงทำการปรับปั๊มให้มีเวลากักพักชลศาสตร์ 24 ชม. จากนั้นจึงทำการทดลองการทดสอบการอุดตันกับถังปฏิกรณ์ที่ว่างเปล่าพบว่าถังสำหรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จุดที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดจะมีเวลาประมาณเวลากักพักชลศาสตร์ ซึ่งมีค่า 23.5 23.75 24 24.5 23.5 และ 27 ชม.ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.22 ดังนั้นถ้าระบบไม่มีการอุดตันระยะเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดควรประมาณเท่ากับระยะเวลากักพักชลศาสตร์

ขณะที่เริ่มต้นเดินระบบเมื่อใส่ตัวกลางจนเต็มถังปฏิกรณ์ พบว่าปริมาณน้ำในถังปฏิกรณ์มีปริมาตรลดลงเท่ากับ 36 ล. จึงทำการปรับปั๊มใหม่ให้มีเวลากักพักชลศาสตร์ 24 ชม. จากนั้นจึงทำการทดลองการทดสอบการอุดตันกับถังปฏิกรณ์ขณะเริ่มต้นเดินระบบพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วันมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดเป็นเวลาเท่ากับ 23.75 25.5 23 23.75 22.75 และ 25 ชม.ตามลำดับ และทดสอบอีกครั้งเมื่อระบบคงที่พบว่ามีการนำไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 23 23 20.5 20 21.5 และ 20.5 ชม.ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ดังนั้นแสดงว่าเกิดการอุดตันในระบบเนื่องจากเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดเมื่อระบบคงที่ลดลงเมื่อเทียบกับเริ่มต้นเดินระบบซึ่งพบว่าเวลาลดลงเท่ากับ 0.75 2.5 2.5 3.75 1.25 และ 4.5 ชม. ตามลำดับคิดเป็น 3.8 9.8 10.9 15.8 5.5 และ 18 % ตามลำดับของระยะเวลากักพักชลศาสตร์เดิม แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นซีโอดีสูงขึ้นทำให้เวลากักพักชลศาสตร์ในระบบลดลง

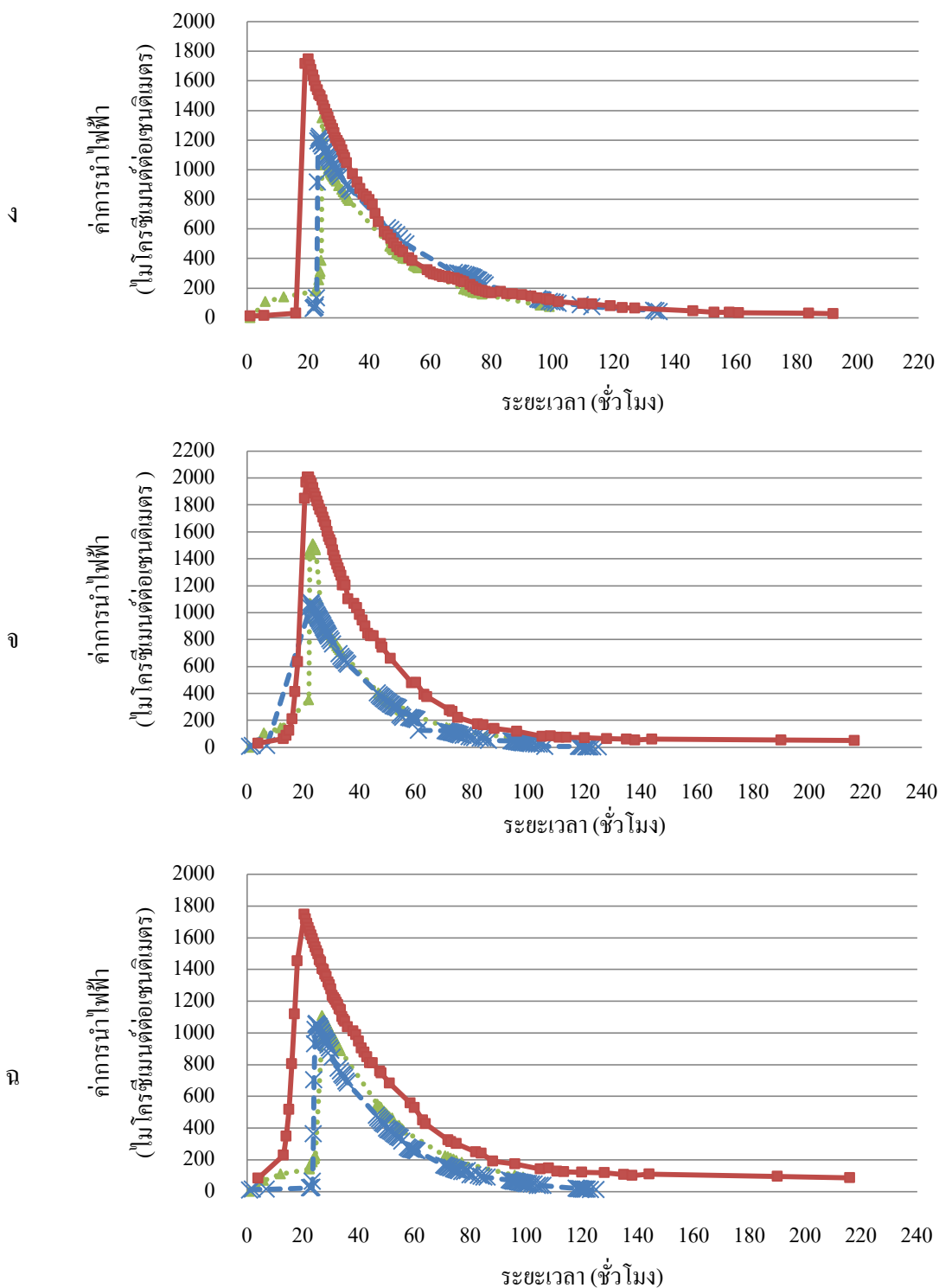
ลักษณะการกระจายตัวของน้ำเกลือ พบว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือจะขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ซึ่งมีลักษณะคล้ายถังแบบไหลตามกัน แต่ความเข้มข้นค่อยๆลดลงคล้ายกับถังแบบกวนสมบูรณ์เช่นเดียวกับงานวิจัยของภัทร วิวัฒน์สร (2555) แสดงให้เห็นว่าการไหลในถังปฏิกริยาอาจอยู่ในสภาวะระหว่างทั้งสองแบบ ทั้งนี้ควรมีการศึกษาต่อในภายหลัง ทั้งนี้หากเป็นลักษณะแบบไหลตามกัน ความเข้มข้นน้ำเกลือจะขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำนั้นๆ



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้ากับระยะเวลา

( ●●●●● = ถังปฏิกรณ์ว่างเปล่า    -x- = เริ่มเดินระบบ    -■- = ระบบคงที่)

หมายเหตุ : ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล.    ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล.    ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.



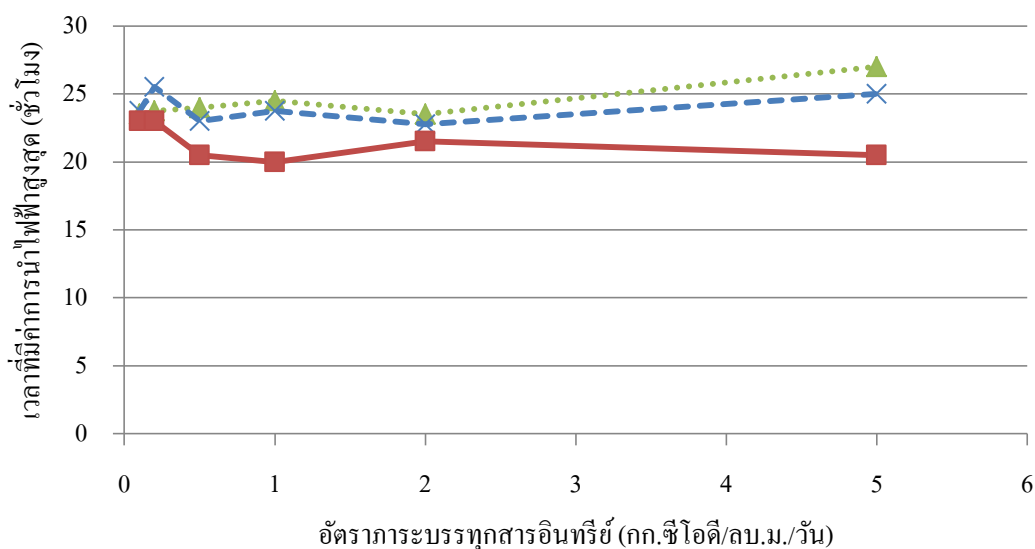
ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้ากับระยะเวลา (ต่อ)

( ●●●●● = ถังปฏิกรณ์ว่างเปล่า    -x- = เริ่มต้นเดินระบบ    -■- = ระบบคงที่)

หมายเหตุ : ก : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.    ข : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.

ค : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.

ทั้งนี้การทดสอบการอุดตันเมื่อศึกษาเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ณ ขณะถึงปฏิบัติการว่างเปล่า ขณะที่เริ่มต้นเดินระบบ และเมื่อระบบคงที่จะพบว่าเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงเวลาพักกักกษลศาสตร์นั้นจะมีค่าลดลงเมื่อระบบคงที่ดังแสดงในภาพที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าระบบมีการอุดตันเกิดขึ้น



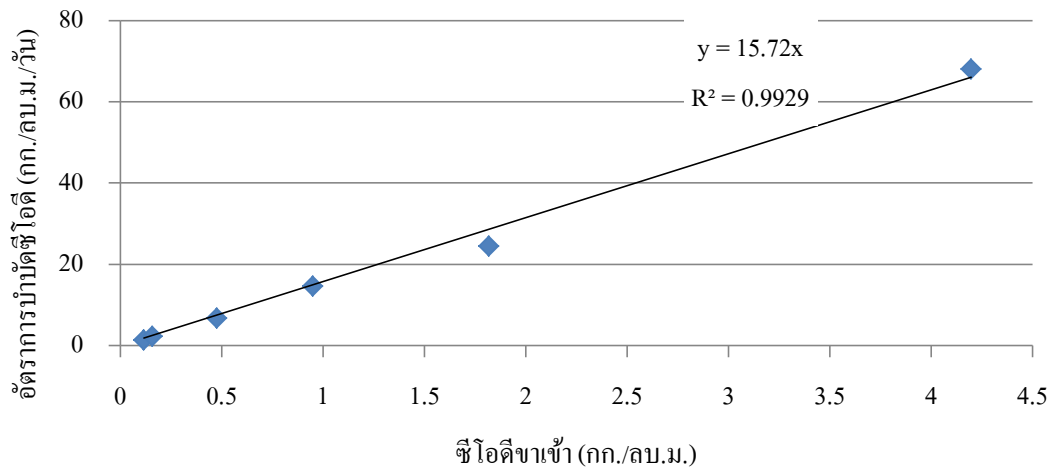
ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงเวลาที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

(● = ถึงปฏิบัติการว่างเปล่า × = เริ่มต้นเดินระบบ ■ = ระบบคงที่)

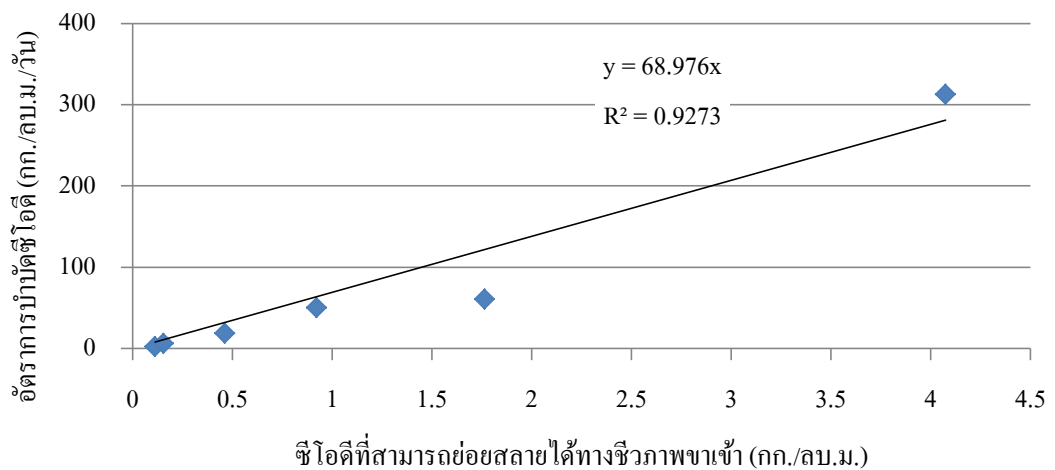
#### 4.4 การหาค่าจลนพลศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์อัตราการบำบัดชีโอดีตามความสูงของถังกรองไร้อากาศหลังนำหัวเชื้อออกที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน สามารถคำนวณเวลาได้จากความสูงของถังกรองไร้อากาศ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของอัตราการบำบัดชีโอดีเทียบกับความเข้มข้นของชีโอดีที่ย่อยสลายได้ในน้ำเข้า ซึ่งพบว่าอัตราการบำบัดชีโอดีสูงตามค่าชีโอดีที่เข้าสู่ระบบดังแสดงในภาพที่ 4.24 ทั้งนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเส้นตรง และหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง ( $k_1$ ) ได้จากความชันของกราฟซึ่งมีค่า 68.98 ต่อวัน ดังแสดงในภาพที่ 4.25





ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงอัตราการบำบัดชีโอดีต่อปริมาณชีโอดีขาเข้าเทียบกับปริมาตรน้ำ

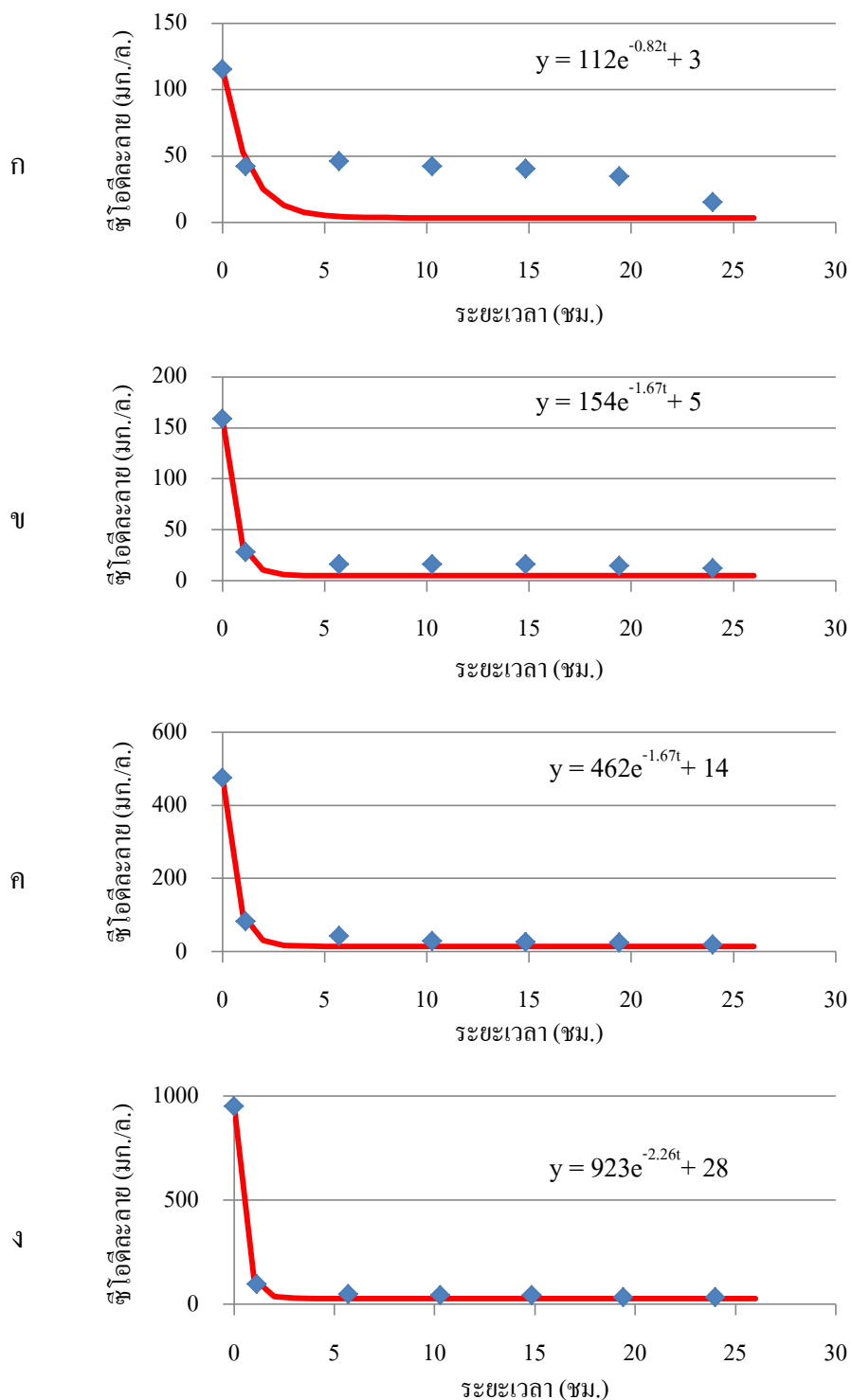


ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงอัตราการบำบัดชีโอดีต่อปริมาณชีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพขาเข้า

สามารถหาค่าชีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (bCOD) และค่าชีโอดีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (nbCOD) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ได้โดยการปรับแก้ข้อมูลด้วยฟังก์ชันการแก้สมการหาตัวแปรของโปรแกรม Microsoft Excel จากสมการปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (1<sup>st</sup>-order)

$$COD = bCOD \cdot e^{-kt} + nbCOD$$

ดังแสดงในภาพที่ 4.26 ทั้งนี้แสดงว่าน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลมีค่าชีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพถึง 97 % ดังแสดงในภาพที่ 4.27

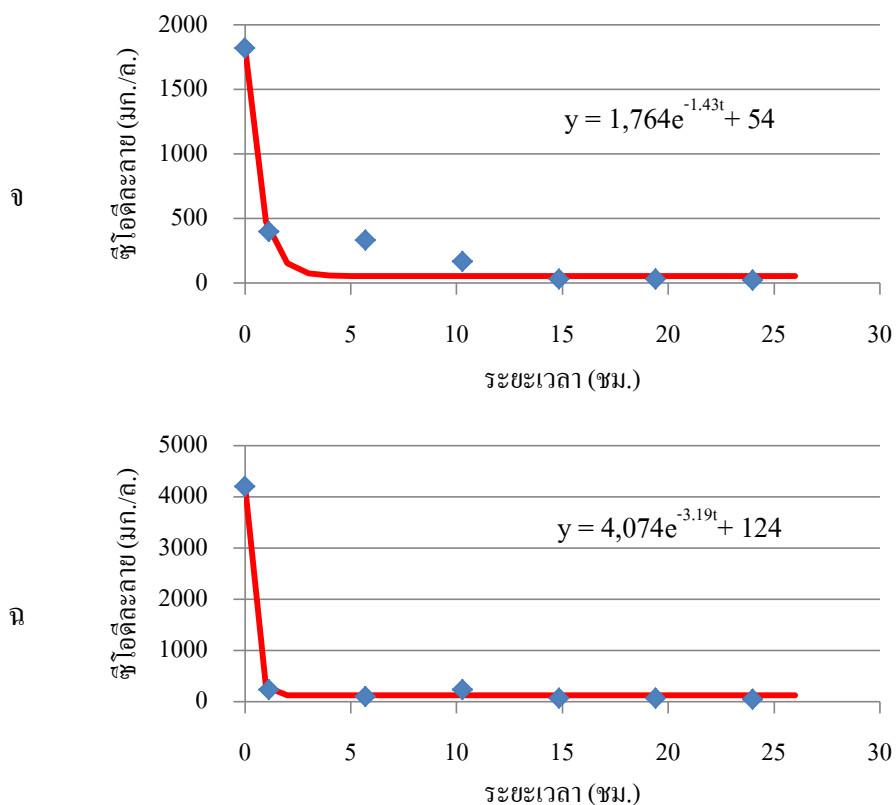


ภาพที่ 4.26 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่า bCOD และ nbCOD จากโปรแกรม Microsoft Excel

(♦ = ค่าวิเคราะห์ — = โมเดล)

หมายเหตุ: ก : ความเข้มข้น 100 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 200 มก./ล. ค : ความเข้มข้น 500 มก./ล.

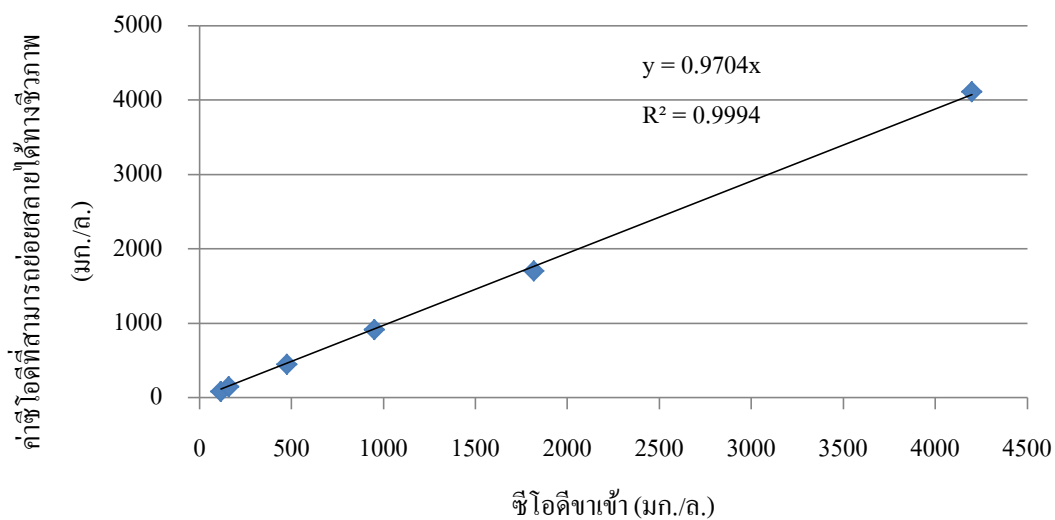
ง : ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.



ภาพที่ 4.26 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่า bCOD และ nbCOD จากโปรแกรม Microsoft Excel (ต่อ)

(♦ = ค่าวิเคราะห์ — = โมเดล)

หมายเหตุ : จ : ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ข : ความเข้มข้น 5,000 มก./ล.



ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงค่าซีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเทียบกับค่าซีโอดีขาเข้า

## 4.5 การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

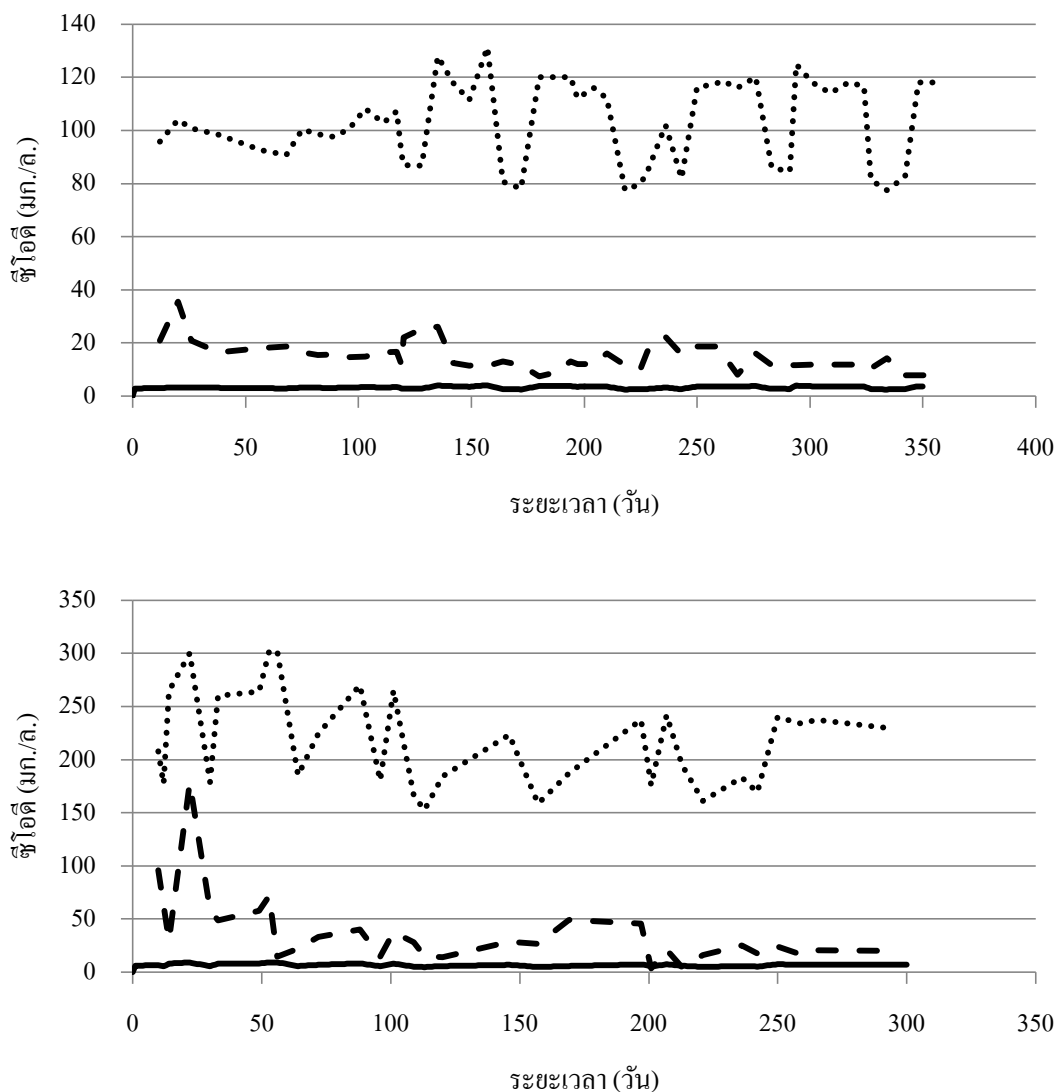
### 4.5.1 การตรวจสอบผลโดยใช้โปรแกรม AQUASIM

การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์กับระบบถังกรองไร้อากาศโดยใช้โปรแกรม AQUASIM 2.1b จะใช้สมการปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (1<sup>st</sup> order) และค่าจลนพลศาสตร์จากงานวิจัยนี้ ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการจำลองนี้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตัวแปรและสมการที่ใช้ในการจำลองโดยโปรแกรม AQUASIM 2.1b

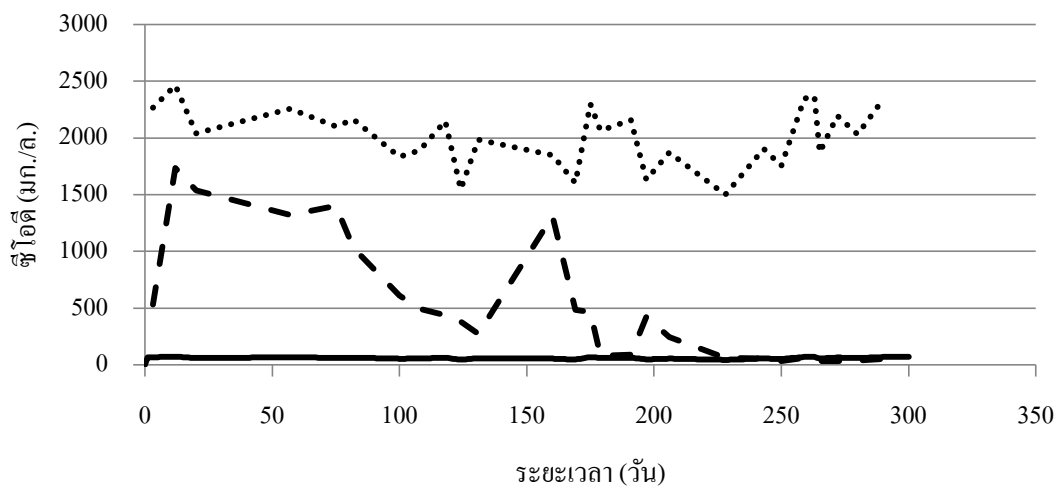
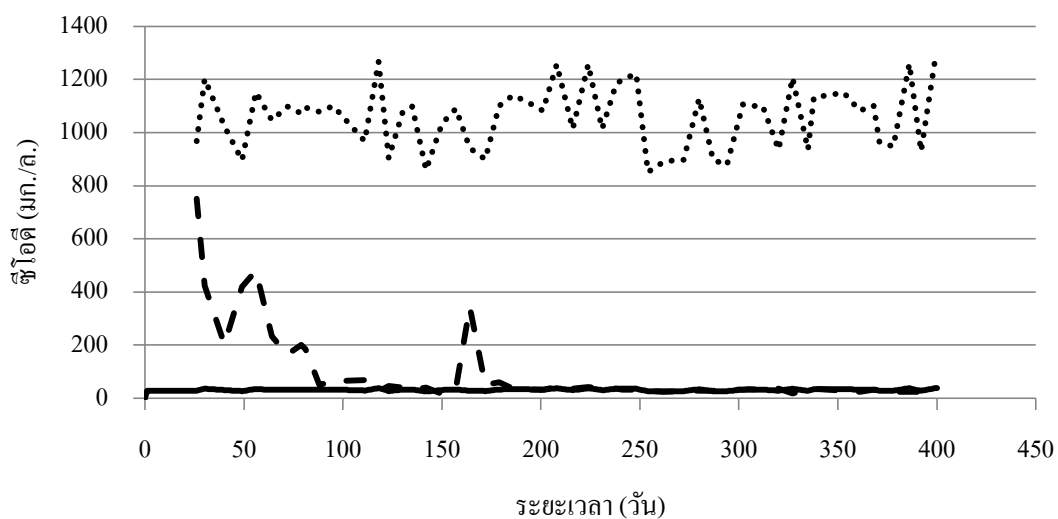
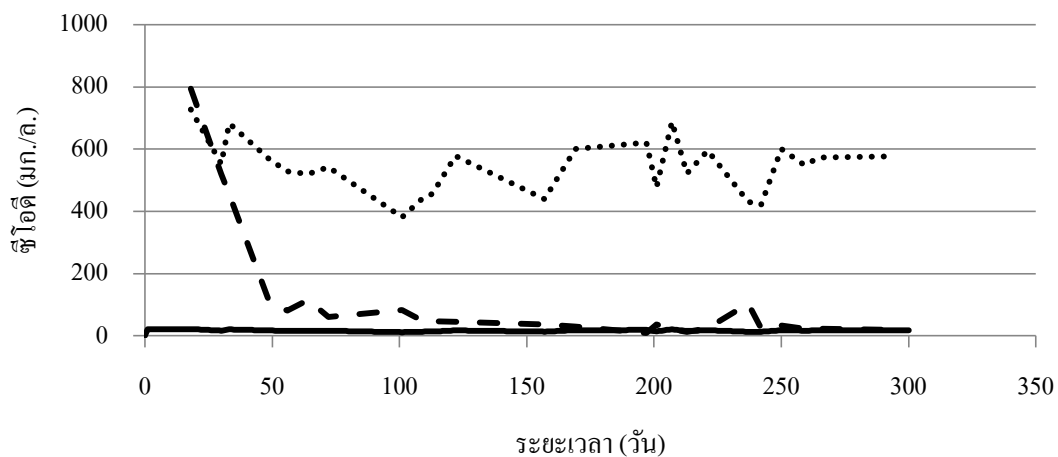
ตัวแปร	ความหมาย	สมการ/ค่า	ค่าที่ใช้
COD	ค่าซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ล.)	-	
COD <sub>in</sub>	ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่ความเข้มข้นต่างๆ	-	จากการทดลอง
COD <sub>out</sub>	ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบที่ความเข้มข้นต่างๆ	-	จากการทดลอง
Ratio bCOD:TCOD	อัตราส่วนค่าซีโอดีละลายที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพในถังกรองไร้อากาศ	0.9704	จากการทดลอง
Ratio nbCOD:TCOD	อัตราส่วนค่าซีโอดีละลายที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพในถังกรองไร้อากาศ	0.0296	จากการทดลอง
Q	อัตราการไหลของน้ำเสีย (ล./วัน)	-	
Q <sub>in</sub>	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังกรองไร้อากาศ (ล./วัน)	36	จากการทดลอง
V	ปริมาตรของถังกรองไร้อากาศ (ล.)	36	จากการทดลอง
t	ระยะเวลาพักกักขัง (วัน)	1	จากการทดลอง
k	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (ต่อวัน)	68.98	จากการทดลอง
Y	ยิลด์ของเฮเทอโรโทรฟ	0.08	Metcalf & Eddy, 2004
b	อัตราการย่อยสลายจำเพาะของจุลชีพ (ต่อวัน)	0.03	Metcalf & Eddy, 2004
X	จุลชีพ (มก./ล.)		
X <sub>in</sub>	จุลชีพเข้าสู่ระบบ (มก./ล.)	0	
X <sub>ini</sub>	จุลชีพในระบบ (มก./ล.)	1,528	จากการทดลอง
Degradation	สมการการย่อยสลายน้ำเสีย	$-k \cdot b \text{COD} \cdot X$	
Growth Cell	สมการการเติบโตของจุลชีพ	$k \cdot b \text{COD} \cdot Y \cdot X$	
Decay Cell	สมการการสลายตัวของจุลชีพ	$-b \cdot X$	

เมื่อป้อนค่าตัวแปรดังตารางที่ 4.7 ลงโปรแกรม AQUASIM 2.1b โดยให้โปรแกรมจำลองระบบเพื่อให้แบบจำลองทำนายค่าซีโอดีขาออกจากระบบได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าซีโอดีขาออกที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าซีโอดีขาออกที่ได้จากการบำบัดจริง ดังแสดงในภาพที่ 4.28 พบว่าค่าซีโอดีขาออกที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบกับผลบำบัดจริง แสดงให้เห็นว่าค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบกับระบบถังกรองไร้อากาศได้



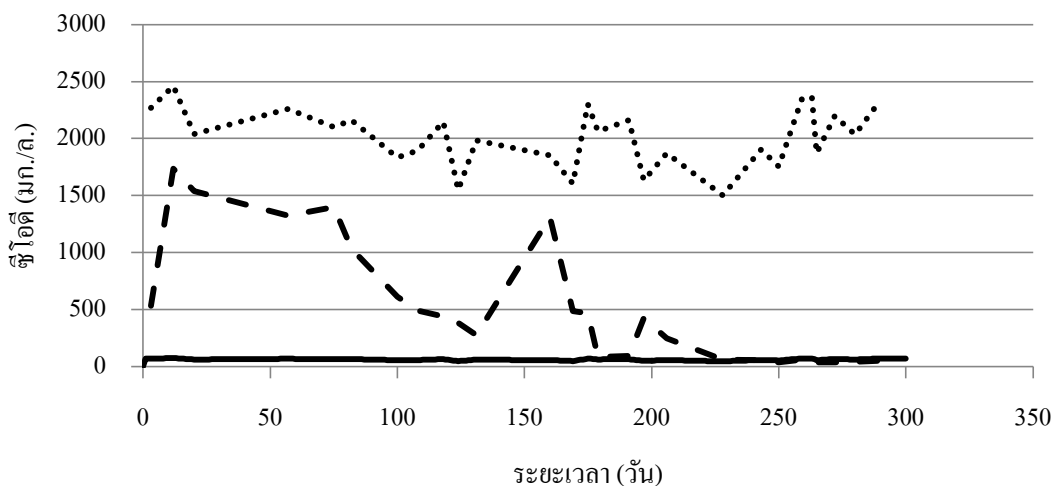
ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงค่าซีโอดีขาออกจากแบบจำลองเทียบกับการบำบัดจริง

[ ····· = ซีโอดีเข้า (จริง)    - - = ซีโอดีออก (จริง)    — = ซีโอดีออก (โมเดล)]



ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงค่าซีโอดีขาออกจากแบบจำลองเทียบกับการบำบัดจริง (ต่อ)

[ ..... = ซีโอดีเข้า (จริง)    - - = ซีโอดีออก (จริง)    — = ซีโอดีออก (โมเดล)]



ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงค่าซีไอดีขาออกจากแบบจำลองเทียบกับการบำบัดจริง (ต่อ)

[ ..... = ซีไอดีเข้า (จริง)    - - = ซีไอดีออก (จริง)    — = ซีไอดีออก (โมเดล)]

#### 4.5.2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์

ผลของข้อมูลของซีไอดีออกจากระบบที่สภาวะคงที่เมื่อเทียบกับผลซีไอดีออกจากระบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยสมการความผิดพลาดมาตรฐานจากการประมาณค่าพบว่าค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 10 % ของความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น ส่วนที่ความเข้มข้นซีไอดี 100 และ 200 มก./ล. มีค่ามากกว่า 10 % ของความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย จึงถือว่าค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้มีความเหมาะสมสามารถนำไปใช้จริงในอนาคตได้

ตารางที่ 4.8 ค่าการทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์

ความเข้มข้นซีไอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	ค่าความคลาดเคลื่อน (มก./ล.)	10% ของความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)
105±18	11.7	10.5
204±32	21.3	20.4
543±71	12.3	54.3
1,065±129	8.7	106.5
2,130±247	26.2	213
5,238±487	51	523.8

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด

- ความเข้มข้นน้ำเสียที่เข้าระบบ 100 - 5,000 มก./ล. ประสิทธิภาพในการบำบัด 90 - 97.7 % โดยที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและระบบกรองไร้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายที่มีความเข้มข้นต่ำได้ดี

- หัวเชื้อที่ใส่ในตอนเริ่มเดินระบบ พบว่าหลังจากถ่ายตะกอนแขวนลอยทั้งหมดออกจากระบบแล้วประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วงแรก และกลับมาคึกคักเดิมในไม่กี่วันต่อมา แสดงให้เห็นว่าการมีหัวเชื้อในระบบไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมากนัก

##### 5.1.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัด

- ที่ความเข้มข้นน้ำเสียที่เข้าระบบ 100 และ 1,000 มก./ล. การลดลงของพื้นที่ผิวตัวกลางจาก 56,000 ตร.ซม. ลงเรื่อยๆจนไม่มีตัวกลาง ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

##### 5.1.3 การทดสอบการอุดตันของระบบ

- ผลของการทดสอบการอุดตันกับถังปฏิกรณ์ที่ป้อนน้ำเสียความเข้มข้น 100 200 500 1,000 2,000 และ 5,000 มก.-ซีโอดี/ล. พบว่าเกิดการอุดตันทำให้ระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์ลดลง 0.75 2.5 2.5 3.75 1.25 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ และคิดเป็น 3.8 9.8 10.9 15.8 5.5 และ 18 % ของระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์เดิม

- ลักษณะการกระจายตัวของน้ำเกลือ พบว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือจะขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้ระยะเวลาที่กักพักชลศาสตร์มีลักษณะคล้ายถึงแบบไหลตามกัน แต่ความเข้มข้นค่อยๆลดลงคล้ายกับถึงแบบกวนสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าการไหลในถังปฏิกริยาอาจอยู่ในสภาวะระหว่างทั้งสองแบบ



#### 5.1.4 การหาค่าจลนพลศาสตร์

ผลของการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์ของอัตราการบำบัดซีโอดีเทียบกับความเข้มข้นของซีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ในน้ำเข้าเป็นเส้นตรงและหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง( $k_1$ ) เท่ากับ 68.98 ต่อวัน และพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายมีค่าซีโอดีที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเท่ากับ 97 %

#### 5.1.5 การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ผลของการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม AQUASIM 2.1b แสดงให้เห็นว่าค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบกรองไร้อากาศได้ ทั้งนี้ค่าซีโอดีขาออกที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงการบำบัดจริง และเมื่อทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าจลนพลศาสตร์พบว่าค่าที่ได้จากสมการส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 10% ของความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น เป็นการยืนยันได้ว่าค่าจลนพลศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้ได้จริง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาที่ห้องปฏิบัติการ โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทราย ทั้งนี้น้ำตาลทรายน่าจะย่อยสลายได้เร็วมาก ดังนั้นควรมีการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดนี้

- ควรมีการทดสอบลักษณะการไหลของน้ำก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง เพื่อยืนยันว่าระบบกรองไร้อากาศนี้เป็นถังแบบไหลตามกัน

- ควรมีศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ในระบบเพื่อตรวจสอบว่าประสิทธิภาพของระบบมาจากจุลินทรีย์ชนิดใด

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.
- ชลธิพร สุทธิธรรม. 2550. การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในกรุงเทพมหานครและการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย นิรันดร์วงษ์วาน. 2551. ค่าจลนพลศาสตร์ของน้ำเสียชุมชนและแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโรงบำบัดน้ำเสียช่องนนทรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทร วิวัฒน์สร. 2555. ผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำและอัตราการเวียนกลับต่อประสิทธิภาพของถังกรองไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันจุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: แชน.อี.68 คอนซัลติ้งเอ็นจิเนียริ่ง.
- สุรพล สายพานิช. 2542. ประสบการณ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนในประเทศไทย. เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องบทบาทของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนในประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/water\\_wt.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html) [8 มิถุนายน 2553]

### ภาษาอังกฤษ

- Adrianus, V. H. and Jeroen, V. L. 2007. Handbook Biological Waste Water Treatment Design and Optimisation of Activated Sludge Systems. Leidschendam: Quist Publishing.

- APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> Ed, American Public Health association, Washington, DC.
- Bitton, G. 2005. Wastewater Microbiology. 3<sup>rd</sup> Ed. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons.
- Bodkhe, S. 2008. Development of an improved anaerobic filter for municipal wastewater treatment. Bioresource Technology. 99: 222-226.
- Grady Jr., C. P. L., Daigger, G. T., and Lim, C. H. 1999. Biological wastewater treatment. 2<sup>nd</sup> ed. Revised and expanded. New York: Marcel Dekker.
- Hall, E. R. 1992. Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. Water quality management library, Vol.7 , Edites by Malina, J. F., and Pohland, F. G. Lancaster. PA.: Technomic publishing.
- Holman, J. P.2001. Experiment methods for engineers. 7<sup>th</sup> ed. Boston: McGraw-Hill.
- Kwong T.S. and Fang H. H. P. 1996. Anaerobic degradation of cornstarch in wastewater in two upflow reactor. Journal of Environmental Engineering. 122(1): 9-17.
- Li, J., Li, X-B., Tao, T., Wang, Y-L., Chen, H., Li, S-H., Zhou, X-P., Li, Q., Lu, J. and Zhang, Y. 2008. Tracer study on a modified SBR process. 2<sup>nd</sup> Internation Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. 1161-1164.
- Metcalf & Eddy, Inc. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4<sup>th</sup> Ed. New York: McGraw-Hill.
- Raman, V. and Chakladar, N. 1972. Upflow filter for septic tank effluents. JWPCE. 44: 1562-1560.
- Raman, V. and Khan, A. N. 1977. Developments in sewage treatment for small communities (bio-disc and upflow anaerobic filter). Indian Association for Water Pollution Control Annual. 4.
- Raman, V. and Khan, A. N. 1978. Upflow anaerobic filter: A simple sewage treatment device. Proc. on Water Pollution Conf. in Development Countries. 639-649.
- Show, K.-Y. and Tay, J.-H. 1999. Influence of support media on biomass growth and retention in anaerobic filters. Water Research. 33(6): 1471-1481.
- Speece, R. E. 1996. Anaerobic Technology for Industrial Wastewaters. Archae Press, Tennessee.
- Taruyanon, K. and Tejasen, S. 2010. Modelling of two-stage anaerobic treating wastewater from a molasses-based ethanol distillery with the IWA anaerobic digestion model no.1. Engineer Journal. 14(1): ISSN 0125-8281.

- Veiga, M.C., Mendez, R., and Lema, J.M. 1994. Anaerobic filter and DSFF reactor in anaerobic treatment of tuna processing wastewater. Water Science and Technology. 30(12): 425-432.
- Young, J. C. and McCarty, P. L. 1969. The anaerobic filter for waste treatment. JWPCF. 41: R160-R173, 340-343.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการทดลอง**

### ก.-1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียต่ออัตราการบำบัด

ตารางที่ ก.-1 ค่าอุณหภูมิที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน							
วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
25-ก.พ.-54	1	29.5	29.4	22-พ.ค.-54	86	29.5	29
6-มี.ค.-54	9	28.5	29	26-พ.ค.-54	90	29.5	31
14-มี.ค.-54	17	29.5	29	3-มี.ย.-54	98	29	29.5
29-มี.ค.-54	32	28	29	12-มิ.ย.-54	107	28	27.9
2-เม.ย.-54	36	29.5	29	14-มิ.ย.-54	109	28	27.9
4-เม.ย.-54	38	30	30	15-มิ.ย.-54	110	31	30.5
5-เม.ย.-54	39	31	31	19-มิ.ย.-54	114	29	29.5
14-เม.ย.-54	48	31	30.5	23-มิ.ย.-54	118	31	30.5
17-เม.ย.-54	51	30	30	24-มิ.ย.-54	119	30	30.5
22-เม.ย.-54	56	30	29.5	26-มิ.ย.-54	121	29	29.5
30-เม.ย.-54	64	28.5	29	30-มิ.ย.-54	125	30	30.5
8-พ.ค.-54	72	30	30	5-ก.ค.-54	130	29	28.5
12-พ.ค.-54	76	30	30	10-ก.ค.-54	135	29.5	30
13-พ.ค.-54	77	30.5	30	15-ก.ค.-54	140	28	28.5
14-พ.ค.-54	78	29	29	20-ก.ค.-54	145	29.5	29.5
15-พ.ค.-54	79	28.5	29	24-ก.ค.-54	149	29	29.5
16-พ.ค.-54	80	28	28	30-ก.ค.-54	156	29.8	31
20-พ.ค.-54	84	28.5	28	2-ส.ค.-54	158	30	30
21-พ.ค.-54	85	29	28.5				

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.2 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน							
วันที่ (ว/ค/ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว/ค/ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
19-มี.ค.-54	22	24.5	23	15-ก.ย.-54	202	28	28
23-มี.ค.-54	26	28.5	29	16-ก.ย.-54	203	29	28
27-มี.ค.-54	30	27.8	27.5	17-ก.ย.-54	204	29	29
30-มี.ค.-54	33	25.3	22.5	29-ก.ย.-54	216	29	29.5
4-เม.ย.-54	38	28	29	8-ต.ค.-54	225	29	29.5
6-เม.ย.-54	40	29.5	29	11-ต.ค.-54	228	28	27.9
8-เม.ย.-54	42	30	30	15-ต.ค.-54	232	29	29.5
22-เม.ย.-54	56	31	31	19-ต.ค.-54	236	31	30.5
30-เม.ย.-54	64	31	30.5	31-ต.ค.-54	248	28	28.5
22-พ.ค.-54	86	30.6	30.8	8-พ.ย.-54	256	29	29.5
11-มิ.ย.-54	106	30	29.5	15-พ.ย.-54	263	28.5	29
3-ก.ค.-54	128	28.5	29	19-พ.ย.-54	267	29.5	29
15-ก.ค.-54	140	30	30	25-พ.ย.-54	273	29	29
30-ก.ค.-54	155	30	30.5	30-พ.ย.-54	278	28	28.5
7-ก.ย.-54	194	30	30	5-ธ.ค.-54	283	28	28
8-ก.ย.-54	195	30	30	7-ธ.ค.-54	285	29	29.5
9-ก.ย.-54	196	28.5	29	12-ธ.ค.-54	290	28	28.5
11-ก.ย.-54	198	28	27	16-ธ.ค.-54	294	27	27.5
อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน							
วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
19-มี.ค.-54	22	24.5	23.5	15-ก.ย.-54	202	28	28
23-มี.ค.-54	26	28.5	29	16-ก.ย.-54	203	28.5	28.5
27-มี.ค.-54	30	27.2	27.8	17-ก.ย.-54	204	29.5	29.5
30-มี.ค.-54	33	24.5	22.5	29-ก.ย.-54	216	29	29.5
4-เม.ย.-54	38	28.5	29	8-ต.ค.-54	225	29	29.5



วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
6-เม.ย.-54	40	29	29	11-ต.ค.-54	228	28	27.9
8-เม.ย.-54	42	30	30	15-ต.ค.-54	232	29	29.5
22-เม.ย.-54	56	31	31	19-ต.ค.-54	236	31	30.5
30-เม.ย.-54	64	31	31	31-ต.ค.-54	248	28	28.5
22-พ.ค.-54	86	30.9	30.7	8-พ.ย.-54	256	29	29
11-มิ.ย.-54	106	30	29	15-พ.ย.-54	263	28.5	28.5
3-ก.ค.-54	128	29	29	19-พ.ย.-54	267	29	29
15-ก.ค.-54	140	29.5	29.5	25-พ.ย.-54	273	29	29
30-ก.ค.-54	155	30	30	30-พ.ย.-54	278	28	28.5
7-ก.ย.-54	194	30	30	5-ธ.ค.-54	283	28	28.5
8-ก.ย.-54	195	30	30	7-ธ.ค.-54	285	29	29.5
9-ก.ย.-54	196	28.5	29	12-ธ.ค.-54	290	28	28
11-ก.ย.-54	198	28	27.5	16-ธ.ค.-54	294	27	27.5
<b>อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน</b>							
วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
19-มี.ค.-54	22	25	23	4-ส.ค.-54	160	29	29.5
23-มี.ค.-54	26	28.5	29	9-ส.ค.-54	165	29.5	29.5
27-มี.ค.-54	30	27	27.5	12-ส.ค.-54	168	30	29.5
30-มี.ค.-54	33	24.6	22	14-ส.ค.-54	170	29.5	30
4-เม.ย.-54	38	29	28.5	19-ส.ค.-54	175	28.5	29
6-เม.ย.-54	40	29	29.5	27-ส.ค.-54	183	29	29
8-เม.ย.-54	42	30	30	3-ก.ย.-54	190	29.5	30
22-เม.ย.-54	56	31	31	7-ก.ย.-54	194	30	30
30-เม.ย.-54	64	31	31	8-ก.ย.-54	195	30	30
22-พ.ค.-54	86	30.7	30.4	9-ก.ย.-54	196	28.5	29
11-มิ.ย.-54	106	30	29	11-ก.ย.-54	198	28	27.5

วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
3-ก.ค.-54	128	29	29	15-ก.ย.-54	202	28	28
15-ก.ค.-54	140	30	29.5	16-ก.ย.-54	203	28.5	28
30-ก.ค.-54	155	30	30.5	17-ก.ย.-54	204	28.5	29.5
<b>อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน</b>							
วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
2-มี.ย.-54	9	29	29	19-ก.ย.-54	118	31	30.5
10-มี.ย.-54	17	29.5	29.5	20-ก.ย.-54	119	30.5	30.5
18-มี.ย.-54	25	29.5	29.5	1-ต.ค.-54	130	29	29
25-มี.ย.-54	32	30	30	6-ต.ค.-54	135	29	29
29-มี.ย.-54	36	30.5	30.5	27-ต.ค.-54	149	31	30
2-ก.ค.-54	39	28.5	29	29-ต.ค.-54	158	30	30
14-ก.ค.-54	51	29	29	5-พ.ย.-54	165	29	29
19-ก.ค.-54	56	29.5	30	16-พ.ย.-54	176	28.5	29
27-ก.ค.-54	64	29.5	29.5	2-ธ.ค.-54	192	27.5	27.5
4-ส.ค.-54	72	29	29	13-ธ.ค.-54	203	27	27
8-ส.ค.-54	76	29.5	29.5	20-ธ.ค.-54	210	26.3	26.5
9-ส.ค.-54	77	30	30	22-ธ.ค.-54	212	26	26
10-ส.ค.-54	78	29	29.5	4-ม.ค.-55	225	28.5	28.5
12-ส.ค.-54	80	28	28	20-ม.ค.-55	241	29.5	29.5
16-ส.ค.-54	84	28	28	27-ม.ค.-55	248	29	29
17-ส.ค.-54	85	28.5	28.5	6-ก.พ.-55	258	29.5	29.5
18-ส.ค.-54	86	29.5	29.5	11-ก.พ.55	263	29	29
22-ส.ค.-54	90	29.5	31	18-ก.พ.-55	270	29	29
30-ส.ค.-54	98	29	30	28-ก.พ.-55	280	29.5	30
11-ก.ย.-54	110	28	27.9	11-มี.ค.-55	292	30	30
15-ก.ย.54	114	29.5	29.5	14-มี.ค.55	295	29.5	31.5

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน							
วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)		วันที่ (ว-ค-ป)	เวลา (วัน)	ค่าอุณหภูมิ (°ซ.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก			น้ำเข้า	น้ำออก
2-มี.ย.-54	9	29	29	19-ก.ย.-54	118	31	30.5
10-มี.ย.-54	17	30	30	20-ก.ย.-54	119	30.5	30.5
18-มี.ย.-54	25	29.5	29.5	1-ต.ค.-54	130	28.5	28.5
25-มี.ย.-54	32	30	30	6-ต.ค.-54	135	29	29
29-มี.ย.-54	36	30.5	30.5	27-ต.ค.-54	149	30	31
2-ก.ค.-54	39	28.5	28.5	29-ต.ค.-54	158	29.5	30
14-ก.ค.-54	51	29	29	5-พ.ย.-54	165	29	29
19-ก.ค.-54	56	29.5	29.5	16-พ.ย.-54	176	28	28
27-ก.ค.-54	64	29	29	2-ธ.ค.-54	192	27	27.5
4-ส.ค.-54	72	28.5	29	13-ธ.ค.-54	203	26.5	26.5
8-ส.ค.-54	76	30	30	20-ธ.ค.-54	210	25.7	26.4
9-ส.ค.-54	77	30	30	22-ธ.ค.-54	212	26	26
10-ส.ค.-54	78	29	29.5	4-ม.ค.-55	225	28	28
12-ส.ค.-54	80	27.5	28	20-ม.ค.-55	241	29.5	29.5
16-ส.ค.-54	84	28	27.5	27-ม.ค.-55	248	29	29.5
17-ส.ค.-54	85	29	28	6-ก.พ.-55	258	29.5	29.5
18-ส.ค.-54	86	29.5	29	11-ก.พ.-55	263	29	29
22-ส.ค.-54	90	29	31	18-ก.พ.-55	270	28.5	29
30-ส.ค.-54	98	29.5	30	28-ก.พ.-55	280	29.5	30
11-ก.ย.-54	110	27.5	27.9	11-มี.ค.-55	292	30	30
15-ก.ย.54	114	29.5	29.5	14-มี.ค.55	295	29.5	31.5

ตารางที่ ก.-2 ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ต่างๆเมื่อสภาวะคงที่

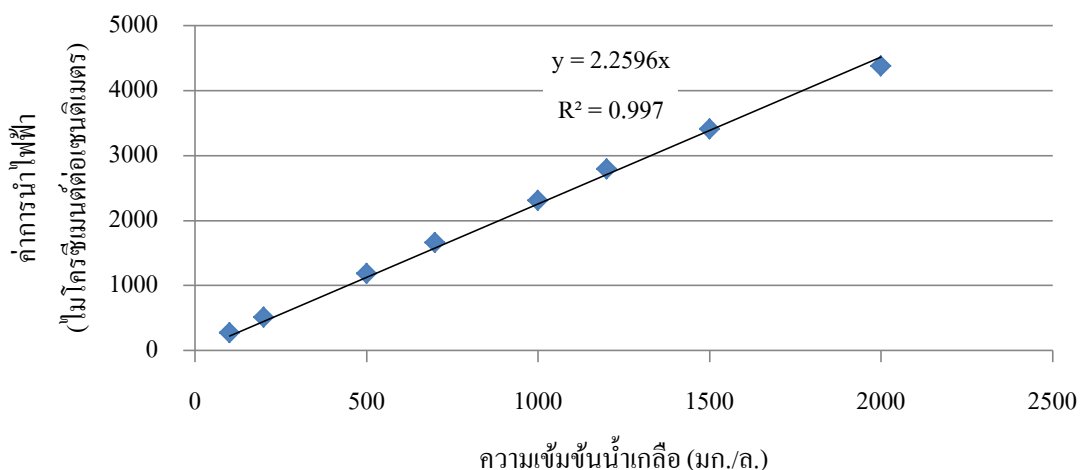
ครั้งที่	ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริง (มล./วัน)					
	ที่อัตราการระบายรทุกสารอินทรีย์ (กก.-ซี โอดี/ลบ.ม./วัน)					
	0.1	0.2	0.5	1	2	5
1	51	1555.5	3162	7956	23783	52836
2	204	1530	2550	6018	23783	63954
3	255	1173	4947	7905	23783	83283
4	255	918	4692	6324	17238	47736
5	255	1581	3774	6375	24378	54162
6	153	1249.5	4947	7905	21165	65994
7	561	1071	4845	8007	17493	65943
8	204	1530	3570	7191	16473	65994
9	127.5	1326	4488	5992.5	16473	55692
10	102	1581	4488	6069	22287	55641
11	306	1632	3621	5967	22950	55590
12	153	1377	4029	5100	21267	63954
13	165.75	1326	3672	5061.75	19023	
14	229.5	1377	2805	6681	22695	
15	280.5	1020		8211	21879	
16	127.5			7701		
17	178.5			6298.5		

## ก.-2 ผลการทดสอบการอุดตัน

ตารางที่ ก.-3 ค่ากราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำเกลือกับค่าการนำไฟฟ้า

ความเข้มข้น NaCl (มก./ล.)	ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ .)
100	278	29.8
200	521	29.8
500	1,192	29.8
700	1,671	29.8
1,000	2,320	29.7
1,200	2,800	29.6
1,500	3,420	29.7
2,000	4,390	29.5

จากการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดของถังที่ 1-6 เท่ากับ 1,889 1,829 1,789 1,747 2,008 และ 1748 ไมโครซีเมนต์ต่อชม. เมื่อเทียบกับค่ากราฟมาตรฐานดังแสดงในภาพที่ 4.27 พบว่าค่าความเข้มข้นของน้ำเกลือไม่สูงเกิน 1,000 มก./ล. ( Li และคณะ, 2006) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นดังกล่าวไม่เป็นปริมาณที่ขัดขวางการทำงานของแบคทีเรีย



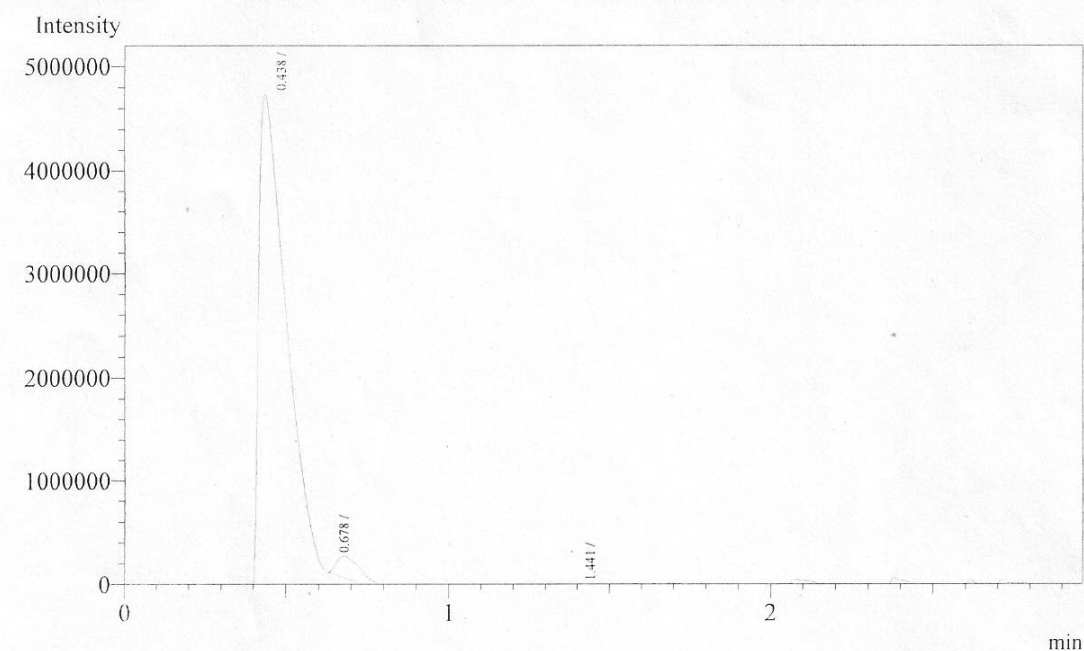
ภาพที่ ก.-1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำเกลือกับค่าการนำไฟฟ้า

### ก.-3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ ก.-2 - ก.-15

Analysis Date & Time : 8/8/2555 15:04:45  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-1  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD260.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



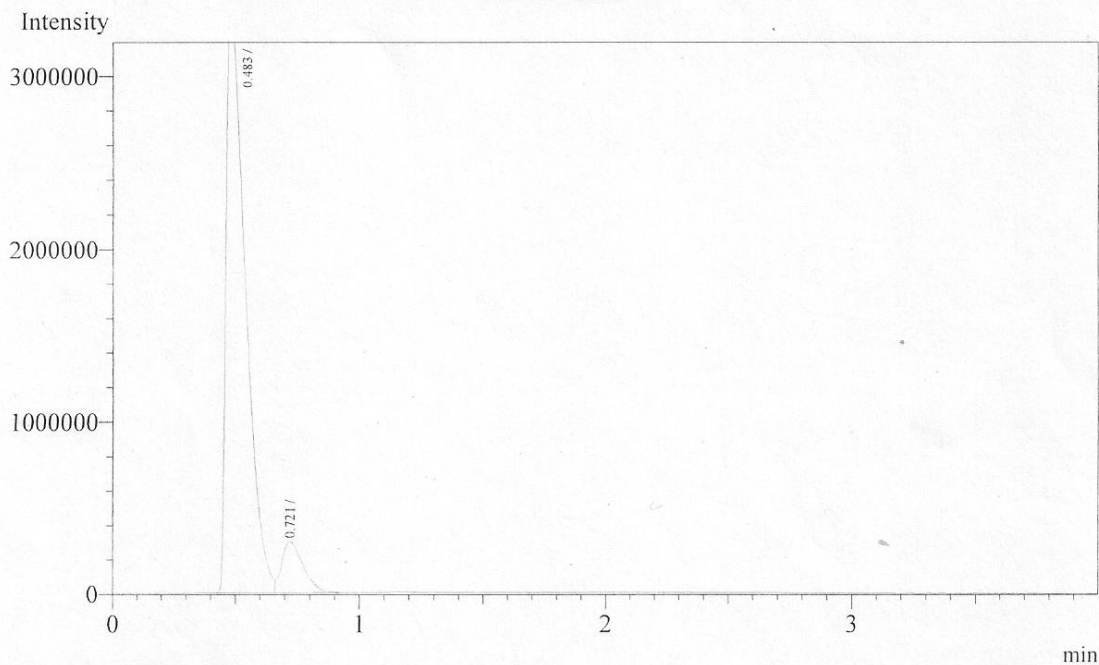
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.438	31158567	4834391	0.000	SV		
2	0.678	1179337	207299	0.000	T		
3	1.441	1067475	76977	0.000	V		
Total		33405379	5118667				

ภาพที่ ก.-2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 13/9/2555 10:04:50  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-1  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD274.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



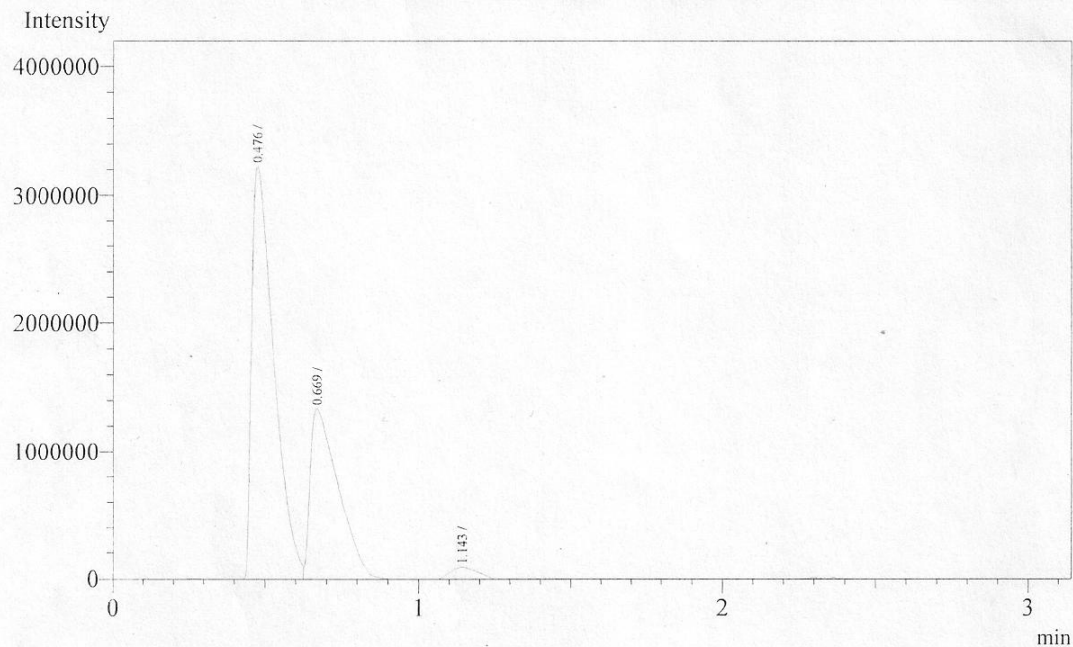
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.483	18459359	3402392	0.000			
2	0.721	1787867	299331	0.000	V		
Total		20247226	3701723				

ภาพที่ ก.-3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 100 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub>

Analysis Date & Time : 8/8/2555 15:12:49  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-2  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD261.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.476	16506146	3242162	0.000	V		
2	0.669	8856142	1355260	0.000	V		
3	1.143	1119736	130490	0.000			
Total		26482024	4727912				

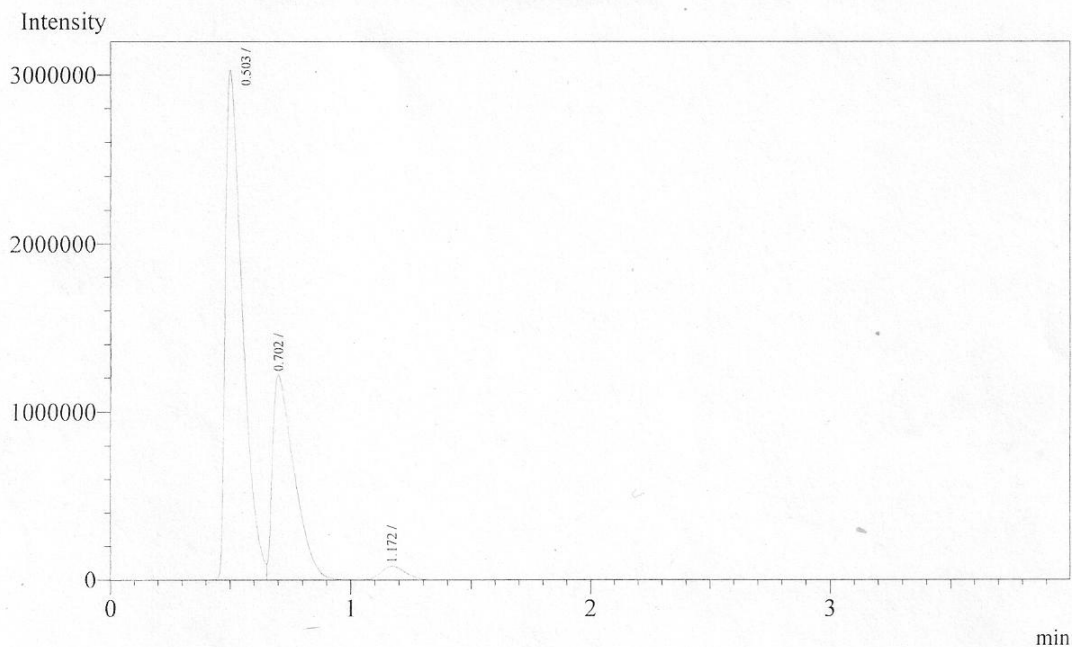
ภาพที่ ก.-4 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 200 มก.-ซีโอดี/ล.ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>



Analysis Date & Time : 13/9/2555 10:12:10  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-2  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD275.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



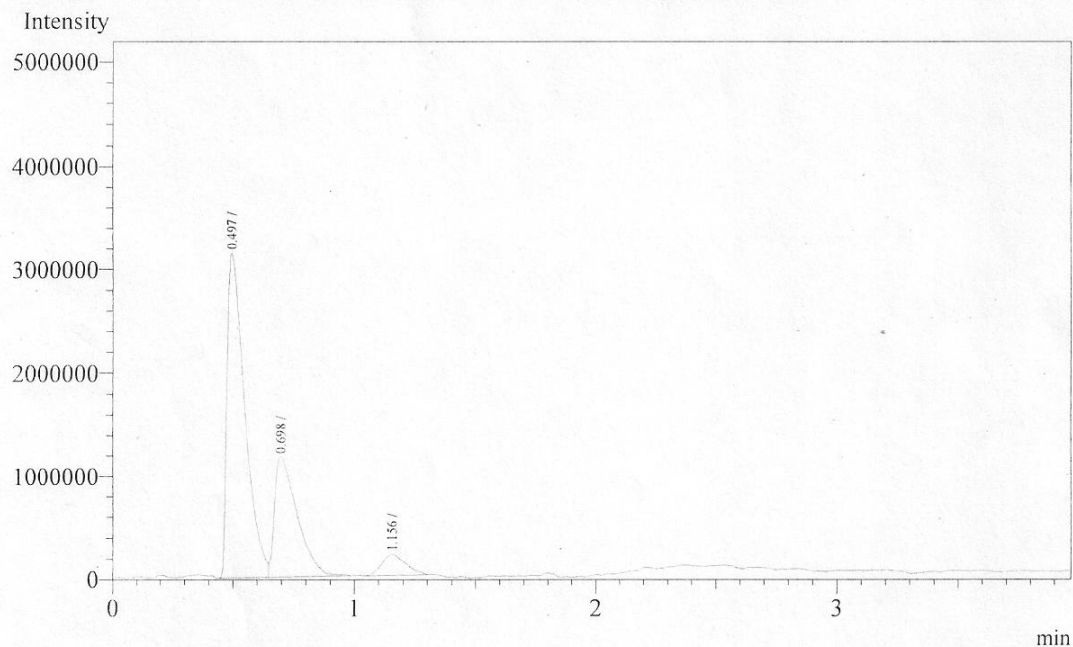
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.503	14997262	3024642	0.000			
2	0.702	7620262	1214911	0.000	V		
3	1.172	555728	78907	0.000			
Total		23173252	4318460				

ภาพที่ ก.-5 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 200 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 8/8/2555 15:18:53  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-3  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD262.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



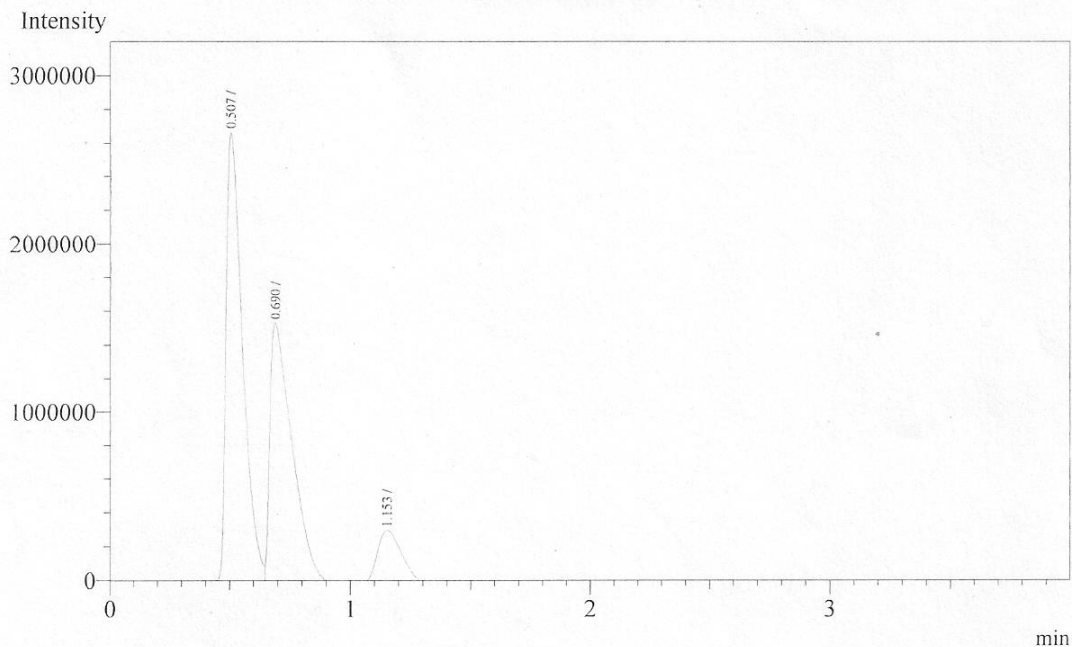
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.497	16026841	3141282	0.000			
2	0.698	7462620	1166169	0.000	SV		
3	1.156	1360211	200294	0.000			
Total		24849672	4507745				

ภาพที่ ก.-6 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 500 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 13/9/2555 10:17:33  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-3  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD276.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



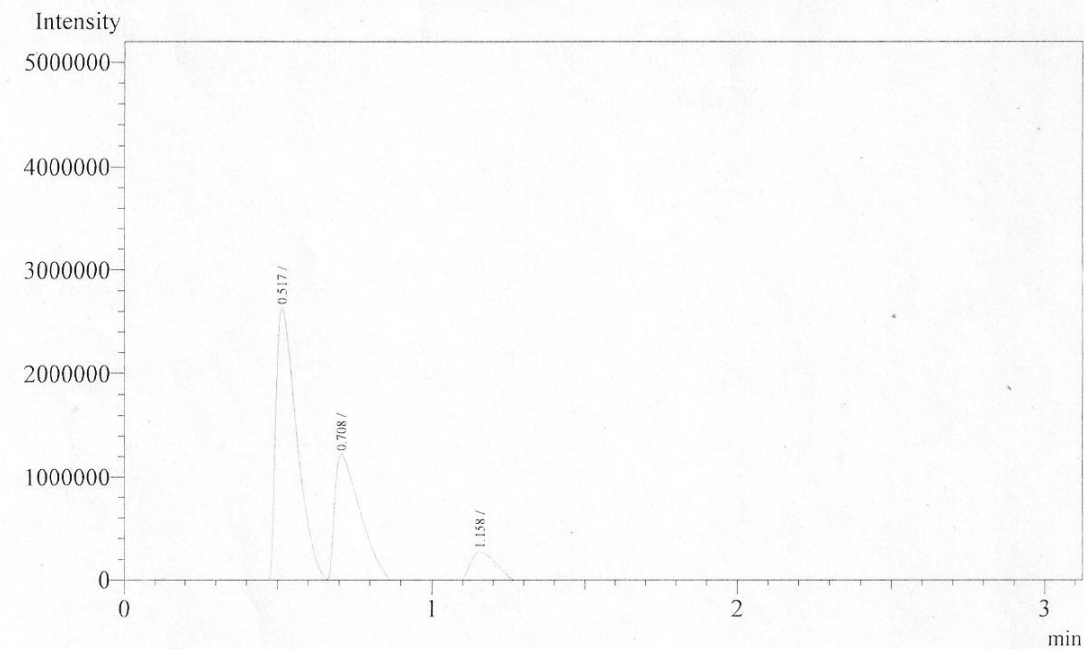
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.507	12723233	2668447	0.000			
2	0.690	9811226	1541010	0.000	V		
3	1.153	2430996	327603	0.000			
Total		24965455	4537060				

ภาพที่ ก.-7 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 500 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 8/8/2555 15:24:43  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-4  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD263.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



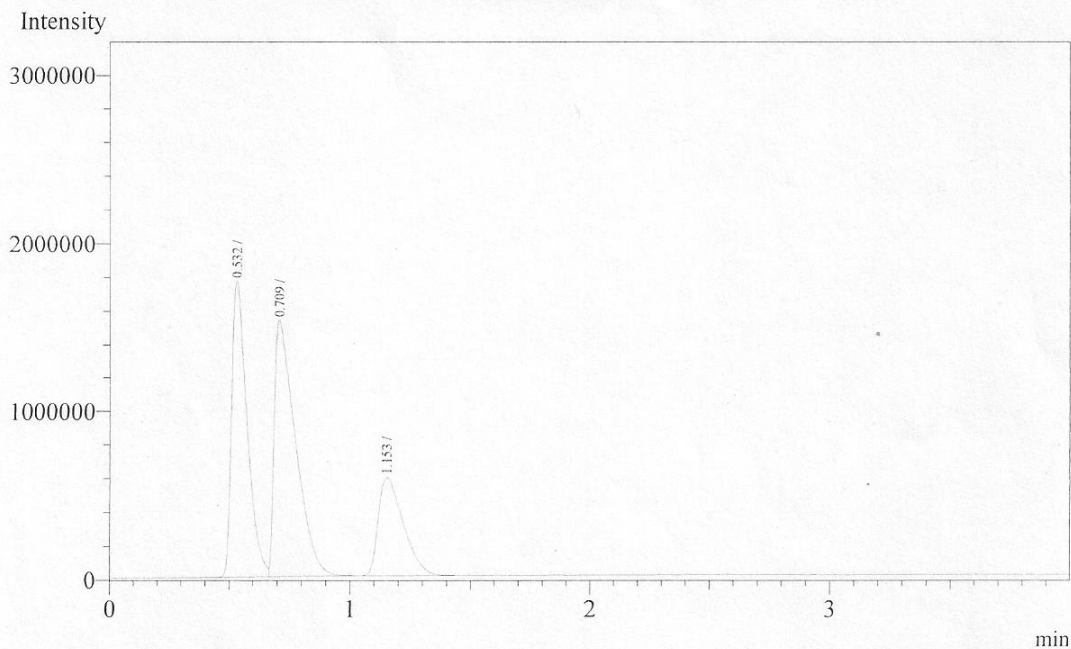
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.517	13380811	2719568	0.000			
2	0.708	8155076	1309380	0.000	V		
3	1.158	2562760	351257	0.000			
Total		24098647	4380205				

ภาพที่ ก.-8 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 13/9/2555 10:22:56  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-4  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD277.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



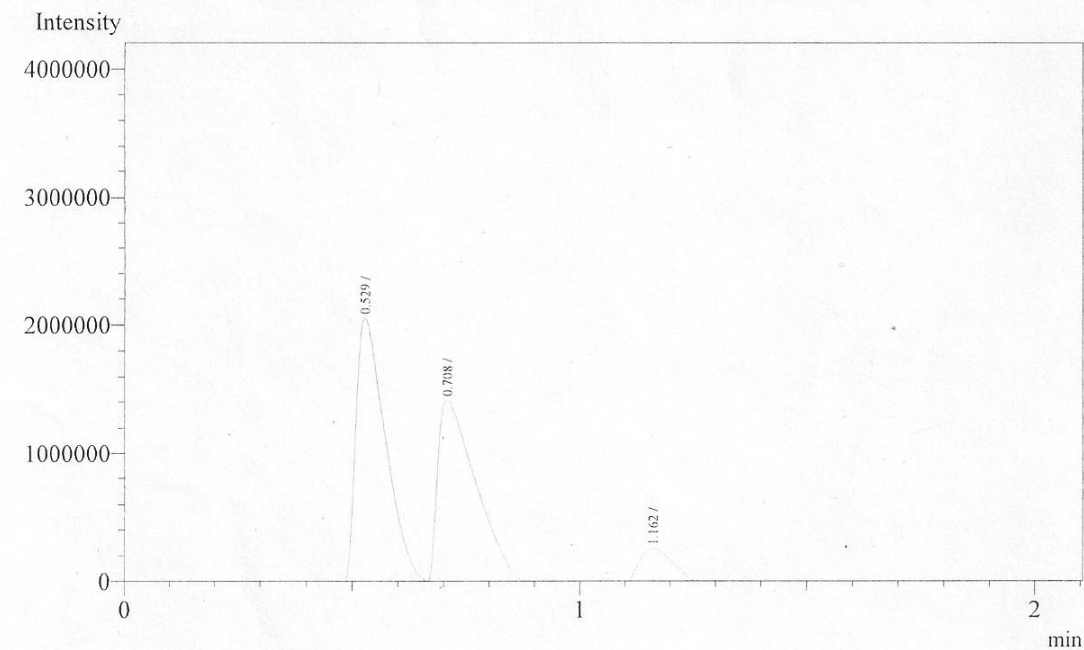
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.532	7912171	1754681	0.000			
2	0.709	9235822	1522461	0.000	V		
3	1.153	4142589	579380	0.000			
Total		21290582	3856522				

ภาพที่ ก.-9 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 1,000 มก.-ซี โอดี/ล. ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 8/8/2555 15:43:11  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-5  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD267.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



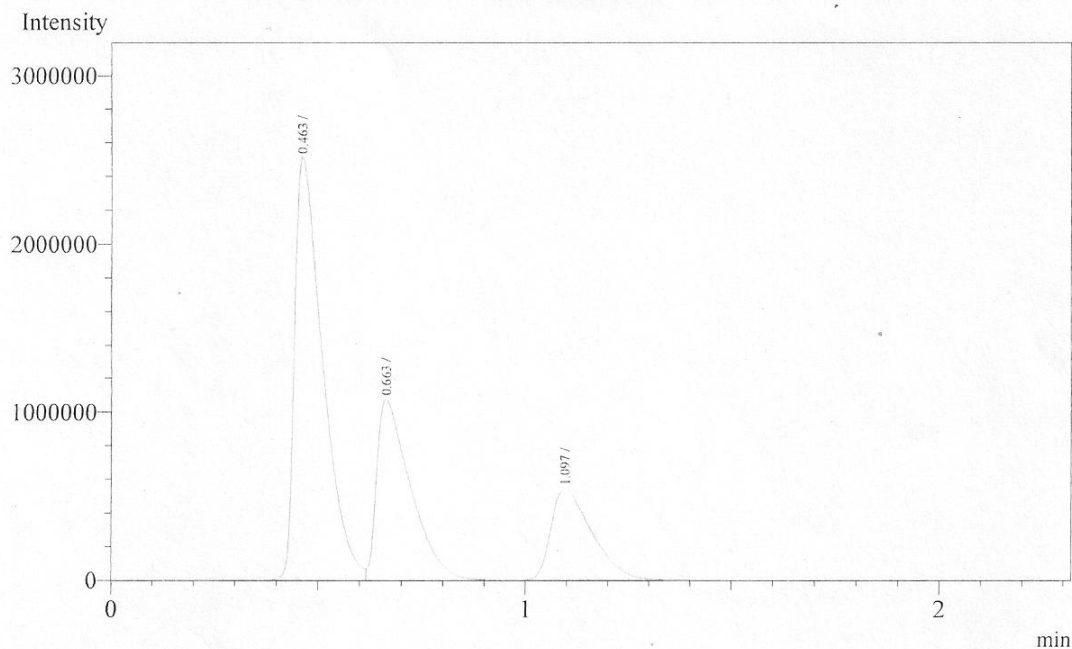
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.529	10258751	2141842	0.000		
2	0.708	9847274	1532106	0.000	V	
3	1.162	2836493	394439	0.000		
Total		22942518	4068387			

ภาพที่ ก.-10 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 2,000 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 13/9/2555 10:30:06  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-5  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD278.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



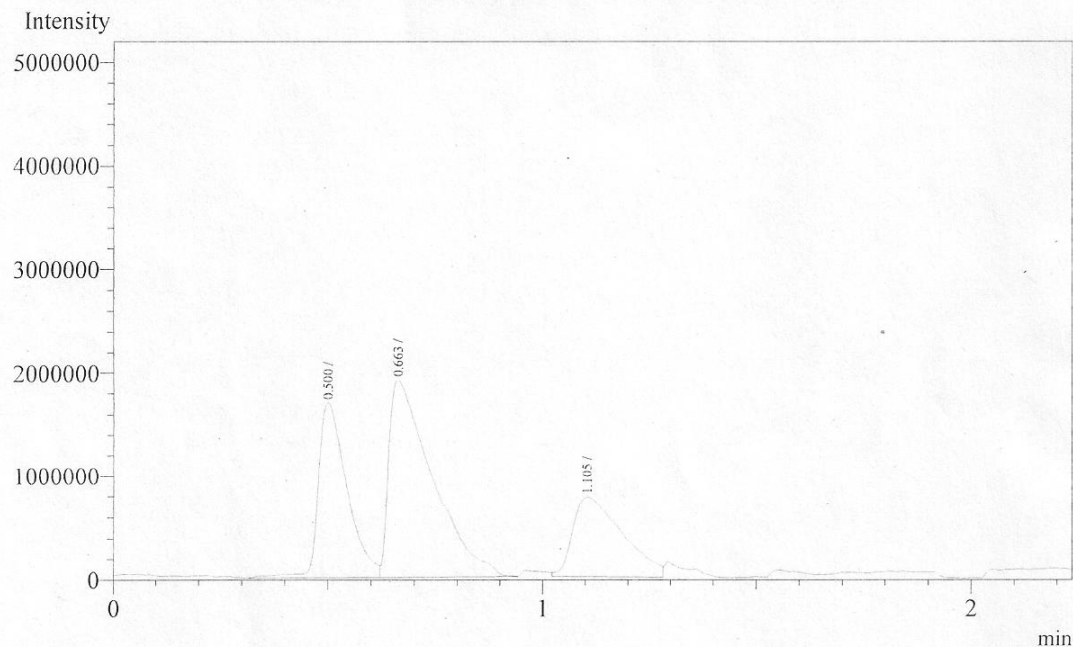
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.463	11717061	2505891	0.000		
2	0.663	6041278	1073026	0.000	V	
3	1.097	3737844	541484	0.000		
Total		21496183	4120401			

ภาพที่ ก.-11 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 2,000 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 8/8/2555 15:51:43  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-6  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD269.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	7857905	1686033	0.000			
2	0.663	13344393	1906443	0.000	V		
3	1.105	6204602	766830	0.000	V		
Total		27406900	4359306				

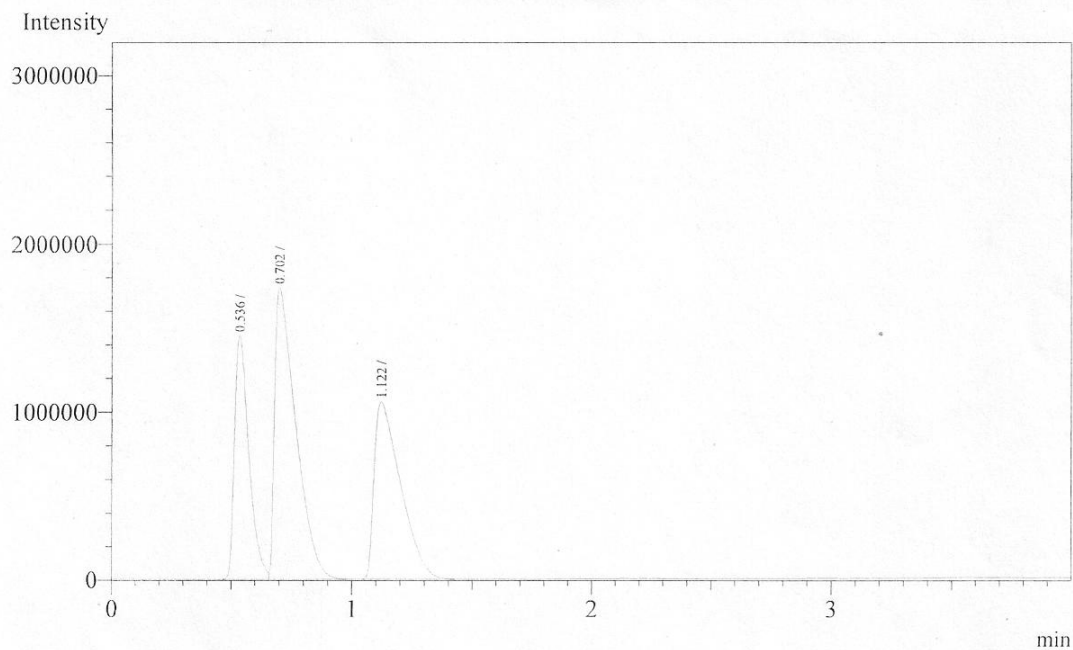
ภาพที่ ก.-12 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 5,000 มก.-ซีโอดี/ล. ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>



Analysis Date & Time : 13/9/2555 10:34:54  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : SAM-6  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD279.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



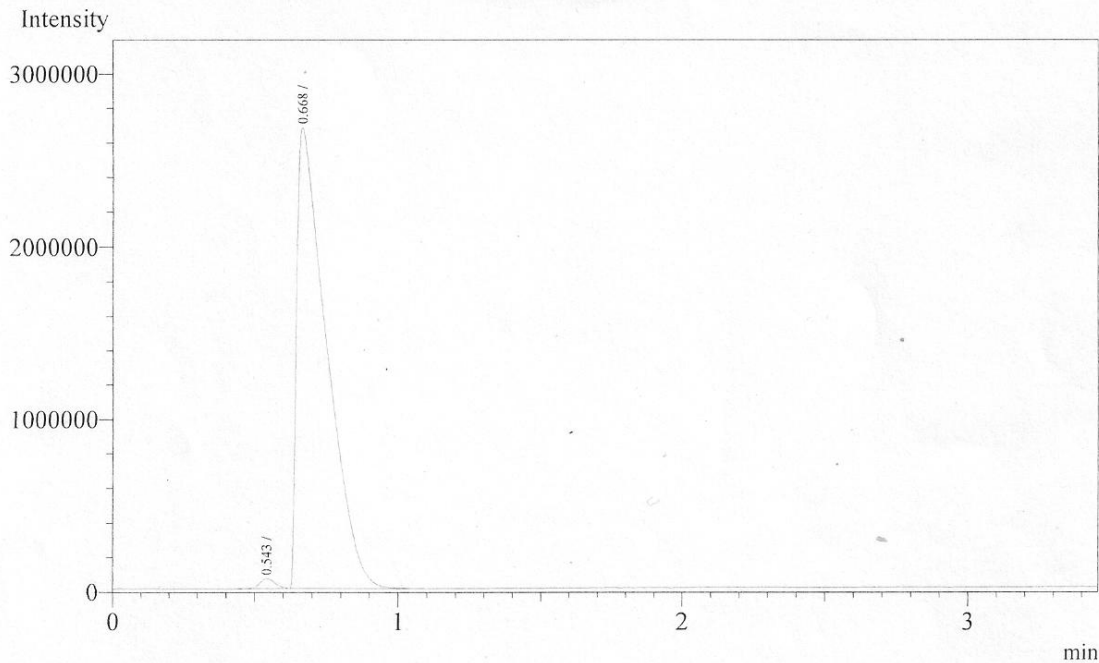
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.536	6112620	1449296	0.000		
2	0.702	10564240	1733823	0.000	V	
3	1.122	8067407	1055849	0.000		
Total		24744267	4238968			

ภาพที่ ก.-13 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้น 5,000 มก.-ซีไอดี/ล. ครั้งที่ 2

หมายเหตุ : Peak#1 = Air Peak#2 = CH<sub>4</sub> Peak#3 = CO<sub>2</sub>

Analysis Date & Time : 13/9/2555 9:59:42  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : STD-GH4  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD273.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

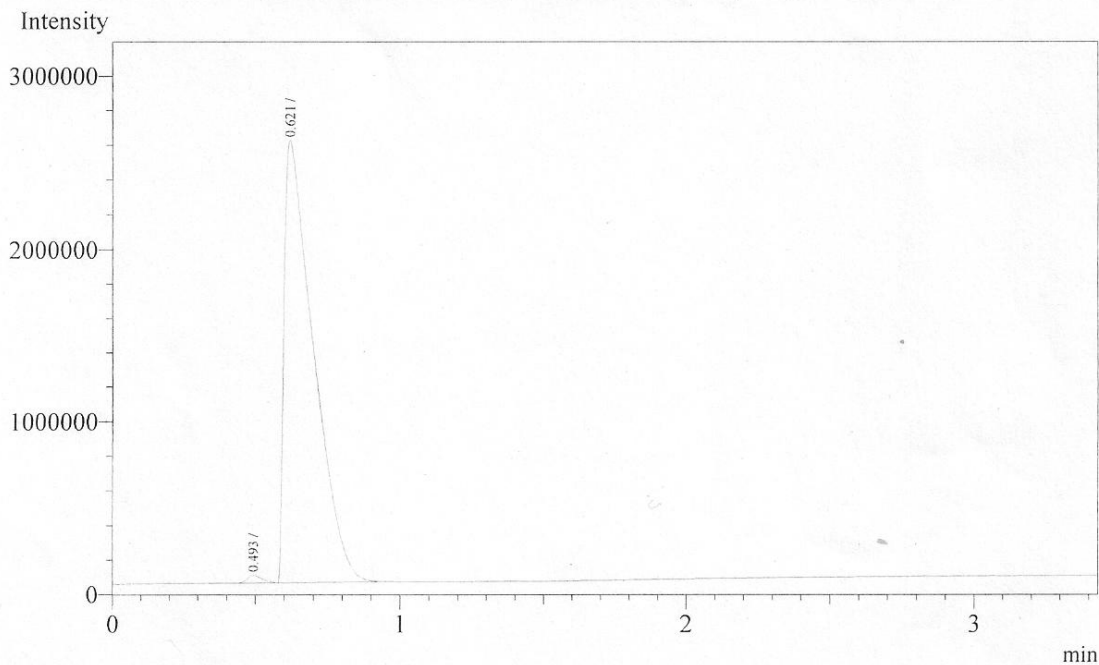


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.543	217846	56643	0.000			
2	0.668	19274316	2663271	0.000			
Total		19492162	2719914				

ภาพที่ ก.-14 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 1

Analysis Date & Time : 13/9/2555 9:44:24  
 User Name : Admin  
 Vial# : 0  
 Sample Name : STD-GH4  
 Sample ID :  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD270.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.493	162221	45533	0.000			
2	0.621	17950445	2558664	0.000			
Total		18112666	2604197				

ภาพที่ ก.-15 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 2

ภาคผนวก ข  
การคำนวณ

### ข.-1 การคำนวณอัตราการไหลของน้ำ

กำหนด ปริมาตรถัง 36 ล.  
 เวลาพักพิชผลศาสตร์ 24 ชม.  
 หาอัตราการไหล (ล./ชม.)

$$Q = \frac{V}{\text{HRT}}$$

$$Q = \frac{36}{24}$$

$$Q = 1.5 \text{ ล./ชม.}$$

จะได้อัตราการไหลของน้ำเสีย 1.5 ล./ชม.

### ข.-2 การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี

$$\text{ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี} = \left( \frac{\text{ซีโอดีเข้า} - \text{ซีโอดีออก}}{\text{ซีโอดีเข้า}} \right) \times 100$$

เช่น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 กก.-ซีโอดี/ลบ.ม./วัน เมื่อระบบคงที่ วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2554 ค่าซีโอดีละลายน้ำเข้าเท่ากับ 131.25 มก./ล. ค่าซีโอดีละลายน้ำออกเท่ากับ 12 มก./ล. ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะเท่ากับ

$$\text{ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี} = \left( \frac{131.25 - 12}{131.25} \right) \times 100$$

$$= 90.8 \%$$

จะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 90.8 %

### ข.-3 การคำนวณอัตราการบำบัดชีโอดี

$$\text{อัตราการบำบัด} = \frac{\text{ชีโอดีเข้า} - \text{ชีโอดีออก}}{\text{เวลากักพักชลศาสตร์}}$$

กำหนด ค่าชีโอดีน้ำเข้า 1,102 มก./ล.  
 ค่าชีโอดีน้ำออก 23 มก./ล.  
 เวลากักพักชลศาสตร์ 24 ชม.  
 หาอัตราการบำบัดชีโอดี (กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน)

$$\begin{aligned} \text{อัตราการบำบัด} &= \left( \frac{1.102 \text{ kg/m}^3 - 0.023 \text{ kg/m}^3}{1 \text{ d}} \right) \\ &= 1.079 \text{ kg-COD/m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

จะได้อัตราการบำบัดชีโอดี 1.709 กก.-ชีโอดี/ลบ.ม./วัน

### ข.-4 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99% ทั้ง 2 ครั้งพบว่า

$$\text{Area of CH}_4 = \left( \frac{19,274,316 + 17,950,445}{2} \right) = 18,612,380.5$$

เช่นที่ความเข้มข้น 5,000 มก.-ชีโอดี/ล. ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Total Area} &= 27,406,900 & \text{Peak\#1 (Air)} &= 7,857,905 \\ \text{Peak\#2 (CH}_4) &= 13,344,393 & \text{Peak\#3 (CO}_2) &= 6,204,602 \end{aligned}$$

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศนี้ถือว่าผลผลิตที่ได้มีเฉพาะก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงคิดแค่เฉพาะพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการคำนวณ จะได้ว่า

$$\% \text{CH}_4 = \left( \frac{13,344,393 \times 99}{18,612,380.5} \right) = 70.98\%$$

$$\% \text{CO}_2 = 100 - \% \text{CH}_4 = 29.02\%$$

ภาคผนวก ก  
ตัวแปรต่างๆในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

## ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม AQUASIM 2.1b

### ค.-1 Variables

COD: Description: Description: Conc. of wastewater

Type: Dyn. Volume State Var.

Unit: mg-COD/L

Relative Accuracy: 1e-006

Absolute Accuracy: 1e-006

---

CODin\_real: Description: Conc. of wastewater

Type: Real list variable

Unit: mg-COD/L

Argument: t

Std. Deviat: global

---

CODout\_real: Description: Conc. of wastewater

Type: Real list variable

Unit: mg-COD/L

Argument: t

Std. Deviat: global

---

ratio\_b\_t: Description: Raotio of biodegradable soluble COD

Type: Formula Variable

Expression: 0.9704

---

ratio\_nb\_t: Description: Raotio of biodegradable non-soluble COD

Type: Formula Variable

Expression: 0.0296

---



k:      Description: Degradation rate constant for SS  
          Type: Formula Variable  
          Unit: 1/d  
          Expression: 0.932

---

b:      Description: Degradation rate constant for microorganism  
          Type: Formula Variable  
          Unit: 1/d  
          Expression: 0.03

---

Q:      Description: Discharge  
          Type: Program Variable  
          Unit: l/d  
          Reference to: Discharge

---

Qin:    Description: Water inflow  
          Type: Formula Variable  
          Unit: l/d  
          Expression: 36

---

t:      Description: Time  
          Type: Program Variable  
          Unit: d  
          Reference to: Time

---

V:      Description: Volume  
          Type: Program Variable  
          Unit: m<sup>3</sup>  
          Reference to: Reactor Volume

---

X:      Description: Microorganism  
          Type: Dyn. Volume State Var.  
          Unit: g-COD/m<sup>3</sup>  
          Relative Accuracy: 1e-006  
          Absolute Accuracy: 1e-006

---

X\_in:    Description: In conc. of microorganism  
          Type: Formula Variable  
          Unit: mg-COD/L  
          Expression: 0

---

X\_ini:   Description: Initial conc. of microorganism  
          Type: Formula Variable  
          Unit: mg-COD/L  
          Expression: 1528

---

Y:      Description: Growth yield  
          Type: Formula Variable  
          Unit: g-CellCOD/g-sCOD  
          Expression: 0.08

---

## 9.-2 Processes

DecayCell: Description: Decay rate of cell

Type: Dynamic Process

Rate:  $b \cdot X$

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

X : -1

---

Degradation: Description: Degradation rate of sCOD

Type: Dynamic Process

Rate:  $k \cdot (\text{COD} - (\text{COD}_{\text{in\_real}} \cdot \text{ratio\_nb\_t})) \cdot X$

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

COD : -1

---

GrowthCell: Description: Growth rate of microorganism

Type: Dynamic Process

Rate:  $k \cdot (\text{COD} - (\text{COD}_{\text{in\_real}} \cdot \text{ratio\_nb\_t})) \cdot X \cdot Y$

Stoichiometry:

Variable : Stoichiometric Coefficient

X : 1

---

### 9.-3 Compartments

AF: Description: Anaerobic Filter

Type: Mixed Reactor Compartment

Compartment Index: 0

Active Variables: COD, X

Active Processes: DecayCell, Degradation, GrowthCell

Initial Conditions:

Variable(Zone) : Initial Condition

X(Bulk Volume) : X\_ini

Inflow: Qin

Loadings:

Variable : Loading

COD : Qin\*CODin\_real

Volume: 36

Accuracies:

Rel. Acc. Q: 0.001

Abs. Acc. Q: 0.001

Rel. Acc. V: 0.001

Abs. Acc. V: 0.001

---

#### ¶.-4 Definitions of Calculations

Calculation: Description:

Calculation Number: 0

Initial Time: 0

Initial State: given, made consistent

Step Size: 1

Num. Steps: 350

Status: active for simulation

inactive for sensitivity analysis

#### ¶.-5 Plot Definitions

COD: Description: COD

Abscissa: Time

Title: COD

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: COD [mg/L]

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

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

Value : CODin\_real [0,AF,Bulk Volume,0]

Value : CODout\_real [0,AF,Bulk Volume,0]

X: Description: Microorganism

Abscissa: Time

Title: Cell

Abscissa Label: time [d]

Ordinate Label: Cell [mg/L]

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

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

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิรินภา สิทธิธรรม เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดชลบุรี เป็นบุตรของ นายพินิจ สิทธิธรรม และนางจงลักษณ์ สิทธิธรรม สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 หลังจบการศึกษา ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตปีการศึกษา 2552 สาขาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2555 ผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ระดับนานาชาติเรื่อง Effect of COD Concentrations on Efficiency of Anaerobic Filter Process ในการประชุมวิชาการ The 4<sup>th</sup> AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment and Seminar of NRCT- JSPS Asian Core Program ระหว่าง วันที่ 18 - 19 มกราคม 2555 ณ โรงแรม ดิ เอ็มเมอร์รัล กรุงเทพมหานคร