

ผลของคลอไรด์ที่มีต่อการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียปิโตรเคมีโดยใช้ระบบยูเอเอสบี



นางสาวณัฐริกา ตันตวงค์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECT OF CHLORIDE ON COD REMOVAL FROM PETROCHEMICAL  
WASTEWATER USING UASB SYSTEM**

**Miss Nattarika Tantiwong**



**สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

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

**(Interdisciplinary Program)**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

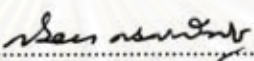
**Academic Year 2007**

**Copyright of Chulalongkorn University**

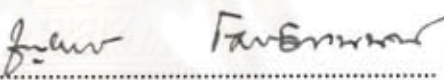
หัวข้อวิทยานิพนธ์      ผลของคลอไรด์ที่มีต่อการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียปิโตรเคมีโดยใช้ระบบ  
ยูเอเอสบี  
โดย                              นางสาวณัฐริกา ตันติวงศ์  
สาขาวิชา                      วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ดิงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานูวิทย์ โฉมจิตานนท์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

  
..... กรรมการ  
(ดร. สรวีศ เผ่าทองสุข)

  
..... กรรมการ  
(ดร. ชนินทร์ ทองธรรมชาติ)

นักธุรกิจ ดันติวงศ์ : ผลของคลอไรด์ที่มีต่อการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียปิโตรเคมีโดยใช้ระบบยูเอเอสบี (EFFECT OF CHLORIDE ON COD REMOVAL FROM PETROCHEMICAL WASTEWATER USING UASB SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา: ศศ.ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล, 168 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของคลอไรด์ต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียปิโตรเคมีโดยใช้ระบบยูเอเอสบี โดยศึกษาผลของการเติมโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณเพิ่มขึ้นที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การทดลองทั้ง 2 ช่วงใช้ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี เหมือนกันจำนวน 3 ถัง การทดลองช่วงที่ 1 มีค่าซีโอดี ที่ความเข้มข้น 1,000, 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การทดลองช่วงที่ 2 ทำการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เท่ากัน ทุกถังปฏิกรณ์

จากผลการทดลอง พบว่า ช่วงการทดลองที่ 1 ค่าซีโอดี ที่ความเข้มข้น 1,000, 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ได้ถึง 88.66, 90.49 และ 89.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนช่วงการทดลองที่ 2 พบว่า เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ตลอดการทดลองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 84.00, 89.44 และ 86.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ดีที่สุดถึง 89.44 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่า เมื่อเดินระบบไปแล้วทั้ง 2 ช่วงการทดลองเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีการรวมตัวกันไม่สมบูรณ์ มีโพรงเกิดขึ้นภายในเซลล์ ส่วนในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดีที่ความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่ที่สุดโดยพิจารณาจากค่า  $D_{50}$  และ  $D_{90}$  เมื่อเทียบกับทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า คลอไรด์จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงระยะเวลาแรกของการเดินระบบเท่านั้น ภายหลังจากเดินระบบได้ 30 วัน พบว่า จุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวได้ ซึ่งสังเกตได้จาก ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ไม่แตกต่างกัน แต่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีความเข้มข้นของซีโอดี 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่ที่สุดและมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีดีที่สุด ดังนั้น ผลของการเติมคลอไรด์จึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เมื่อเดินระบบในระยะยาว

สาขาวิชา..วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....นักธุรกิจ ดันติวงศ์  
ปีการศึกษา.....2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....[ลายมือ]  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4789082020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : UASB / CHLORIDE / GRANULATION / PETROCHEMICAL WASTEWATER

NATTARIKA TANTIWONG : EFFECT OF CHLORIDE ON COD REMOVAL FROM  
PETROCHEMICAL WASTEWATER USING UASB SYSTEM. THESIS ADVISOR :  
ASST. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 168 pp.

This research is to study effect of chloride on removal of COD in petrochemical wastewater using UASB system. The research was divided into 2 experiments. Both experiments using 3 identical UASB reactor. The first experiment used the petrochemical wastewater. It was prepared with varying COD ratios at 1,000, 1,500 and 2,000 mg/l, respectively. The second experiment used the petrochemical wastewater added with sodium chloride (NaCl) to maintain concentration at 600, 1,200 and 2,400 mg/l., respectively.

The results of the first experiment with petrochemical wastewater of COD ratio at 1,000, 1,500 and 2,000 mg/l, it was found that COD removal efficiencies percentile 50 at steady state were 88.66, 90.49 and 89.58 %, respectively. The second experiment with petrochemical wastewater and sodium chloride (NaCl). It was found that COD removal efficiencies percentile 50 were 84.00, 89.44 and 86.54 %, respectively. The UASB system with COD ratios at 1,500 mg/l have the best performance in terms of removal for COD were 89.44 %.

Scanning electron microscope observation of the sludge granule, it was start-up 2 experiments of sludge granule is not absolutely right. It have cavity in cell. Analysis of particle size distribution with  $D_{50}$  and  $D_{90}$  of COD concentration was kept constant at 1,500 mg/l have the greatly for the UASB system.

From the result, it can conclude that the appearance of chloride effect on the efficiency of COD removal and sludge granule formation only during the period of system can adapt themselves which can be seen as the efficiency of COD removal of 3 reactors are closely. Furthermore, in the second reactor, COD concentration is 1,500 mg/l, the size of sludge granule is the biggest and it is the most effecton on COD removal so, it show that chloride is not effect on the efficiency of COD removal when operate system in long period.

Field of study ...Environmental Science .....Student's signature.....

Academic year.....2007.....Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

Nattarika Tantiwong  
Chavalit Rattakul

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการวิจัย และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจและสร้างทัศนคติที่ดีต่อการทำงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ ยังมีส่วนทำให้ข้าพเจ้ามีความมุ่งมั่นในการทำวิจัยนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ ดร.ชรินทร์ ทองธรรมชาติ และ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการร่วมเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณธีรวัฒน์ รักวิจิตรกุล ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเรืองฤทธิ์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายบำบัดน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล จังหวัดสมุทรสาคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณนริศ เปรมธีรสมบูรณ์ ผู้จัดการฝ่ายผลิต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสีย และคุณสุวดี อิศรียอำไพ เจ้าหน้าที่วิศวกรเทคนิค ที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อขอความอนุเคราะห์น้ำเสียและพนักงานขับรถบริษัทไทยโพลีเอทิลีน จำกัด (มหาชน) ที่ขับรถมาส่งน้ำเสียเพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวก ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษาและเรียนรู้สิ่งต่างๆมากมายในระดับมหาบัณฑิต นอกจากนี้ยังเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ขอขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆและน้องๆภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆเรื่อยมาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึง ณ. ที่นี้ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อไพฑูรย์ คุณแม่กาญจนา ดันติวงศ์ และญาติ พี่น้องทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุนและส่งเสริมทางการศึกษา ตลอดจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี.....	4
2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียชีวภาพ.....	8
2.3 กลไกพื้นฐานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	8
2.4 หลักการของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	9
2.5 ความสำคัญของเกลือที่มีผลต่อแบคทีเรีย.....	20
2.6 ความสำคัญของความเค็มในน้ำเสีย.....	21
2.7 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB).....	22
2.8 กระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	29
2.9 สมดุลของมวลชีวโอดีในระบบ UASB.....	33
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 แผนการทดลอง.....	40
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....	41
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	42
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.5 ติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ.....	46

3.6 การเดินและการควบคุมระบบ.....	48
3.7 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	49
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	51
4.1 ผลการวิจัย.....	51
4.2 การศึกษาผลของคลอไรด์ต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	92
4.3 การศึกษาผลของคลอไรด์ต่อขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	96
4.4 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน.....	103
4.5 การกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์.....	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	107
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	108
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก ผลการทดลองช่วงที่ 1.....	114
ภาคผนวก ข ผลการทดลองช่วงที่ 2.....	129
ภาคผนวก ค การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	139
ภาคผนวก ง การหาค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน.....	152
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซ.....	158
ภาคผนวก ฉ การคำนวณสมดุลมวลชีโอดี.....	166
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	168



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	18
2.2 ผลของแอมโมเนียในโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	19
3.1 ลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง.....	41
3.2 ระยะเวลาดำเนินการทดลอง.....	44
3.3 พารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ในการเก็บตัวอย่าง.....	50
4.1 แสดงสัดส่วนของก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1 .....	67
4.2 ค่า % COD recovery ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของการทดลองช่วงที่ 1.....	70
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีการทดลองช่วงที่ 2.....	83
4.4 แสดงสัดส่วนของก๊าซชีวภาพ การทดลองช่วงที่ 2 .....	88
4.5 ค่า % COD recovery ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของการทดลองช่วงที่ 2.....	91
4.6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	97
ก.1 พีเอชของการทดลองช่วงที่ 1.....	114
ก.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1.....	116
ก.3 สภาพค่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1.....	118
ก.4 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1.....	119
ก.5 ของแข็งทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1.....	120
ก.6 ของแข็งละลายของการทดลองช่วงที่ 1.....	121
ก.7 ซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1.....	122
ก.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของการทดลองช่วงที่ 1.....	123
ก.9 คลอไรด์ของการทดลองช่วงที่ 1.....	125
ก.10 ปริมาณเอทานอลของการทดลองช่วงที่ 1.....	126
ก.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 1.....	128
ข.1 พีเอชของการทดลองช่วงที่ 2.....	129
ข.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2.....	130
ข.3 สภาพค่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2.....	131
ข.4 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2.....	131
ข.5 ของแข็งทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2.....	132
ข.6 ของแข็งละลายของการทดลองช่วงที่ 2.....	133

ข.7 ซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2.....	134
ข.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2.....	135
ข.9 คลอไรด์ของการทดลองที่ 2.....	136
ข.10 ปริมาณเอทานอลของการทดลองที่ 2.....	137
ข.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองช่วงที่ 2.....	137
ข.12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหย (MLVSS) ของจุลินทรีย์ในระบบตลอดการทดลอง.....	138
ง.1 ค่า Conversion Factor (CF) ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	154
ง.2 ข้อมูลดิบของปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลองของตะกอน จุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ.....	155
ง.3 ค่า Specific Methanogenic Activity (SMA) ตลอดการทดลอง.....	157



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะทั่วไปของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี.....	7
2.2 ปฏิกริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย.....	9
2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นก๊าซมีเทนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	10
2.4 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี.....	23
2.5 ลักษณะของการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	24
2.6 โครงสร้างของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียกลูโคส...27	27
2.7 โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต.....	28
2.8 บทบาทของประจุไฟฟ้าและ ECP ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย.....	29
2.9 กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆที่มีผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย.....	30
2.10 กลไกการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์ โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์.....	31
2.11 การเพิ่มขึ้นของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์และอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดเมื่อดตะกอนในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....	32
3.1 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองเดินระบบ.....	42
3.2 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....	45
3.3 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	46
3.4 น้ำเสียในถังพักน้ำเข้าระบบ.....	47
3.5 น้ำทิ้งไหลออกจากระบบด้านบน.....	47
4.1 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 1.....	51
4.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1.....	53
4.3 สภาพค้างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1.....	55
4.4 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1.....	56
4.5 ของแข็งทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1.....	58
4.6 ของแข็งละลายของการทดลองช่วงที่ 1.....	59
4.7 ซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 1.....	61
4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 1.....	62
4.9 คลอไรด์ของการทดลองช่วงที่ 1.....	63

4.10 ปริมาณเอทานอลของการทดลองช่วงที่ 1.....	65
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอลของการทดลองช่วงที่ 1.....	66
4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 1.....	67
4.13 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดของช่วงการทดลองที่ 1.....	68
4.14 ค่าพีเอชของการทดลองช่วงที่ 2.....	71
4.15 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2.....	73
4.16 สภาพต่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2.....	75
4.17 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2.....	76
4.18 ของแข็งทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2.....	78
4.19 ของแข็งละลายของการทดลองช่วงที่ 2.....	80
4.20 ซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2.....	82
4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการทดลองช่วงที่ 2.....	83
4.22 คลอไรด์ของการทดลองช่วงที่ 2.....	84
4.23 ปริมาณเอทานอลของการทดลองช่วงที่ 2.....	86
4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอลของการทดลองช่วงที่ 2.....	87
4.25 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2.....	88
4.26 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดของช่วงการทดลองที่ 2.....	89
4.27 ภาพถ่ายเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ช่วงเริ่มต้นระบบ.....	92
4.28 ภาพถ่ายเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ของการทดลองช่วงที่ 1.....	94
4.29 ภาพถ่ายเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ของการทดลองช่วงที่ 2.....	95
4.30 ขนาดของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นระบบและการทดลองช่วงที่ 1.....	98
4.31 ขนาดของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ การทดลองช่วงที่ 2 NaCl 600 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	99
4.32 ขนาดของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ การทดลองช่วงที่ 2 NaCl 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	100
4.33 ขนาดของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ การทดลองช่วงที่ 2 NaCl 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	101
4.34 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA)....	103
4.35 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสพีตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์.....	105
ค.1 การกระจายขนาดของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ.....	139
ค.2 การกระจายขนาดของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองช่วงที่ 1.....	140



- จ.5 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography การทดลองช่วงที่ 2.....162
- จ.6 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 1  
มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองช่วงที่ 2.....163
- จ.7 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 2  
มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองช่วงที่ 2.....164
- จ.8 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 3  
มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองช่วงที่ 2.....165



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญมากประเภทหนึ่ง ในอดีตการสำรวจพบแหล่งก๊าซธรรมชาติเป็นครั้งแรกที่หลุมก๊าซเอราวัณในอ่าวไทยเมื่อปี พ.ศ.2513 เป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้รับการพัฒนาขึ้นมาในประเทศไทยอย่างจริงจัง ในปี พ.ศ.2524 โรงแยกก๊าซธรรมชาติแห่งแรกในประเทศไทยได้ก่อสร้างขึ้นเสร็จสมบูรณ์และเริ่มปฏิบัติการภายใต้การดำเนินงานของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยและในปีเดียวกัน บริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติจำกัด (NPC) ก็ได้รับการก่อตั้งขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อรับวัตถุดิบก๊าซธรรมชาติจากโรงแยกก๊าซนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีประเภทต่างๆ

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานที่เป็นเครือข่ายของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น โรงงานผลิตเรซินพลาสติก PE, PP, PVC ได้รับการก่อสร้างขึ้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว และโรงงานผลิตเรซินประเภทอื่นๆกำลังอยู่ในโครงการก่อสร้างอีกมากมาย อุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบครบวงจรกำลังได้รับการพัฒนาขึ้นมาในประเทศไทยพร้อมกับคำว่า “อุตสาหกรรมปิโตรเคมี” และกลายมาเป็นคำที่คุ้นเคยกันดีของคนไทยโดยทั่วไป นอกจากนั้นอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอื่นๆยังเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับประเทศไทย เนื่องจากเป็นพื้นฐานของอุตสาหกรรมต่อเนื่องจำนวนมากอีกทั้งยังเป็นแหล่งที่มาของผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นอีกหลายประเภทและในปัจจุบันอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศไทยกำลังเติบโตและได้รับการส่งเสริมพัฒนาจากหลายฝ่ายเพื่อให้ก้าวขึ้นสู่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีระดับสากล แต่อุตสาหกรรมประเภทนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านปัญหาน้ำเสียตามมา โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีคุณภาพน้ำทางเคมีสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535) มาก และอุตสาหกรรมประเภทนี้ส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนในการบำบัดมากกว่าเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ออกมาพร้อมกับน้ำเสียสามารถระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เมื่อมีการเติมออกซิเจนให้แก่ระบบซึ่งอาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ นอกจากนี้อุตสาหกรรมประเภทนี้มักก่อตั้งอยู่ใกล้กับทะเลเพราะสะดวกต่อการขนส่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไปยังเครือข่ายอื่นๆได้ง่ายแต่ก็ยังคงส่งผลให้เกิดมลภาวะอื่นๆตามมาเนื่องจากน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีคลอรีนสูงซึ่งประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนส่วนใหญ่ไม่สามารถบำบัดคลอรีนได้ดี

เท่าที่ควร ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะนำเอาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาทดลองบำบัดน้ำเสียดังกล่าว

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ต่างๆมาทำการย่อยสลายเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ต่างๆในน้ำเสียไปอยู่ในรูปอื่น ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพสามารถแยกออกได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนและระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อใช้ในการทดลองวิจัยดังกล่าว โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ได้รับความนิยมสูงในต่างประเทศและได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ให้ใช้ได้กับน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท ซึ่งระบบยูเอเอสบีนี้เป็นระบบจุลินทรีย์แขวนลอยโดยตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์จะถูกเลี้ยงให้จับตัวเป็นเม็ดๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-5 มิลลิเมตร และสามารถตกตะกอนได้ดีส่งผลให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้สูง และเพื่อให้ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีจึงจำเป็นต้องมีการสร้างให้จุลินทรีย์รวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอน (Granules) ซึ่งการสร้างเม็ดตะกอนต้องใช้เวลาานถึง 3-6 เดือน โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จึงมักซื้อเม็ดตะกอนจากแหล่งอื่นมาใช้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนขึ้นเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของคลอไรด์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของคลอไรด์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและจะใช้ถังปฏิกรณ์จำลองระบบยูเอเอสบีลักษณะเหมือนกัน 3 ชุด โดยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจะมีส่วนย่อยสลายทำจากท่ออะคริลิกใสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร สูง 2 เมตร ปริมาตร 4 ลิตร ทำการติดตั้งและเดินระบบบริเวณริมระเบียงชั้น 17 อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขั้นตอนดำเนินการทดลอง ดังนี้



ในการทดลองนี้เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี  
ชั้นกลางและเดินระบบต่อเนื่อง อัตราการสูบน้ำเข้าระบบ 5 ลิตรต่อวัน ระยะเวลา  
กักเก็บ 20 ชั่วโมง โดยการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง โดยทำการศึกษาลักษณะทาง  
กายภาพและชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ได้แก่ ลักษณะตะกอน โครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์  
การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน และ  
ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทั้ง 2 ช่วงการทดลอง

โดย ช่วงการทดลองที่ 1 เดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 120 วัน โดยแต่ละถังปฏิกรณ์มี  
ค่าซีไอดีที่เติมให้แก่ระบบ ดังนี้

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

ช่วงการทดลองที่ 2 เดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 45 วัน โดยแต่ละถังปฏิกรณ์จะเติม  
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้แก่ระบบเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ในปริมาณที่เท่ากัน โดยเติมตาม  
ระยะเวลา ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 600 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

สัปดาห์ที่ 2 และ 3 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

สัปดาห์ที่ 4 และ 5 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงผลของคลอไรด์ที่มีผลต่อการกำจัดซีไอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม  
ปิโตรเคมี

1.4.2 ทราบถึงผลของคลอไรด์ที่มีผลต่อกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ  
บำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

1.4.3 ทราบถึงค่าซีไอดีที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยระบบ  
บำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

1.4.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียจาก  
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.5 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประยุกต์ใช้  
ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

##### 2.1.1 อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

อุตสาหกรรมปิโตรเคมี คือ อุตสาหกรรมทั้งกระบวนการที่ประกอบด้วยกลุ่มอุตสาหกรรม 3 ส่วนใหญ่ๆตามขั้นตอนการผลิต ดังนี้

ส่วนที่ 1 เรียกว่า อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น ทำหน้าที่ผลิตสารปิโตรเคมีขั้นต้นจากวัตถุดิบตั้งต้นซึ่งอาจเป็นก๊าซธรรมชาติ ปิโตรเลียม นาฟธา หรือ LPG นอกจากนั้น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นแบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มไฮโดรคาร์บอน ตระกูลโอเลฟินส์ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลต่อเรียงกันเป็นรูปลูกโซ่ ได้แก่ เอทิลีน โพรไพลีน และบิวทาไดอิน อีกกลุ่มหนึ่งคือไฮโดรคาร์บอนตระกูลอะโรแมติกส์ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นรูปวงแหวนหรือรูปหลังเต่า ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน และไซลีนส์

ส่วนที่ 2 เรียกว่า อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง ทำหน้าที่รับสารปิโตรเคมีขั้นต้นอัน ได้แก่ โอเลฟินส์และอะโรแมติกส์จะถูกนำไปผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อผลิตเป็นสารปิโตรเคมีขั้นกลาง เช่น เรซินสังเคราะห์ พลาสติกชนิดต่างๆ เส้นใยสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ วัตถุบิสและตัวทำละลาย เป็นต้น

ส่วนที่ 3 เรียกว่า อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย ทำหน้าที่รับสารปิโตรเคมีขั้นกลางอัน ได้แก่ เรซินต่างๆ เส้นใยสังเคราะห์และยางสังเคราะห์ ที่ได้กล่าวมาแล้วมาแปรรูปโดยผ่านกระบวนการอุตสาหกรรมขึ้นรูปพลาสติกหรืออุตสาหกรรมยางหรืออุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่เราใช้อยู่ในปัจจุบัน

##### 2.1.2 วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้เริ่มต้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1920 โดยบริษัท Standard Oil Co., New Jersey ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำเอาโพรไพลีนมาทำปฏิกิริยาการเติมน้ำ (hydration) เพื่อผลิต iso - propanol อุตสาหกรรมปิโตรเคมีของโลกมีวิวัฒนาการซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ยุคกำเนิด เริ่มจากปี ค.ศ. 1920 ถึงประมาณปี ค.ศ. 1940 หรือก่อนสงครามโลกครั้งที่สองเริ่มต้น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีในยุคนี้ ส่วนใหญ่เป็นการผลิตสารปิโตรเคมีที่

มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบโดยใช้กระบวนการง่ายๆ เช่น การผลิตคีโตน (ketone) โดยนำสารประกอบโอเลฟินส์มาทำปฏิกิริยาการเติมน้ำ (hydration) ได้แอลกอฮอล์ แล้วนำแอลกอฮอล์นี้ไปทำปฏิกิริยาไลโซโครเจน (dehydrogenation) ก็จะได้คีโตนและการผลิตสารประกอบประเภทโอเลฟินส์ออกไซด์จากกรดไฮเปอร์คลอรัส เป็นต้น โอเลฟินส์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในยุคนี้เป็นก๊าซส่วนเกิน (by – product gas) ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันและกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (thermal cracking) ขนาดเล็กๆ หลังจากนั้น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็เริ่มต้นขยายตัวไปสู่การผลิตสารตัวทำละลายสี่เป็นหลัก

**ระยะที่ 2 ยุครุ่งเรือง** ระหว่างปี ค.ศ. 1940 – 1955 สงครามโลกครั้งที่สองได้ทำให้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีของสหรัฐอเมริกาเจริญรุ่งเรืองขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงสงครามมีความต้องการวัสดุเพื่อการผลิตยุทธภัณฑ์ปริมาณมากซึ่งทำให้ระบบการผลิตแบบปริมาณมาก (mass production) และเทคนิคการผลิตใหม่ๆ ได้รับการคิดค้นพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็ว มีโรงงานปิโตรเคมีขนาดใหญ่ได้รับการสร้างขึ้นเป็นจำนวนมากซึ่งได้สะสมเทคโนโลยีให้แก่อุตสาหกรรมในยุคถัดมา ยุคนี้สิ้นสุดลงประมาณคริสต์ทศวรรษ 1950

**ระยะที่ 3 ยุคผลิตภัณฑ์หลากหลาย** ยุคนี้เริ่มต้นจากครึ่งหลังของคริสต์ทศวรรษ 1950 ได้มีการค้นพบวิธีการผลิต เบนซีน โทลูอิน ไซลีนส์ จากปิโตรเลียมและสามารถพัฒนาถึงระดับการผลิตเชิงอุตสาหกรรมซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีปริมาณมาก ในอดีต สารเหล่านี้เป็นวัตถุดิบสำคัญที่ได้มาจากอุตสาหกรรมถ่านหิน ในระยะต่อมา ได้มีการพัฒนาเทคนิคการผลิตสารประกอบประเภท โอเลฟินส์ (โดยเฉพาะเอทิลีน) จากนาฟธา ด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องซึ่งทำให้สามารถใช้วิธีการผลิตแบบปริมาณมากและทำให้ต้นทุนต่ำซึ่งมีความสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีดังกล่าวรวมทั้ง อะโรแมติกส์ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายยิ่งกว่านั้นเทคนิคดังกล่าวยังทำให้ประเทศที่ไม่มีแหล่งทรัพยากรปิโตรเลียมหรือก๊าซธรรมชาติ เช่น ญี่ปุ่นและยุโรปก็สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีจากนาฟธาได้ปริมาณมากๆด้วยต้นทุนต่ำ

ปัจจุบันพบว่า อุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้รับการก่อตั้งขึ้นทั้งในประเทศที่มีวัตถุดิบประเภทปิโตรเลียมหรือก๊าซธรรมชาติ เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ซาอุดีอาระเบีย และในประเทศที่ไม่มีวัตถุดิบดังกล่าว เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป สิงคโปร์ เป็นต้น ประเทศในกลุ่มแรกจะใช้ปิโตรเลียม (น้ำมันดิบ) หรือก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก ขณะที่ประเทศในกลุ่มหลังจะใช้นาฟธาเป็นวัตถุดิบหลัก ด้วยเหตุผลด้านราคาและความสะดวกในการขนส่ง

ผลจากการที่อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้เติบโตใหญ่ขยายตัวและแพร่หลายยังประเทศต่างๆทั่วโลกทำให้มีการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆขึ้นเป็นจำนวนมากดังที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบันนี้ ผลิตภัณฑ์ ปิโตรเคมีเป็นสิ่งที่ขาดเสียมิได้ในสังคมมนุษย์ในปัจจุบัน โดยเฉพาะพลาสติกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีชั้นกลางได้รับการใช้งานเป็นวัสดุสำหรับผลิตสินค้าต่างๆอย่างแพร่หลาย

ในขณะเดียวกัน การบริโภคก็ขยายตัวอย่างรวดเร็วและกว้างขวางพร้อมกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นตามที่ต่างๆทั่วโลก

### 2.1.3 ลักษณะทั่วไปของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

การสร้างอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขึ้นมานั้นจำเป็นต้องสร้างให้เป็นเครือข่ายอุตสาหกรรมที่เรียกว่าคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมี (Petrochemical Complex) ขึ้นมา ซึ่งโรงงานในคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีสามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

**กลุ่มที่ 1** เป็นโรงงานสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างของโมเลกุลอย่างง่าย ๆ ได้แก่ เอทิลีน (ethylene) โพรพิลีน (propylene) บิวทาไดอีน (butadiene) ซึ่งเรียกรวมกันว่า โอลิฟินส์ และ เบนซีน (benzene) โทลูอีน (toluene) และไซลีนส์ (xylenes) เรียกรวมกันว่า อะโรแมติกส์

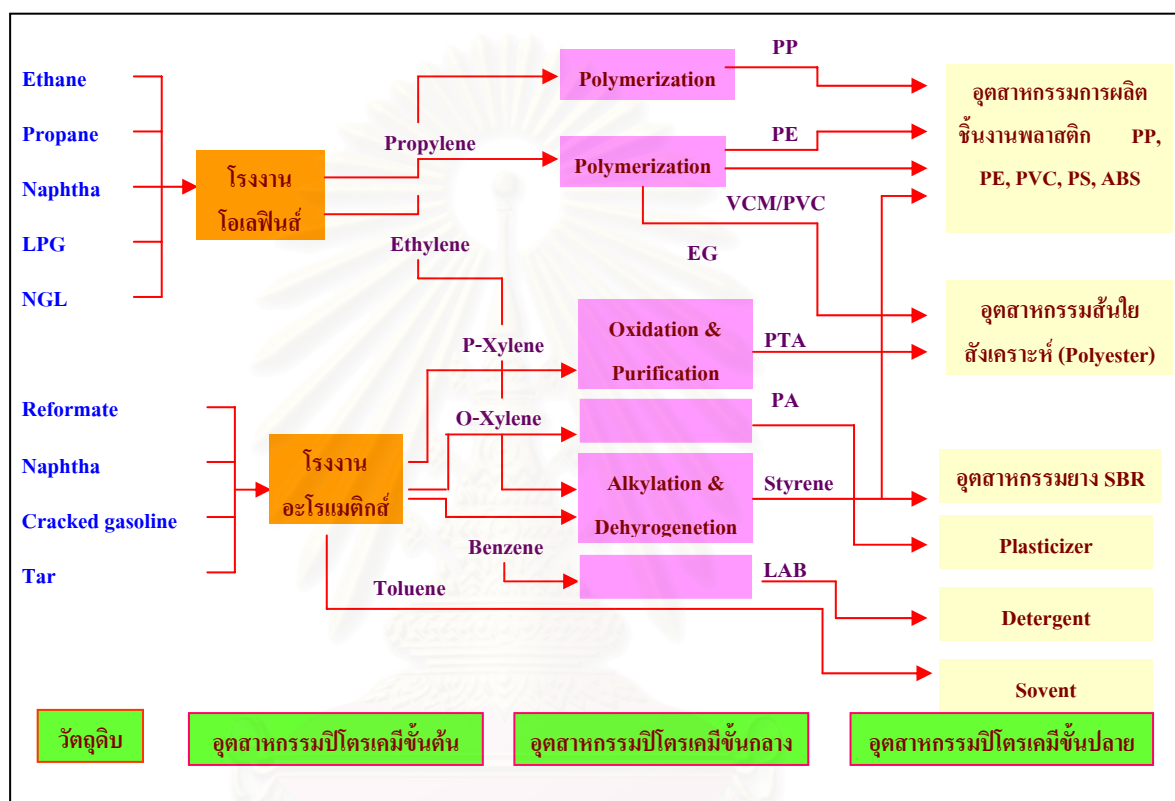
โดยทั่วไปนิยมใช้ก๊าซธรรมชาติหรือปิโตรเลียม หรือนาฟธา (naphtha) เป็นวัตถุดิบ ในบางครั้งอาจเรียกโรงงานส่วนนี้ว่า โรงงานโอลิฟินส์ และ/หรือ โรงงานอะโรแมติกส์

**กลุ่มที่ 2** โรงงานในกลุ่มนี้จะใช้วัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นจากกลุ่มที่ 1 เป็นวัตถุดิบแล้วนำไปทำปฏิกิริยา polymerization เพื่อผลิต ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้แก่ เรซินสังเคราะห์ (synthetic resins) หรือพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางนี้จะถูกส่งออกมาสู่โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายที่อยู่นอกคอมเพล็กซ์เพื่อนำไปใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆต่อไป

ดังนั้น เพื่อให้การป้อนวัตถุดิบและรับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ระหว่างโรงงานในคอมเพล็กซ์เป็นไปได้โดยสะดวกรวดเร็วและปลอดภัย โรงงานทั้งสองกลุ่มนี้จึงต้องอยู่ในทำเลใกล้เคียงกันและอยู่ใกล้กับโรงงานแยกก๊าซธรรมชาติหรือโรงกลั่นน้ำมันเพราะวัตถุดิบตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นส่วนมากอยู่ในสภาพของเหลวหรือก๊าซ เมื่อสร้างโรงงานดังกล่าวให้อยู่ใกล้เคียงกันแล้วก็จะสามารถป้อนและรับวัตถุดิบให้แก่กันได้โดยตรงโดยการต่อท่อเชื่อมระหว่างโรงงาน นอกจากนี้ ในการเดินเครื่องอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิตจะต้องใช้ไฟฟ้า ไอน้ำ และสาธารณูปโภคอื่นๆในปริมาณมากจึงมักสร้างสถานีผลิตไฟฟ้าและไอน้ำร่วมกัน (cogeneration plant) ไว้ภายในคอมเพล็กซ์ด้วย โรงงานเหล่านี้จึงประกอบกันขึ้นเป็นเครือข่ายที่เรียกว่าคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมี

การสร้างคอมเพล็กซ์ปิโตรเคมีจะต้องมีเงื่อนไขรองรับอย่างน้อย 3 ประการดังต่อไปนี้

- 1) มีพื้นที่ขนาดใหญ่
- 2) มีหลักประกันด้านแหล่งน้ำใช้ในโรงงานอย่างเพียงพอ
- 3) มีพื้นที่ติดทะเลเพื่อความสะดวกในการขนถ่ายวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ปฏิกิริยา Polymerization และ Copolymerization คือการทำให้สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (เรียกว่าโมโนเมอร์ = monomer) เรียงตัวต่อเข้าด้วยกันกลายเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น (เรียกว่าโพลิเมอร์ = polymer) เช่น โพลีเอทิลีนเป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา polymerization ของโมโนเมอร์เอทิลีนหลายๆตัว

กรณีที่ใช้โมโนเมอร์ต่างชนิดกันมาต่อผสมกันผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า โคโพลิเมอร์ เช่น ABS เป็นโคโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ 3 ชนิด คือ acrylonitrile, butadiene และ styrene

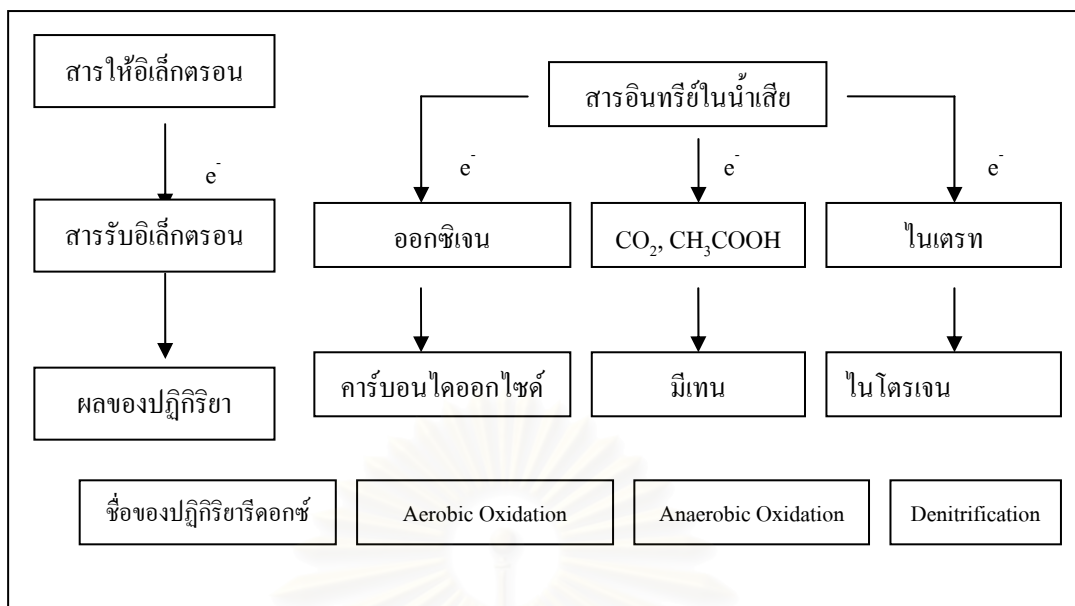
## 2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แบ่งออกเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) และแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็น  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  และ  $\text{H}_2\text{S}$  เช่น ในกระบวนการย่อยไร้ออกซิเจน ถึงกรองไร้อากาศ ระบบยูเอเอสบี เป็นต้น ส่วนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  เช่น ในกระบวนการเอเอส ระบบฟิล์มตรึง ระบบโปรยกรอง เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั้งแบบไม่ใช้ออกซิเจนและแบบใช้ออกซิเจน โดยการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีและการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนจะใช้ระบบบำบัดแบบเอสปีอาร์ซึ่งเป็นกระบวนการเอเอสประเภทหนึ่ง

## 2.3 กลไกพื้นฐานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

กลไกพื้นฐานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพไม่ว่าจะเป็นกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน ล้วนแต่มีกลไกพื้นฐานร่วมกัน คือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชันหรือเรียกว่าปฏิกิริยารีด็อกซ์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้อิเล็กตรอน (Electron donor) และสารรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ซึ่งสารให้อิเล็กตรอนในน้ำเสียจะเป็นสารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสียซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนและให้พลังงานกับจุลินทรีย์สูง นอกจากนั้นยังมีสารอื่นที่อยู่ในน้ำจะเป็นสารรับอิเล็กตรอนอีกด้วยขึ้นอยู่กับประเภทของสารรับอิเล็กตรอน เช่น ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาก็เป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก ถ้าสารรับอิเล็กตรอนไม่ใช้ออกซิเจนแต่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนเตรทหรือซัลเฟตปฏิกิริยาก็จะเป็นแบบไร้ออกซิเจนหรือแอนแอโรบิก

ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ชนิดของสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายจะสามารถจำแนกกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆที่เกิดขึ้นได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542)

#### 2.4 หลักการของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

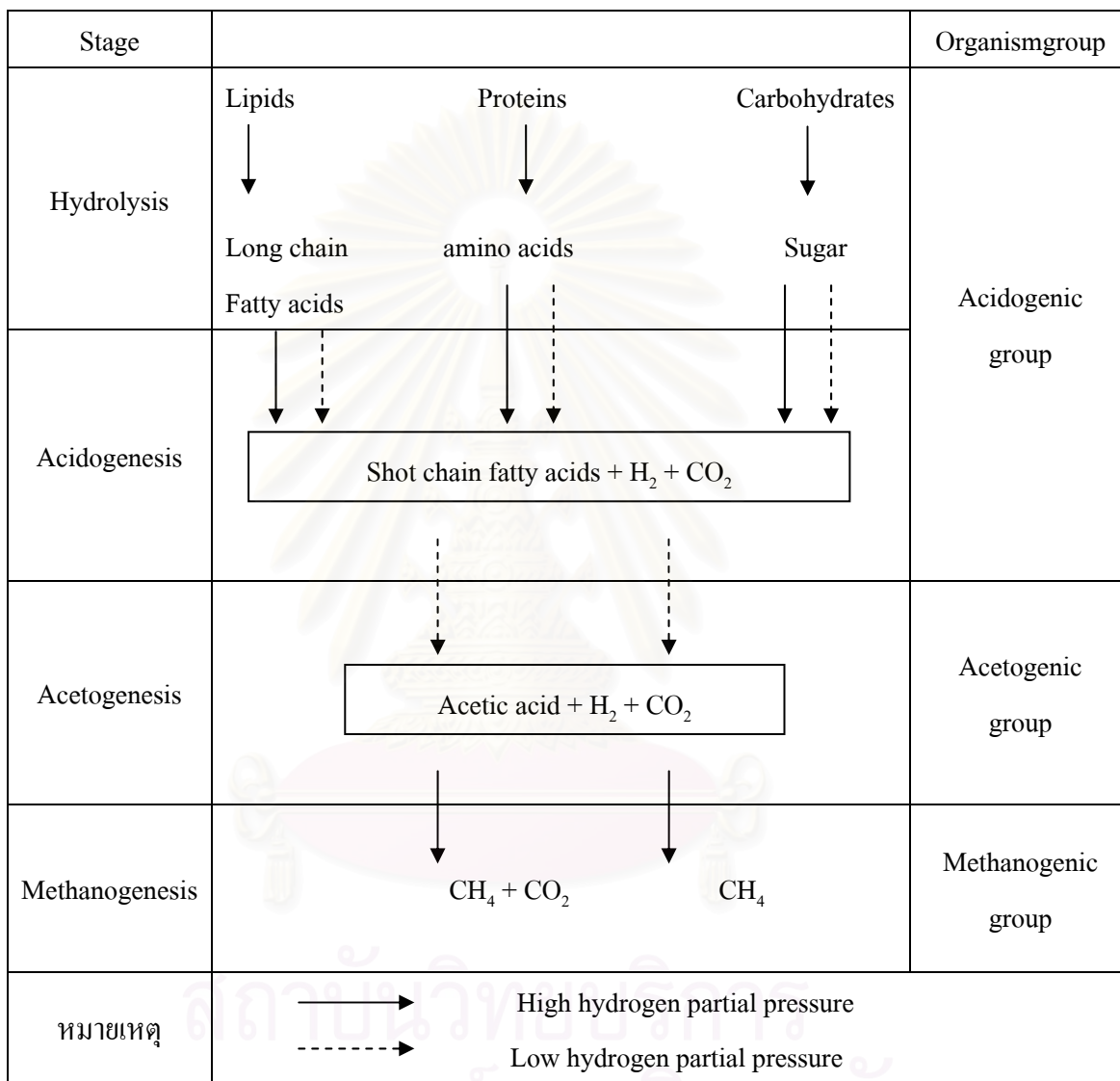
กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ การบำบัดตะกอนสลัดจ์หรือสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนสารอินทรีย์ (อาจเป็นจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใดๆก็ได้) และการบำบัดน้ำเสียเมื่อพิจารณาด้านการบำบัดตะกอนสลัดจ์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงเป็นส่วนหนึ่งที่เป็นของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่วนการบำบัดน้ำเสียนั้น กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ช่วยลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลงก่อนส่งต่อไปยังกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนทำการบำบัดสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ช่วยประหยัดพลังงานและสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้มาก

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังมีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอย่างเด่นชัดหลายประการ ดังนี้

- ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยา
- มีอัตราการสร้างตะกอนสลัดจ์ต่ำมาก
- ไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยได้
- มีเสถียรภาพในการทำงานของระบบต่ำ
- ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ
- แยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำออก (Effluent) ไม่ค่อยได้

### 2.4.1 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Step of organic decomposition)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน โดยอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกัน โดยในแต่ละขั้นตอนจะอาศัยกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นก๊าซมีเทนโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Sam-Soon, 1990 อ้างถึงในภูคำ พิมจักร, 2546)



### ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ขั้นตอนไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) นี้เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก ขั้นตอนนี้จะเป็นการทำให้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีลักษณะซับซ้อนที่ละลายและไม่ละลายในน้ำเสียให้ละลายในน้ำเสียและถูกย่อยสลายเป็นโมเลกุลอย่างง่ายโดยใช้เอนไซม์ที่แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งผลิตและส่งออกภายนอกเซลล์ โดยสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลอย่างง่ายที่ได้จะเป็นน้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียในรูปของซีโอดีหรือบีโอดีจะไม่ได้ลดลงเลยเมื่อเทียบกับน้ำเสียก่อนผ่านขั้นตอนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้เพราะขั้นตอนนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลซับซ้อนไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลอย่างง่ายเท่านั้น

### ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

ขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลอย่างง่ายจากขั้นตอนที่ 1 มาเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจน เรียกว่า กระบวนการสร้างกรด (Acidogenic step) ซึ่งเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Fermentative bacteria หรือ Acid forming bacteria กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างกรดนี้มีอยู่หลายชนิด คือ Acetic acid, Propionic acid, Butyric acid, Valeric acid แบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสำคัญมากและเป็นกลุ่มหลัก ในขั้นตอนนี้อาจเรียกรวมว่า Acid forming bacteria หรือ Acidogen ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ (Fermentative bacteria)

### ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติกเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น Propionic acid, Lactic acid และอื่นๆ ให้เป็นกรดอะซิติก โดยแบคทีเรียกลุ่ม Homogenic bacteria โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะเป็น Facultative bacteria ซึ่งแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยและขั้นตอนการสร้างมีเทน คือ กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 จะเป็นสารอาหารให้แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic) แต่เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทริก กรดโพรไพโอนิกเป็นสารอาหารได้จึงต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกทำการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ต่อไป

### ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

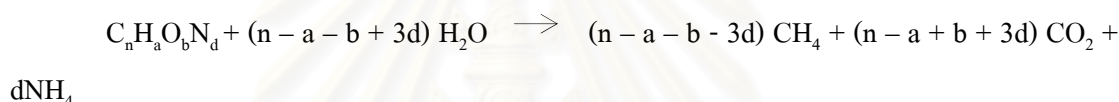
ขั้นตอนการสร้างมีเทนเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (Methane gas) โดยแบคทีเรียกลุ่มที่สำคัญที่สุดในขั้นตอนนี้ คือ Methanogenic bacteria แบคทีเรีย

ในกลุ่มนี้มีความสำคัญมากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพราะแบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติกไปเป็นก๊าซมีเทน และเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic bacteria) คือ Methanogenic bacteria จะเจริญเติบโตได้ดีและเปลี่ยนกรดอะซิติก (Acetic acid) ไปเป็นก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น หากมีออกซิเจนอิสระในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยก็อาจจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต่ำลงทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาลดลงด้วย

#### 2.4.2 กระบวนการทางชีวเคมีในการสร้างก๊าซมีเทน

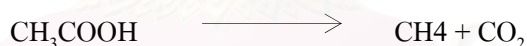
สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะถูกแบคทีเรียหลายๆกลุ่มในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำการย่อยสลายให้เป็นก๊าซมีเทนกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ก๊าซมีเทน ประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1) แบคทีเรียในกลุ่มที่เจริญเติบโตในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Obligate anaerobic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนกรดอินทรีย์โดยเฉพาะกรดอะซิติก (Acetic acid) ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ



แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตและผลิตก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเรียกว่า Methanogenic bacteria หากมีออกซิเจนอยู่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะตาย นอกจากนี้ แบคทีเรียในกลุ่มนี้ยังมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำมากเมื่อเทียบกับแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนทั่วไป โดยอัตราการเพิ่มจำนวนจะต่ำกว่าแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) ถึง 5 – 8 เท่า โดยอัตราเร็วในการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (Doubling time) ของแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria) จะยาว 3 – 5 วัน

2) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen producing bacteria) โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะสร้างก๊าซไฮโดรเจนและพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังสมการ



และก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากสมการข้างต้นจะใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ดังสมการ



ปฏิกิริยาการรวมตัวของ  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2$  ให้ได้ก๊าซมีเทนจะได้พลังงานสูงกว่าปฏิกิริยาที่กรดอินทรีย์ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น แบคทีเรียชอบที่จะใช้ก๊าซไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าจึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบก๊าซไฮโดรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาจะพบเพียงก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบก๊าซมีเทนประมาณ 60 – 70 % หากพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซผสมมีค่าต่ำกว่า 50% แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาน่าจะมีปัญหาเกี่ยวกับกลุ่มของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนดังกล่าว นอกจากนี้ ยังมีแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ อีกที่เจริญเติบโตอยู่ในน้ำเสียในระหว่างการสร้างก๊าซมีเทน (Methane producing step) คือ แบคทีเรียในกลุ่ม Sulfur reducing bacteria โดยที่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะนำสารประกอบซัลเฟตไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตและผลิตก๊าซ  $\text{H}_2\text{S}$  ขึ้นมาในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาทำให้น้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียมีกลิ่นเหม็น ส่วนน้ำเสียที่มีสารประกอบไนเตรทสูงก็สามารถกระตุ้นให้ระบบในช่วงการผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing step) มีแบคทีเรียในกลุ่ม Denitrification bacteria เกิดขึ้นด้วยแต่แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะเป็นพวก Facultative bacteria ดังนั้น แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะถูกกระตุ้นให้มากขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อระบบบำบัดน้ำเสียจะต้องไม่มีสภาพที่ไร้ออกซิเจนสมบูรณ์ (Non – Strictly anaerobic condition) และปริมาณสารอินทรีย์ในระบบไม่สูงนัก

#### 2.4.3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่ซับซ้อนมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ร่วมกันมากมายหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์เหล่านี้มีทั้งพึ่งพาและแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปเนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มต่อกันซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งโดยกลุ่มจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้โดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มซึ่งใช้สารอาหารชนิดเดียวกันก็จะเป็นความสัมพันธ์แบบแข่งขันกัน จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ร่วมกันนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์หรือซัลไฟด์ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ที่มีในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใดและถูกใช้ในสัดส่วนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเด่นหรือมีบทบาทมากที่สุดในระบบ เมื่อพิจารณาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบคทีเรียที่โดดเด่น คือ กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานร่วมกัน โดยผลิตภัณฑ์หลักของระบบคือ ก๊าซมีเทน

แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

### 1) กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด (Acid forming bacteria)

แบคทีเรียสร้างกรดจัดเป็น Facultative Anaerobic Bacteria ซึ่งไม่ต้องการออกซิเจนอิสระแต่สามารถทนได้ถ้ามีปริมาณน้อยๆแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงจะเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) แบคทีเรียกลุ่มนี้มักพบในน้ำเสียทั่วไป เช่น *Clostridium* และ Coliform Bacteria กลุ่มแบคทีเรียผู้นี้จะทำการย่อยสลายสารเหล่านี้ให้มีโมเลกุลเล็กลงโดยการปล่อยเอนไซม์ออกมาจากเซลล์ ซึ่งเอนไซม์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับประเภทของสารที่จะถูกย่อย หลังจากนั้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กเหล่านี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียแล้วถูกย่อยต่อไปให้เป็นกรดไขมันระเหย พร้อมทั้งมีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นด้วยกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในขั้นแรกนี้ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และกรดโพรไพโอนิกเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ถ้าหากสภาพต่าง (Alkalinity) ไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.4 ซึ่งจะส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง

### 2) กลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Forming Bacteria)

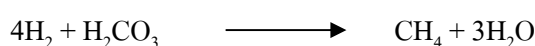
แบคทีเรียสร้างมีเทนจัดเป็นพวก Obligate Anaerobic Bacteria จะดำรงชีวิตอยู่ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน ถ้ามีเพียงเล็กน้อยก็จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ส่งผลให้การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่มีประสิทธิภาพ คือ ไม่มีการสร้างก๊าซมีเทนแทนกรดไขมันระเหย แบคทีเรียกลุ่มนี้พบได้ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือที่อับอากาศ เช่น ดินเลนจากก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ได้แก่ พวก Methanobacterium, Methanosarcina และ Methanococcus โดยจะทำหน้าที่ย่อยกรดไขมันระเหยและแอลกอฮอล์จากการย่อยในขั้นตอนแรกเพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

- Obligate Acetoclastic Methanogen สามารถใช้กรดอะซิติกได้เพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการด้านล่าง



- Obligate Hydrogenotrophic Methanogen ( $\text{H}_2$  – utilizer) เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้ โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการด้านล่าง



- Hydrogenotrophic / Acetoclastic Methanogen เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจน แต่จะชอบใช้ไฮโดรเจนมากกว่า

แบคทีเรียพวกสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงที่มีพีเอชแคบประมาณ 6.8 – 7.2 และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งมักจะมีอัตราการเจริญเติบโต

จำเพาะต่ำ (Specific Growth Rate) ทำให้ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้ช้าและมักเป็นขั้นตอนในการจำกัดอัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

#### 2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

##### 1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ มีอิทธิพลอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแบคทีเรียแต่ละกลุ่มในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีความต้องการสถานะอุณหภูมิและระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันในการดำรงชีวิต ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียได้ดังนี้

- Psychophilic range           มีช่วงอุณหภูมิ 5-15 องศาเซลเซียส
- Mesophilic range           มีช่วงอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส
- Thermophilic range       มีช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส

ดังนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ในช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) แต่โดยทั่วไปในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) เนื่องจากในช่วงนี้จะใช้พลังงานค่อนข้างน้อยและจุลินทรีย์พวกเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่า ส่วนช่วงไซโคฟิลิก (Psychophilic) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมากและอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ดังนั้น การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอจึงมีสำคัญมากกว่าที่จะควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด ซึ่งการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก

##### 2) ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด – ด่าง มีความสำคัญต่อการทำงานของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน โดยปกติแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด – ด่างที่ 6.5 – 7.8 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรีย 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มสร้างกรด (Acid forming Bacteria) และกลุ่มสร้างมีเทน (Methane producing Bacteria) แบคทีเรีย 2 กลุ่มนี้ จะมีความต้องการสถานะความเป็นกรด – ด่าง ในการเจริญเติบโตที่ต่างกัน คือ แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะน้ำเสียที่มีความเป็นกรด – ด่างที่ 6.0 – 6.5 และสามารถทนได้ต่ำถึง 4.5 ในขณะที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนมีความไวต่อความเป็นกรด – ด่าง มากที่สุดโดยเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด – ด่างที่ 6.5 – 8.2 ถ้าหากความเป็นกรด – ด่าง ต่ำกว่า 5 จะส่งผลกระทบต่อพวก Methanogenic bacteria อย่างรุนแรง หากสถานะของความเป็นกรด – ด่าง ต่ำกว่าหรือสูงกว่า 6.5 – 7.8 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจะลดลงและหาก

สภาวะของความเป็นกรด – ด่าง ต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมความเป็นกรด – ด่าง (ทวิซัย ซีระเศรษฐนันท์, 2540) ได้แก่ การเติมด่างแก่ไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตให้แก่ระบบ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้เติมให้แก่ระบบ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีเป็นการเติมไบคาร์บอเนตให้แก่ระบบโดยตรง แต่ราคามักจะสูงกว่าสารอื่น

### 3) สภาพด่างในรูปไบคาร์บอเนต (Alkalinity as bicarbonate)

สภาพด่างในรูปไบคาร์บอเนต (จันทิมา สกกุลพานิชย์, 2548) บอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำปริมาณกรดที่เพิ่มเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน ระดับสภาพด่างที่จะทำให้มีกำลังบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับประเภทและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงก็มีโอกาสที่จะเกิดกรดได้มาก ดังนั้นกำลังบัฟเฟอร์ของระบบจะต้องเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรมีสภาพด่างประมาณ 1,500 - 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าต่ำกว่านี้เสถียรภาพของระบบจะต่ำ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติกต่อระดับของสภาพด่างในรูปไบคาร์บอเนตระบบจะมีกำลังบัฟเฟอร์สูง เมื่ออัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าพีเอชของระบบกำลังลดลงอย่างรวดเร็ว

### 4) โออาร์พี (ORP)

โออาร์พี (Oxidation Reduction Potential) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) หรือความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลายโดยแสดงปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบโดยทั่วไปจะวัดโออาร์พีได้ค่าเป็นบวกในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรท ซึ่งแสดงว่าน้ำนี้มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดีและวัดโออาร์พีมีค่าเป็นลบในน้ำเสียที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งแสดงว่าน้ำนี้มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้น้อยแต่ให้อิเล็กตรอนได้ดี ค่าโออาร์พีที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์

### 5) ประเภทสารอาหารในน้ำเสีย (Substrate)

สารอาหารในน้ำเสียเกี่ยวข้องกับชนิดของแบคทีเรียในระบบและประสิทธิภาพในการย่อยสลายโดยในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารอาหารที่ต่างชนิดกันมีอัตราการย่อยสลายที่ช้าเร็วต่างกัน โดยสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตจะให้อัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าโปรตีนและไขมัน

## 6) กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid)

กรดไขมันระเหยเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดยสารอินทรีย์ที่เข้ามาจะถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงและสามารถละลายน้ำได้เพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นได้ง่ายขึ้น สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ทำงานได้ดีควรจะมีค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในรูปของกรดอะซิติกประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของกรดมีความสำคัญมากกว่าปริมาณของกรด โดยระบบยังสามารถทำงานได้ดีที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยมีการเพิ่มอย่างรวดเร็วและแสดงถึงการเสียสมดุลของระบบทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการชะลตัวของ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

## 7) สารอาหารเสริม (Nutrient)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีคือ มีเซลล์จุลินทรีย์ที่สร้างขึ้นน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจน สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจุลินทรีย์ต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยมีอัตราส่วน BOD:N:P = 100:1.1:0.2 หรือ COD:N:P = 350:5:1 นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่าง COD ต่อ N ยังมีผลต่อลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วย โดยทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นปุยเมื่ออัตราส่วนดังกล่าวสูงถึง 100:10 แบคทีเรียสร้างมีเทนมีความต้องการธาตุบางอย่างในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ (Trace element) มิฉะนั้นระบบอาจไม่ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ ธาตุต่างๆ เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) อย่างไรก็ตาม การเติมธาตุดังกล่าวให้กับแบคทีเรียมักค่อนข้างลำบากเนื่องจากซัลไฟด์สามารถทำให้โลหะต่างๆตกผลึกแยกออกจากน้ำได้ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปัจจุบันอาจทำได้โดยการเติม Yeast extract ให้แก่ระบบโดยตรงในอัตราที่ไม่ต่ำกว่า 1.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ซึ่ง Yeast extract เป็นอาหารที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุและสารอินทรีย์ต่างๆที่แบคทีเรียต้องการเล็กน้อยแต่จำเป็น แสดงดังตารางที่ 2.1

## 8) สารพิษ (Toxic)

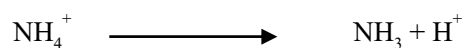
น้ำเสียที่นำมาผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องไม่มีสารพิษต่อจุลินทรีย์ ความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้น ถ้าหากสารเหล่านี้มีปริมาณน้อยก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ สารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ ได้แก่

### - กรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมากในปริมาณที่สูงเกินไปในสภาวะที่มีสารอินทรีย์เข้ามา หากระบบมีกำลังบำบัดไม่เพียงพอจะทำให้พีเอชของระบบลดลงส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

- แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่ คือ โปรตีนหรือยูเรีย โดยทั้งนี้ในไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) หรือก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ดังสมการ



จากสมการอธิบายได้ว่า ปริมาณของแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) จะขึ้นอยู่กับค่า พีเอช โดยถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางซ้าย ทำให้เกิดแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) ขึ้น แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางขวาทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) โดยที่รูปของแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) จะเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่าในรูปของก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ที่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียม ไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) ได้สูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลของแอมโมเนียในไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Speece, 1996)

สารเคมี	ความเข้มข้นในถังปฏิกรณ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
$\text{NH}_4\text{Cl}$	400
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400
KCl	400
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	300
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10
KI	10
$(\text{NaPO}_3)_6$	10
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{NH}_4\text{VO}_3$	0.5
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{ZnCl}_2$	0.5
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5



ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Speece, 1996)

NaMoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.5
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.5
NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.5
NaWO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.5
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0.5
Cysteine	10
NaHCO <sub>3</sub>	6000

ตารางที่ 2.2 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (McCarty, 1994. อ้างถึงใน จันทิมา, 2548)

แอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1,000	ยังไม่เกิดผลเสีย
1,500-3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
> 3,000	เป็นพิษโดยตรง

- ชัลไฟด์

ชัลไฟด์มีความจำเป็นต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยชัลไฟด์ปริมาณเพียงเล็กน้อย คือ 1-25 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นสารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่เมื่อน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณชัลไฟด์มากกว่า 100-150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2536) ทั้งนี้เนื่องจากชัลไฟด์ที่เกิดขึ้นสามารถตกผลึกเหล็ก นิกเกิล และโลหะต่างๆที่จำเป็นได้ทำให้เกิดการตกตะกอนของชัลไฟด์แยกออกจากน้ำเสีย ซึ่งเป็นการกำจัดชัลไฟด์ก่อนเข้าระบบได้อีกทางหนึ่ง

- อีออนและโลหะหนัก

อีออนและโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงเกินปริมาณหนึ่งจะเกิดความเป็นพิษต่อระบบได้ อีออนที่สำคัญได้แก่ Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> และ S<sup>-</sup> โดยปกติอีออนบวกจะมีความเป็นพิษมากกว่าอีออนลบ นอกจากนี้อีออนบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อแบคทีเรียน้อยกว่าอีออน

ที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของอออนบวจะเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้นและน้ำหนักอะตอมเพิ่มมากขึ้น ส่วนโลหะหนักได้แก่ แมงกานีส แคลเซียม สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้เป็นพิษเมื่ออยู่ในรูปของอออน ความเป็นพิษของโลหะหนักลดลงหากน้ำเสียมีไฮโดรเจนซัลไฟด์เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม อออนบางชนิดจำเป็นต้องมีในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อเป็นสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

#### - สารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิดจะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน สารพวกนี้ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol) และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long – Chain Fatty Acid) ซึ่งความเป็นพิษของสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถลดได้โดยการนำน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอ (Continuous Feed) เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยและปรับตัวได้แม้ว่าจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ตามหรืออาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

## 2.5 ความสำคัญของเกลือที่มีผลต่อแบคทีเรีย

โดยทั่วไป ส่วนประกอบของเกลือทั้งเกลือทะเลและเกลือสินเธาว์มีชื่อเรียกทางเคมีเหมือนกัน คือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกลือทะเลที่ใช้ในประเทศไทยมีโซเดียมคลอไรด์อยู่ประมาณ 88.26+2.79 เปอร์เซ็นต์ สารชนิดอื่นที่เจือปนในเกลือทะเล ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต 0.24 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมคลอไรด์ 0.30 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมคลอไรด์ 0.24 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมซัลเฟต 0.17 เปอร์เซ็นต์ สารที่ไม่ละลายน้ำ 0.40 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 2.40 เปอร์เซ็นต์

ประเภทของแบคทีเรียที่ต้องการเกลือสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามสภาพความต้องการ ดังนี้

**2.5.1 แบคทีเรียพวกไม่ชอบเกลือ (non-halophilic, halophobic หรือ salt-sensitive bacteria)** ซึ่งจะรวมแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคส่วนใหญ่ แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถเจริญได้ในที่ที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะมีชีวิตอยู่ได้ยาวนานในสภาวะที่ไม่เหมาะสม

**2.5.2 แบคทีเรียพวกทนเค็ม (halotolerant หรือ haloduric bacteria)** เป็นกลุ่มที่ไม่ต้องการเกลือสำหรับการเจริญแต่อาจเจริญได้ในที่ที่มีความเข้มข้นของเกลือตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างสปอร์, Micrococci, Staphylococci และแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนบางชนิด โดยเฉพาะ *Clostridium botulinum*

**2.5.3 แบคทีเรียพวกชอบความเค็ม (halophilic bacteria) (ชฎารัตน์, 2540.)** ต้องการเกลือในการเจริญมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีเกลือ อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) แบคทีเรียชอบเค็มปานกลาง (moderately halophilic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ดีในที่ที่มีความเข้มข้นเกลือ 3-15 เปอร์เซ็นต์ มักพบมากในน้ำทะเล ได้แก่ *Pseudomonas* spp., *Achromobacter* spp., *Micrococcus* spp., *Pediococcus* spp., *Bacillus* spp. และกลุ่ม *Coryneform*

2) แบคทีเรียชอบเค็มสูง (extremely halophilic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการเกลือสำหรับการเจริญ 12 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ได้แก่ แบคทีเรียในวงศ์ Halobacteriaceae ซึ่งมี 2 สกุล คือ *Halobacterium* spp. และ *Halococcus* spp. แบคทีเรียในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่น คือ โคลโคโคนีจะมีสีชมพู ส้มถึงแดง เนื่องจากมีรงควัตถุคาโรทีนอยด์สีแดง ซึ่งเป็นตัวกัน (screen) แสงแดดและรังสีอุลตรา-ไวโอเล็ต ช่วยให้อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหรือทะเลที่ถูกแผดเผาตลอดเวลาได้

## 2.6 ความสำคัญของความเค็มในน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ที่ระดับความเค็มหรือความเข้มข้นของเกลือโซเดียมได้แตกต่างกัน คือ

2.6.1 ทำให้เกิดแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) ทำให้เซลล์แบคทีเรียตายหรือหยุดการเจริญเติบโตเนื่องจากเกิดพลาสมอลิซิส (plasmolysis)

2.6.2 เกลือจะดึงความชื้นออกจากอาหารเป็นการควบคุมปริมาณ available water (Aw)

2.6.3 การแตกตัวของโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ได้โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรียที่ไวต่อไอออนชนิดนั้นๆ โดยโซเดียมไอออนจะไปรวมตัวกับสารที่มี sulfhydryl group (-SH) ทำให้สารนั้นไม่สามารถ transfer acyl group

2.6.4 ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ต่างๆภายในเซลล์แบคทีเรีย

2.6.5 ทำให้เซลล์แบคทีเรียไวต่อคาร์บอนไดออกไซด์

2.6.6 ลดการละลายของออกซิเจนในน้ำ ทำให้เกิดสภาพที่ค่อนข้างจะเป็นสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งจะพบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ออกซิเจนจะละลายน้ำได้ประมาณ 6.1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้ามีเกลือละลายอยู่ 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการละลายของออกซิเจนจะเหลือเพียง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่านั้น

## 2.7 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket ; UASB)

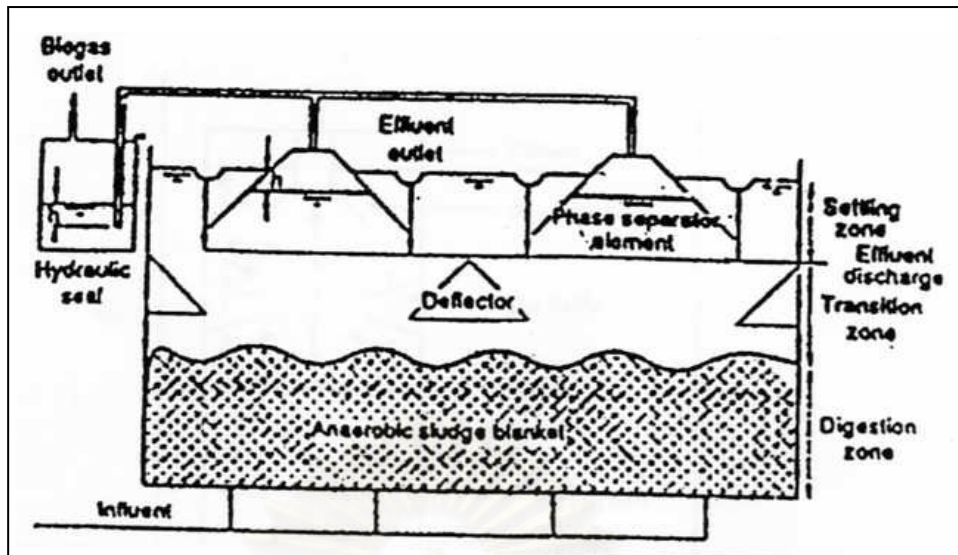
### 2.7.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาเมื่อไม่นานมานี้โดย Lettinga, Roersm และ Grin (1980) ได้พัฒนาระบบยูเอเอสบีโดยการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดี พร้อมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยในการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์และก๊าซชีวภาพ เรียกว่า อุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator; GSS) เพื่อช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากขึ้นและก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีเมื่อลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของถังจะช่วยให้เกิดการกวนผสมที่ดีภายในชั้นสลัดจ์ ทำให้ระบบยูเอเอสบีสามารถเก็บกักจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ดีและมีประสิทธิภาพในการบำบัดดียิ่งขึ้น ต่อมา Standers (1996) พบว่า การเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอยู่ในถังหมักจำนวนมากโดยการติดตั้งถังตกตะกอนไว้ตอนบนของถังหมักจะทำให้ใช้เวลาในการบำบัดน้ำเสียสั้นลงและยังสามารถที่จะรับปริมาณน้ำเสียเข้าระบบได้มากขึ้นด้วย การมี High loading rate จะทำให้เกิดก๊าซซึ่งทำให้เกิดการผสมที่ดีในชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) และชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket)

### 2.7.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

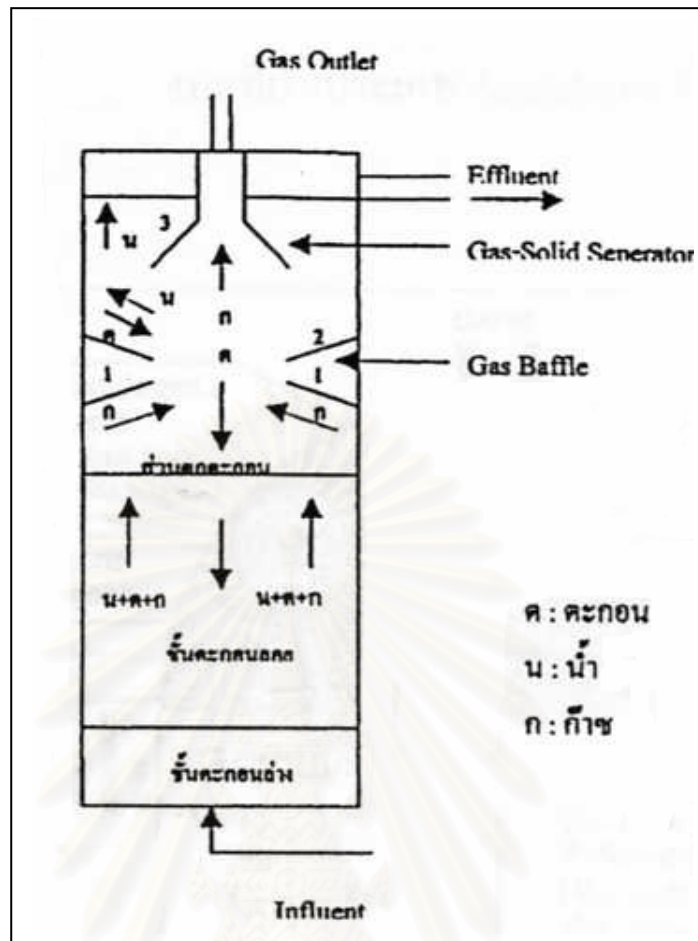
ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีและไหลขึ้นสู่ด้านบนของถัง โดยไม่มีตัวกลางใดๆมาช่วยพยุงมวลจุลินทรีย์ ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจะเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงกระบอก แสดงดังภาพที่ 2.4 ซึ่งลักษณะถังจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนที่เป็นถังหมักและระบบป้อนน้ำเสีย (Feed inlet system) อยู่ที่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์
- 2) ส่วนที่เป็นถังตกตะกอนอยู่ที่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์ โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator; GSS) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุมประมาณ 45-60 องศา นอกจากนี้ ยังช่วยในการป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ฟุ้งกระจายโดยก๊าซชีวภาพหลุดออกไปจากถังปฏิกรณ์



ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี (Van Haandel และ Lettinga, 1994)

น้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี โดยผ่านระบบกระจายน้ำเสียเพื่อกระจายน้ำเสียเข้าหลายจุดตามพื้นที่หน้าตัดของบ่อ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านชั้นตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เกิดเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์และก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซเหล่านี้จะเกาะติดอยู่กับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ประกอบกับความเร็วของน้ำเสียที่ไหลขึ้นทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นสู่ด้านบน ซึ่ง Heertjes และ Van der Meer (1983) กล่าวว่า ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีเมื่อลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของถังจะช่วยให้เกิดการกวนผสมและเกิดการสัมผัสที่ทั่วถึงระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับจุลินทรีย์ เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นสู่ส่วนบนของถังจะปะทะกับแผ่นกั้นของอุปกรณ์แยกสามสถานะ ทำให้เกิดการแยกน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพออกจากกัน ก๊าซที่เกาะมากับกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์จะถูกแยกออก โดยจะลอยตัวขึ้นไปยังส่วนบนผ่านท่อเก็บก๊าซเพื่อลำเลียงก๊าซที่ได้ไปยังอุปกรณ์เก็บก๊าซ น้ำเสียจะถูกแยกออกจากอุปกรณ์จุลินทรีย์และไหลล้นออกไปนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะถูกดักไว้และตกลงไปยังส่วนล่างของถัง โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันเป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากสามารถตกตะกอนได้ดี จะตกลงมาบริเวณส่วนล่างสุดของถังปฏิกรณ์ ซึ่งบริเวณส่วนล่างนี้เรียกว่า ชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) ในขณะที่บริเวณเหนือชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) ขึ้นไป จะเป็นชั้นตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดเล็กทรงกลมเรียกว่า ชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) เป็นชั้นที่ตะกอนมีความสามารถในการตกตะกอนได้น้อยกว่าชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการที่ระบบล้มเหลวเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดีและมากพอ ทำให้จุลินทรีย์หลุดออกไปพร้อมกับน้ำทิ้ง ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบีแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี (สุเมธ ชวเดช, 2540)

### 2.7.3 วัตถุประสงค์สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator; GSS) สำหรับระบบยูเอเอสบี (Lettinga และ Hulshoff Pol, 1991) มีดังนี้

1) เพื่อแยกและนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นออกจากถังปฏิกรณ์  
 2) เพื่อป้องกันการหลุดออก (Wash out) ของจุลินทรีย์ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

3) เพื่อให้ตะกอนตกกลับไปด้านล่างของถังปฏิกรณ์  
 4) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ขยายตัวและฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วเข้าไปในส่วนตกตะกอน

5) เพื่อเป็นการทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีขึ้น

## 2.7.4 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีมีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

### ข้อดี มีดังนี้

- 1) ต้องการพลังงานในการเดินระบบต่ำ เนื่องจากการเติมอากาศและไม่ใช่เครื่องจักรกล
- 2) ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลง
- 3) มีความเหมาะสมในการใช้ระบบบำบัดนี้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และในพื้นที่เขตชุมชนนอกเมือง
- 4) ใช้สารอาหารน้อยและต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน
- 5) ปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดจากระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและตะกอนที่ได้มีความคงตัวสูง ลดภาระในการกำจัดตะกอนต่อไป
- 6) ได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ(ก๊าซมีเทน)ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้
- 7) สามารถป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบอื่น
- 8) สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่มีปัญหาและการเริ่มต้นระบบใหม่ สามารถกระทำได้ง่าย ระบบฟื้นตัวได้เร็วจึงเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู

### ข้อเสีย มีดังนี้

- 1) ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบ (Start up) นานมากเนื่องจากต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวกันเป็นเม็ด ระบบจึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี
- 2) ต้องควบคุมปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบและควบคุมอัตราการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ (Wash out) ให้เกิดน้อยที่สุด
- 3) ระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ
- 4) จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการเจริญเติบโตในช่วงพีเอชที่ค่อนข้างแคบ ประมาณ 6.5-7.2
- 5) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ผลผลิตต่างๆที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น

6) ระบบต้องการการดูแลและควบคุมอย่างใกล้ชิด การเดินระบบต้องอาศัยผู้ควบคุมที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างมาก เนื่องจากการควบคุมสภาพการทำงานที่สมดุลระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนทำได้ยาก

7) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถเป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้ เนื่องจากยังคงมีสารตัวกลาง (intermediate) ต่างๆเหลืออยู่ทำให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีสูงประสิทธิภาพในการลด BOD ต่ำ

### 2.7.5 ประเภทของ Granular Sludge ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

ลักษณะของ Granular Sludge ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนที่นำมาใช้เป็นหัวเชื้อ (Seed Sludge) ส่วนประกอบของน้ำเสีย ตลอดจนการเริ่มต้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน Granular Sludge มีหลายชนิด (Lettinga และคณะ, 1984) ดังนี้

1) Sarcina Granular เป็นชนิดที่มีจุลินทรีย์รูปร่างกลม ส่วนใหญ่เกาะกันเป็นกลุ่ม Granular ชนิดนี้สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 6.5 มิลลิเมตร จึงถูกชะล้างออกได้ง่าย และยังเป็นชนิดที่มีความสามารถในการย่อยสลายต่ำ

2) Spinky Granular เป็นชนิดที่มีความยาวมากกว่า 1 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ Granular ชนิดนี้สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียโรงงานผลิตแป้งข้าวโพด

3) Filamentous เป็นจุลินทรีย์ที่มีรูปร่างเป็นแท่งต่อกันเป็นสายยาวประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น Granular ชนิดนี้สร้างขึ้นจากน้ำเสียที่มีแต่กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty acid)

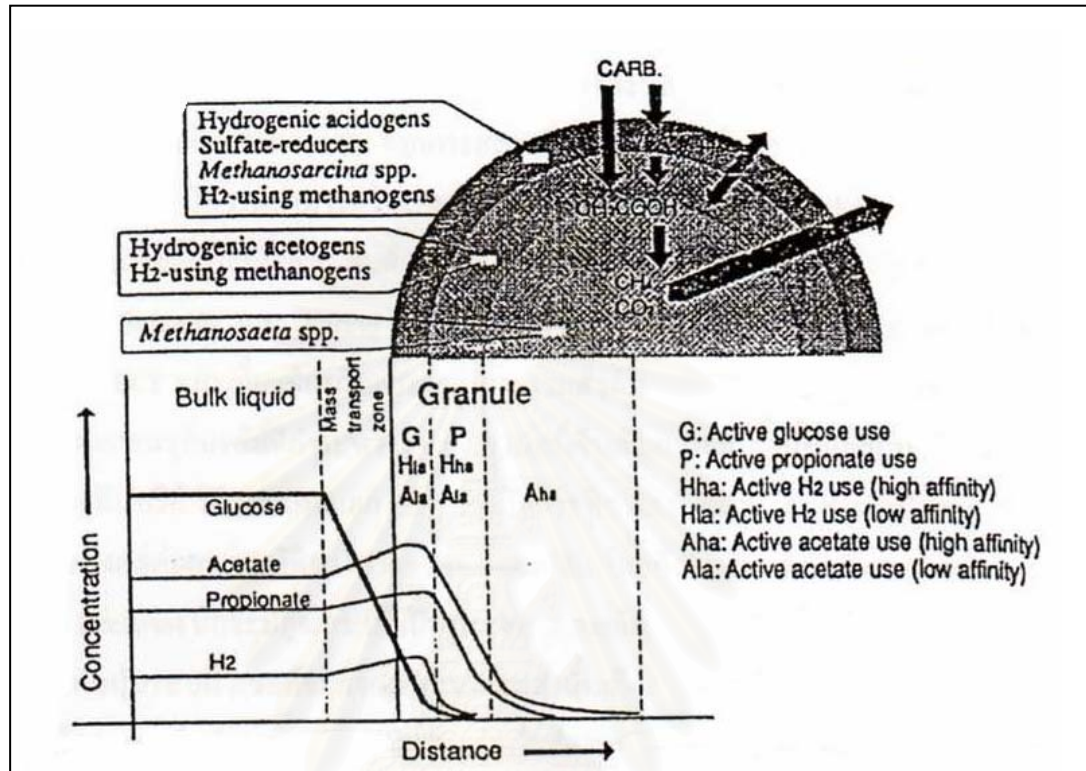
4) Rod ลักษณะเป็นรูปกลม ประกอบด้วย Methanotrix ชนิดที่เป็นเส้น รวมกันประมาณ 5 เซลล์ พบในถังปฏิกรณ์ที่บำบัดน้ำเสียในโรงงานแป้งมันสำปะหลังและโรงงานน้ำตาล

### 2.7.6 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granules)

Guiot, Pauss และ Costerton (1992) กล่าวว่า ความเร็วในการไหลขึ้นของน้ำในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ที่มีความสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีข้อดี คือ มีความหนาแน่นสูง เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีอัตราส่วนของแบคทีเรียต่อปริมาตรที่สูงมาก ไม่เสียพื้นที่ในถังปฏิกรณ์เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวกลาง (Media) ให้จุลินทรีย์เกาะติด



การศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธีการ SEM (Scanning Electron Microscopy) พบว่า มีโครงสร้างภายในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียกลูโคส (Guiot และคณะ, 1992)

ชั้นนอก ประกอบด้วย แบคทีเรียหลายกลุ่ม ได้แก่ Hydrogenic acidogens Sulfate reducers, *Methanosarcina* spp. และ H<sub>2</sub> - utilizing methanogens

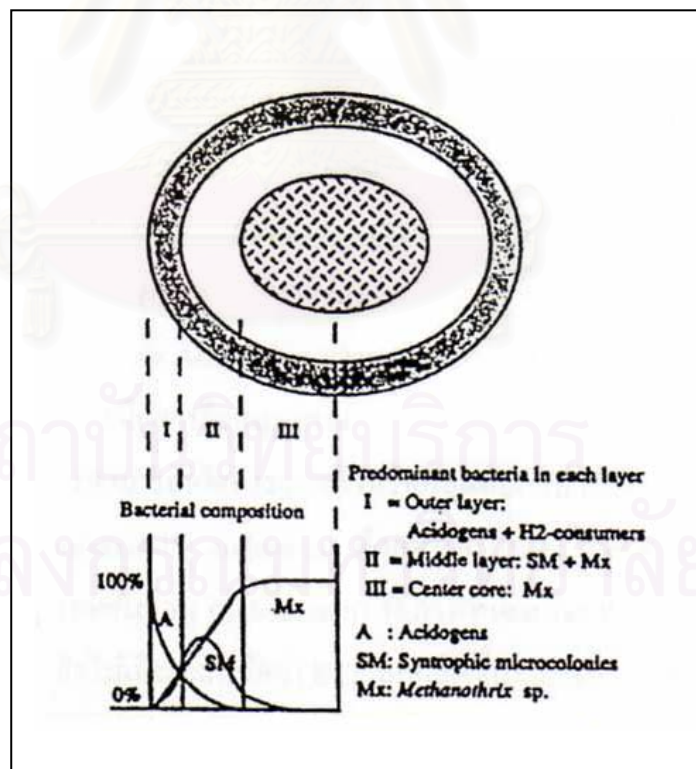
ชั้นกลาง ประกอบด้วย Hydrogenic acetogens และ H<sub>2</sub> - utilizing methanogens เช่น *Methanosarcina* spp., *Methanococcales* spp. และ *Methanospirillum* spp. เป็นต้น

ชั้นใน ประกอบด้วย แบคทีเรียประเภท Aceticlastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น *Methanosaeta* spp.

แบคทีเรียกลุ่ม H<sub>2</sub> - utilizing methanogens ในชั้นกลางและชั้นนอกมีความแตกต่างกัน คือ กลุ่มแบคทีเรียชั้นนอกจะใช้ substrate ที่ต่ำกว่า (มีค่า K<sub>s</sub> สูง) กลุ่มแบคทีเรียชั้นกลางและแบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ที่อยู่ชั้นในมีค่า K<sub>s</sub> ต่ำกว่า แบคทีเรียกลุ่ม Aceticlastic ในชั้นกลาง การเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granulation) เป็นโครงสร้างในลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียแต่ละชนิดต่างกัน โดยเฉพาะในแกนกลางของเม็ดตะกอน

จุลินทรีย์ซึ่งเป็น Aceticlastic methanogens ซึ่งส่วนใหญ่เป็น *Methanosaeta* spp. เป็นส่วนสำคัญในการผลิตมีเทน โดยอาศัย substrate เช่น อะซิเตท ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียกลุ่มชั้นนอกและชั้นกลาง ทั้งนี้ *Methanosaeta* spp. เป็นแบคทีเรียที่มีค่า affinity สูงสุดในกลุ่มแบคทีเรีย Aceticlastic methanogens ซึ่งเป็นผลดีต่อการทำปฏิกิริยาของ *Methanosaeta* spp. ในสภาวะที่มีข้อจำกัดของการแพร่กระจาย อะซิเตทมายังแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

โครงสร้างและขนาดของชั้นแบคทีเรียในแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายสารอาหารและการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ผิววนอกสุดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบว่ากลุ่ม acidogens จะมีปริมาณมากเพราะบริเวณรอบนอก (bulk liquid) มีความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตสูงและยังเป็นผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการสร้างกรด (acidogenesis) ที่มีค่าสูงกว่าขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (acetogenesis) และขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) อะซิเตทที่ถูกผลิตจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อไป แสดงดังภาพที่ 2.7



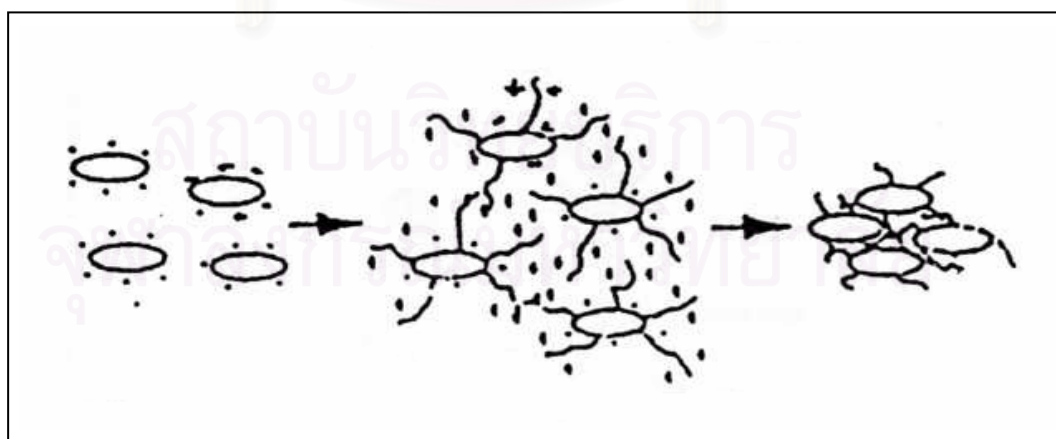
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต (Fang, Chui และ Li, 1994 อ้างถึงใน ตูลชัย แจ่มใส, 2545.)

## 2.8 กระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Process of Granulation)

### 2.8.1 ความสำคัญของ Extra Cellular Polymers (ECP) ต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995)

Extra Cellular Polymers (ECP) เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ECP ประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ saccharide โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก มีความสามารถในการดักจับสารอาหารที่ละลายได้ (soluble nutrients) และช่วยในการยึดเกาะระหว่างเซลล์ของแบคทีเรีย เมื่อมีการศึกษาของโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าแบคทีเรียที่อยู่ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มี ECP ล้อมรอบอยู่ โดยพบปริมาณ ECP ที่อยู่ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่าประมาณ 0.6 – 20 เปอร์เซ็นต์ VSS ซึ่ง ECP ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบด้วย โปรตีน และ polysaccharide เท่ากับ 2:1 ถึง 6:1 และมีไขมันอยู่ในปริมาณ 0.02 – 0.05 เปอร์เซ็นต์ VSS เนื่องจากแบคทีเรียที่กระจายอยู่ในน้ำเสียมีประจุเป็นลบจึงเกิดแรงผลักระหว่างเซลล์แบคทีเรียทำให้ไม่สามารถรวมตัวกันได้ เมื่อ ECP ซึ่งมีประจุบวกมาล้อมรอบที่ผิวของเซลล์แบคทีเรียทำให้เซลล์แบคทีเรียสามารถรวมตัวกันได้ แสดงดังภาพที่ 2.8 แต่ถ้ามีปริมาณ ECP มากเกินไปอาจทำให้เกิดการผลักระหว่างประจุบวกทำให้เซลล์แบคทีเรียไม่สามารถรวมตัวกันได้

ปัจจุบันยังไม่เป็นที่ชัดเจนว่า ECP เป็นผลที่เกิดจากแบคทีเรียจำเพาะกลุ่มหนึ่งหรือแบคทีเรียทุกชนิดในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม สาร ECP โดยเฉพาะ polysaccharide เป็นผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic) และแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic) น้อยมาก ในขณะที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acidogenic) เป็นกลุ่มที่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากในการสร้าง ECP

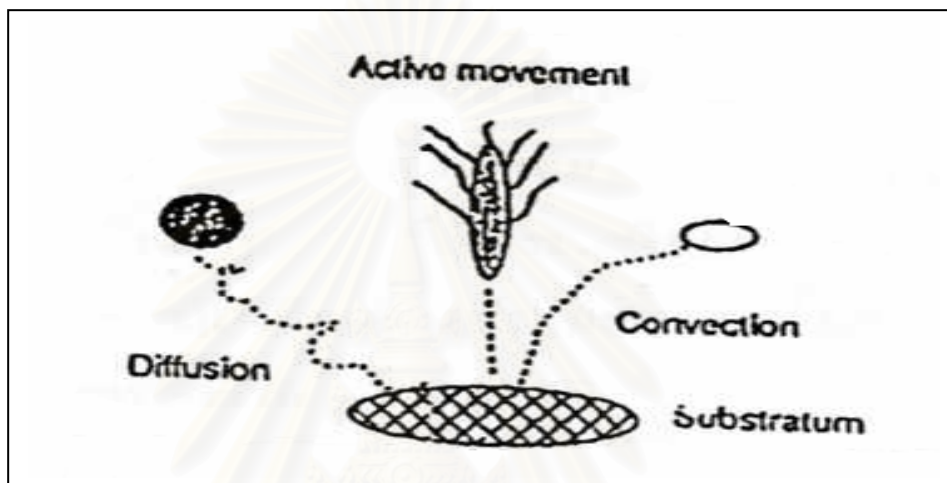


ภาพที่ 2.8 บทบาทของประจุไฟฟ้าและ ECP ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย (Schmidt และ Ahring, 1995)

## 2.8.2 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995) มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Transport การเคลื่อนไหวของเซลล์ด้วยวิธีการต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ไปจับตัวกับอนุภาคเซลล์อื่นของแบคทีเรีย กลายเป็นอนุภาคพื้นฐาน (substratum) ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การแพร่กระจาย (Brownian motion), การพัดพา (convective) โดยของเหลว, ก๊าซ การตกตะกอนหรือการเคลื่อนไหวของเซลล์โดย flagella



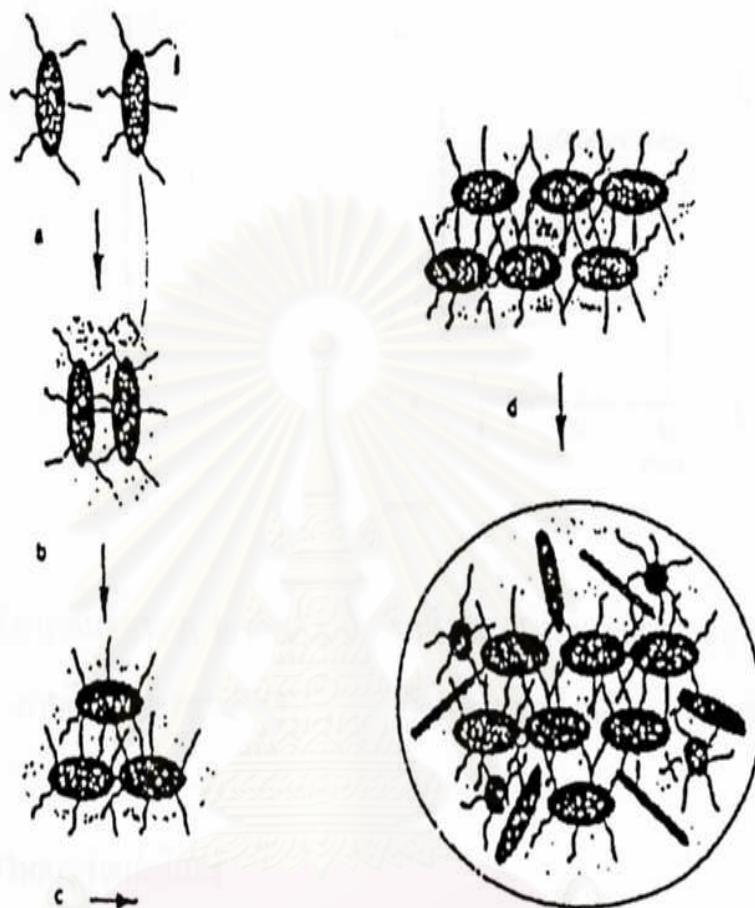
ภาพที่ 2.9 กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆ ที่มีผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย (Schmidt และ Ahring, 1995)

ขั้นตอนที่ 2 Reversible Adsorption การดูดติดผิวของเซลล์แบคทีเรียกับอนุภาคพื้นฐาน (substratum) ซึ่งอาจเป็นกลุ่มแบคทีเรียหรืออนุภาคของแข็งเล็กๆ โดยเป็นผลจากแรงทางประจุไฟฟ้า (Ionic strength) ซึ่งเซลล์สามารถแยกตัวหรือหลุดออกไปได้อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 3 Irreversible adhesion ด้วยพันธะที่แข็งแรงของพอลิเมอร์ (ECP) การยึดเกาะของเซลล์เข้ากับอนุภาคพื้นฐาน (substratum) นั้นเซลล์อาจมีโอกาที่จะหลุดออกจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ยากและยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า ECP ถูกผลิตขึ้นมาก่อนหรือหลังการยึดเกาะของเซลล์ (adhesion)

ขั้นตอนที่ 4 Multiplication หรือการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียที่อยู่ในชั้น ECP โดยเซลล์ที่แบ่งตัวใหม่ยังคงอยู่ในชั้น ECP และเกิดการเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังเกิดการดักเซลล์ใหม่ที่อยู่ในน้ำเสียเข้ามารวมตัวในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์อีกด้วย

กลไกการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์ โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอน  
จุลินทรีย์ แสดงดังภาพที่ 2.10

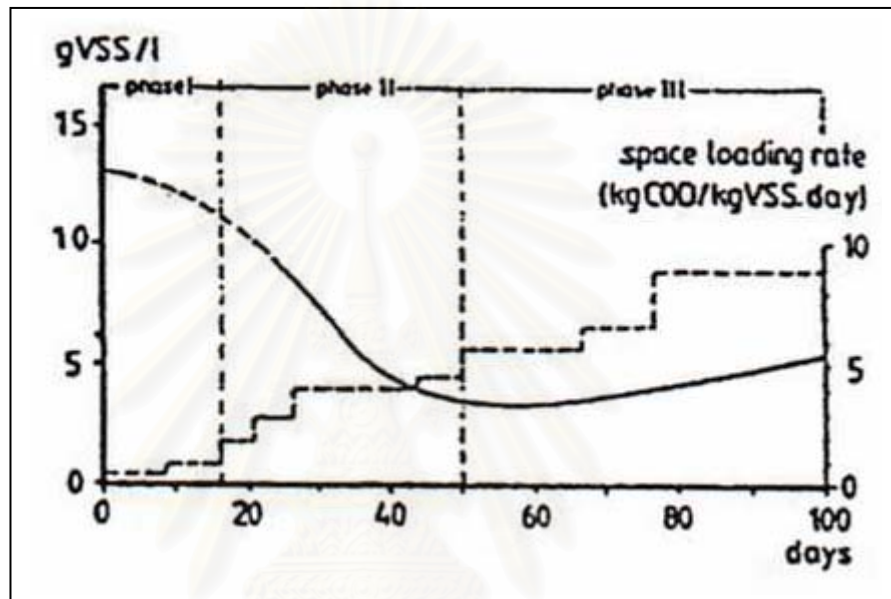


(a) The reversible association of two bacteria becomes irreversible adhesion. ECP are used to bind the two bacteria to each other. (b) Cell division provides sister cells that are bound within the ECP. (c) Microcolony formation. (d) Granulation is a function of cell division within the microcolonies and new recruitment of bacteria from the liquid.

ภาพที่ 2.10 กลไกการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์ โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอน  
จุลินทรีย์ (Schmidt และ Arhing, 1995)

### 2.8.3 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Pelletization)

Hulshoff-Pol และคณะ (1983) (อ้างถึงใน ทวีชัย, 2540) ได้ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยสังเกตจากพฤติกรรมในการคงอยู่หรือการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ แสดงดังภาพที่ 2.11 นอกจากนั้นยังได้กล่าวถึงขั้นตอนของการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 2.11 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี Hulshoff-Pol และคณะ (1983) (อ้างถึงใน ทวีชัย, 2540)

ขั้นตอนที่ 1 Washout Stage (อัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์น้อยกว่า 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ในขั้นตอนนี้เป็นช่วงเริ่มต้นระบบ เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีแล้ว น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตะกอนทำให้ชั้นตะกอนล่าง (Sludge Bed) เกิดการขยายตัวและเกิดก๊าซขึ้นในระบบ ทำให้เกิดจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (Filamentous Organism) ซึ่งส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้น้อยลง แบคทีเรียที่เป็นตะกอนเบาจะไหลออกมากับน้ำสิ้นตลอดเวลา ขณะที่มีการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียในระบบอย่างช้าๆ

ขั้นตอนที่ 2 Transition Stage (อัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 2-5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ในขั้นตอนนี้จะมีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูง เนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ทำให้เกิดก๊าซภายในระบบมากขึ้นส่งผลให้มีการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กๆ ออกนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และหนักสามารถ

คงอยู่ในถังต่อไปได้และรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าในขั้นตอนนี้เป็นการคัดเลือกพันธุ์จุลินทรีย์ในระบบด้วย

ขั้นตอนที่ 3 Progressive Granular (อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์มากกว่า 3-5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่อัตราการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีมากกว่าการหลุดออกนอกถังของตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้วระบบจะสามารถรับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ระบบจะสามารถรับได้ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาระบบอาจรับได้มากถึง 5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

#### 2.8.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Factor Affecting the Granulation Process) Hulshoff-Pol และคณะ (1983) (อ้างถึงใน จันทิมา, 2548)

##### 1) เงื่อนไขของสภาพแวดล้อม (Environmental Conditions)

- สารอาหาร (Nutrients) ต้องอยู่ในรูปที่แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ (Bioavailability)

- อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การทำงานของแบคทีเรียสูงขึ้น ดังนั้นระบบต้องอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม

- ค่าพีเอช (pH) ช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ คือ 6.5-7.8

- ลักษณะการไหลของน้ำเสียในระบบจะต้องเป็นแบบ Plug flow เพราะหากเป็นแบบ Completely mix จะทำให้ค่าความดันพาร์เซียของไฮโดรเจนต่ำ

- ชนิดของน้ำเสีย ส่วนประกอบของน้ำเสีย อีออนบวก (Cation) และสารพิษซึ่งยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย

##### 2) ชนิดของตะกอนเริ่มต้น (Seed Sludge)

##### 3) สภาพแวดล้อมของระบบในช่วงเริ่มต้นระบบ (Start up) เช่น

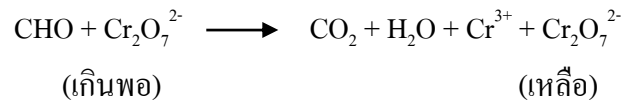
- อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ระบบที่มีค่าการระบรทุกสารอินทรีย์สูงจะเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี

- ปริมาณตะกอนเริ่มต้น (Seed Sludge) ที่นำมาเติมในระบบต้องมีปริมาณที่เหมาะสม

#### 2.9 สมดุลของมวลซีโอดีในระบบยูเอเอสบี

ซีโอดีในน้ำเสียเข้าระบบจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และหายใจ แต่ซีโอดีที่ถูกใช้ในการหายใจมีมากกว่าซีโอดีที่ใช้ในการสร้างเซลล์มาก เมื่อซีโอดีถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนไป

อยู่ในรูปต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยาดังสมการ



จากหลักการของการวิเคราะห์ซีโอดีที่ใช้สารออกซิไดซ์อย่างแรงย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำได้แต่การใช้สารออกซิไดซ์ที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง เช่น ไดโครเมต จะทำให้สารที่ให้อิเล็กตรอนอื่นในระบบที่ไม่เป็นสารอินทรีย์ที่ให้อิเล็กตรอนกับไดโครเมตและเปลี่ยนไปอยู่ในอีกรูปหนึ่ง เช่น ซัลไฟด์ไอออนถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมตเป็นซัลเฟต เป็นต้น ดังนั้น การวัดซีโอดีจึงไม่ได้เป็นการวัดสารอินทรีย์ในน้ำเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการวัดปริมาณสารที่ให้อิเล็กตรอนในน้ำทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องกำจัดสารให้อิเล็กตรอนอื่นๆ ในน้ำออกก่อนวัดค่าซีโอดี เช่น การกำจัดคลอรีนเพื่อไม่ให้คลอรีนซึ่งไม่ใช่สารอินทรีย์ให้อิเล็กตรอนกับไดโครเมต และการปรับพีเอชของน้ำเสียให้ต่ำลงเพื่อกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย เป็นต้น

สมมูลมวลของซีโอดีก่อนและหลังกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\text{COD}_{\text{inf}} = \text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}}\text{-COD} + \text{COD}_{\text{acc}} + \text{Oxidize ในรูป CO}_2\text{-COD}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{inf}} &= \text{ซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ} \\ \text{soluble COD}_{\text{eff}} &= \text{ซีโอดีละลายในน้ำออกจากระบบ} \\ \text{CH}_{4\text{gas}}\text{-COD} &= \text{ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน} \\ \text{COD}_{\text{acc}} &= \text{ซีโอดีที่สะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ในระบบและ} \\ &\quad \text{ส่วนที่หลุดออกมา} \\ \text{Oxidize ในรูป CO}_2\text{-COD} &= \text{ซีโอดีในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์} \end{aligned}$$

การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลจะใช้ซีโอดีที่เปลี่ยนไปและตรวจสอบได้เปรียบเทียบกับซีโอดีในน้ำเข้า ซึ่งจะเรียกว่า % COD recovery พิจารณาค่า Oxidize ในรูป CO<sub>2</sub> และค่า COD<sub>acc</sub> เป็นส่วนที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ จึงคิดเป็นส่วนที่เหลือที่หายไปจาก % COD recovery เทียบค่า % COD ที่ถูกกำจัด

$$\% \text{COD recovery} = \text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}}\text{-COD} / \text{COD}_{\text{inf}}$$

ซีโอดีในรูปก๊าซมีเทน มีอยู่ด้วยกัน 2 รูป คือ มีเทนในสถานะก๊าซและมีเทนละลายน้ำ ซึ่งทั้ง 2 รูปไม่สามารถวัดโดยตรงได้ แต่สามารถคำนวณได้ ดังนี้



### 2.9.1 ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน หาได้จาก

$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	(Total gas volume $\times$ %CH <sub>4</sub> $\times$ 16,000 $\times$ 4) / (24.86 $\times$ Q)
เมื่อ		
$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Total gas volume	=	ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)
%CH <sub>4</sub>	=	ร้อยละของก๊าซมีเทน
24.86	=	ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 30°C (ลิตร) (ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 0°C เท่ากับ 22.4 ลิตร)
Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสียต่อวัน (ลิตรต่อวัน)
16,000	=	น้ำหนักของมีเทน 1 โมล (มิลลิกรัม)
4	=	ซีโอดีของก๊าซมีเทน 1 กรัม (กรัม)

### 2.9.2 ซีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำในน้ำออกจากระบบ หาได้จาก

Soluble CH <sub>4</sub> -COD	=	$K_{\text{hCH}_4} \times \text{Partial Pressure of CH}_4 \times 16,000 \times 4$
เมื่อ		
$K_{\text{h}}$	=	ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับก๊าซมีเทนที่ 30°C (โมลต่อลิตร) เท่ากับ $12.4 \times 10^{-4}$
Partial Pressure of CH <sub>4</sub>	=	ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน (สัดส่วนก๊าซมีเทน)

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.10.1 การศึกษาผลของการเติมเกลือคลอไรด์ต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสีย

Ludzack และ Noran (1965) ศึกษาผลของเกลือโดยใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส พบว่า ผลของความเค็มที่มีต่อระบบจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ สูงกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเพิ่มของเกลือจะทำให้การใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงๆจะทำให้การรวมตัวของตะกอนเกิดได้ไม่ดีเป็นผลให้ของแข็งหลุดลอยออกไปกับน้ำเสียมามาก สำหรับความเค็มที่มีผลต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน พบว่า ที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดไนตริฟิเคชันลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่การยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชันโดยเกลือโซเดียมนั้นต้องใช้เวลา ประมาณ 24 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการปรับการเกิดไนตริฟิเคชันให้คืนสภาพดังเดิมต้องใช้เวลาอีกหลายวันภายหลังจากที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ลดลงแล้ว

Tokuz และ Eckenfelder (1979) ศึกษาผลของเกลืออนินทรีย์ ซึ่งได้แก่เกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมซัลเฟตต่อการทำงานของกระบวนการเอเอส พบว่า เมื่อระบบเริ่มชินกับความเค็มแล้ว ค่าของแรงแวนลอยที่หลุดออกไปกับน้ำเสียที่เข้ามาต้องน้อยกว่า 35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าซีโอดีในน้ำออกเพิ่มขึ้นด้วยในขณะที่ค่าบีโอดีที่เหลืออยู่มีค่าต่ำมาก (น้อยกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงว่าค่าซีโอดีที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ

Jones และ Hood (1980) ศึกษา แบคทีเรียประเภทไนโตรโซโมนัสในน้ำดิบและน้ำที่มีความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ พบว่า แบคทีเรียประเภทไนโตรโซโมนัสในน้ำดิบจะเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 8.5 ค่าความเค็มร้อยละ 0.3-0.5 และมีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 0.5 กรัมต่อลิตร และในน้ำเค็มจะเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พีเอช 8.0 ค่าความเค็มร้อยละ 0.5-1.0 และค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 2.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งในน้ำเสียทั้ง 2 ประเภทนี้มีความเข้มข้นของไนเตรตที่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีผลยับยั้งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรตไม่มีผลเลย

Hamoda และ Al-Attar (1995) ศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อกระบวนการเอเอส โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 10 กรัมต่อลิตร และ 30 กรัมต่อลิตร และแปรค่าอายุสลัดจ์อยู่ในช่วง 3 - 20 วัน พบว่า ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่สูงถึง 30 กรัมต่อลิตร ยังไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ถ้าหากเพิ่มเวลาการกักเก็บของแข็งนานขึ้น ซึ่งระบบยังสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงถึง 93 - 95 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองเพิ่มความเข้มข้นขึ้นด้วยแสดงว่าแบคทีเรียมีความสามารถที่ดำรงชีพและเติบโตได้ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพความเค็มในน้ำเสีย

Kincannon และ Gaudy (1996) ศึกษาผลของการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อระบบเอเอส พบว่าอัตราการกำจัดสารอาหารในระบบเอเอสจะลดลงภายใน 4 ชั่วโมง เมื่อมีการเติมโซเดียมคลอไรด์ทันทีด้วยความเข้มข้น 30,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของโซเดียมคลอไรด์แต่ความเข้มข้นนี้ยังไม่มีผลรบกวนอย่างรุนแรงต่อระบบ ซึ่งเมื่อเติมความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นถึง 45,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลทำให้สลัดจ์เกิดได้ยากส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารลดลงในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์จากความเข้มข้นต่ำไปสูงนั้นสลัดจ์จะค่อยๆปรับตัวให้ชินจนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อระบบน้อยลง แต่หากเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสูงไปเซลล์ของแบคทีเรียจะเกิดการชะงักเนื่องจากการช็อกของแรงดันออสโมติก (Osmotic shock)

Yu, Tay และ Herbert (2001) ศึกษาผลของแคลเซียมในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี ได้ทดลองเติม  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  หลายค่า ตั้งแต่

150-800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเติมลงไปใต้น้ำเสียสังเคราะห์เลย พบว่า การเติมแคลเซียม 150-300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด

Yu et al. (2001) ศึกษาผลของการเติม  $AlCl_3$  ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี โดยทำการทดสอบด้วยการเติม  $AlCl_3$  แตกต่างกัน เติมน้ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 146 วัน ถึงแรกไม่เติม  $AlCl_3$  ส่วนถึงที่สองเติม  $AlCl_3$  ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงใต้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า การเติม  $AlCl_3$  ในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในช่วง 35 – 65 วัน และยังพบว่าเม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงว่าการเติม  $AlCl_3$  จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีได้ดี

ชฎารัตน์ อนันต์ (2540) ศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของกระบวนการเอเอสแบบฟลูอิดซ์ 3 ชั้นตอน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบที่ใช้หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์มาก่อนนั้นสามารถทำงานได้ดีกว่า เร็วกว่าและรับสภาพช็อกได้ดีกว่าระบบที่ใช้หัวเชื้อทั่วไปและประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์

### 2.10.2 การศึกษากระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

Visser, Alphenaar, Gao, van Rossum และ Lettinga (1993) ศึกษาการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนและการเกาะติดของแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่มีอัตราการบำบัดสูง 3 ถึง เติมน้ำอาหารแตกต่างกัน ได้แก่ ตั้งแต่แรกเป็นระบบสร้างมีเทนถึงที่สองเป็นระบบสร้างซัลไฟด์และถึงที่สามเป็นระบบผสมระหว่างสองระบบแรก พบว่า ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ในถังทั้งสามแตกต่างกัน โดยเชื้อจุลินทรีย์ในระบบสร้างซัลไฟด์ไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ส่วนอีกสองระบบที่เหลือเกิดเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะใช้เวลานานกว่าแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟต ดังนั้นในระบบจึงควรมีแบคทีเรียสร้างมีเทนรวมอยู่ด้วยเพราะแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระยะเวลาอันสั้นได้

Yan-Ling, Xing-Lian และ Sho-Hui (1995) ศึกษากระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตหมึกพิมพ์ พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถเกิดได้ภายใต้สภาวะที่มีการเติมคาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหาร แต่การเติมคาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารจะช่วยเร่งอัตราการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และนำไปสู่การกำจัดซีโอไซด์ได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator; GSS) มีความเหมาะสมต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มากกว่า เนื่องจากจะช่วยเร่งการชะล้างของสัจจ์ที่ลอยตัวอยู่ให้หลุดออกไปจากถังปฏิกรณ์ สำหรับน้ำเข้าที่

มีความเข้มข้นต่ำมีความจำเป็นต่อกระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่า ซีโอดีและบีโอดีจะถูกกำจัดคิดเป็น 40-46 เปอร์เซ็นต์ และ 56-65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีประมาณ 510 ลิตรต่อกิโลกรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด

Gonzalez, Rivera, Borja และ Sanchez (1998) ศึกษาผลของระดับปริมาณสารอินทรีย์ ความสมดุลของ สารอาหารและอัตราส่วนระหว่างสภาพความเป็นด่างต่อซีโอดีต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในระบบ UASB โดยใช้ น้ำเสียจากกากน้ำตาลทรายเป็นหลักซึ่งเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมน้ำตาลโดยควบคุมสภาพความเป็นด่างและสารอาหารของจุลินทรีย์ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยติดตั้งระบบ UASB ขนาดปริมาตร 16.5 ลิตร มีค่าซีโอดี 3,750 มิลลิกรัมต่อลิตรแปรค่าอัตราส่วนสภาพความเป็นด่างต่อซีโอดี, ไนโตรเจนต่อซีโอดีและฟอสฟอรัสต่อซีโอดี ตั้งแต่ 1.06, 0.018 และ 0.0028 ตามลำดับ พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นทรงกลมเกิดขึ้นหลังจากเดินระบบ 30 วัน ส่วนมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางขยายใหญ่ขึ้น เพิ่มจำนวนมากขึ้นและส่วนมากขยายใหญ่ขึ้นสูงสุดถึง 3.1 มิลลิเมตร หลังจากเดินระบบ 90 วัน และจะคงที่ตลอดไปแม้ว่าจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเติมสารอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในระบบทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยปนอยู่ด้วย ในขณะที่อัตราส่วนสภาพความเป็นด่างต่อซีโอดีจะลดลงถึง 0.4 แต่การสร้างเม็ดตะกอนก็ยังคงดำเนินต่อไป

Yu et al. (2000) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในช่วง Start – up ของระบบ UASB ด้วยการเติมแคลเซียม พบว่า การเติมแคลเซียมที่ความเข้มข้น 150 – 300 mg/l จะช่วยเพิ่มมวลชีวภาพและเพิ่มความสามารถในการสร้างเม็ดตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบได้ดี

Hyun Seong Jeong et al. (2003) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์ด้วยระบบยูเอเอสบี พบว่า การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงโดยใช้จุลินทรีย์ไร้อากาศเพื่อสร้างเม็ดตะกอนนั้นเป็นวิธีที่ดีที่สุดแต่ต้องใช้ระยะเวลาจนถึง 6 เดือน จึงเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขึ้น ในการศึกษานี้ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จำนวน 5 มิลลิกรัมเป็นหัวเชื้อสำหรับการเพิ่มปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์เพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย และพบว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดตั้งแต่ 1-5 มิลลิเมตรและสามารถตกตะกอนได้เร็วกว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียทั่วไปมากเพราะว่าในระบบ UASB เม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถเกิดได้สูงสุดถึงร้อยละ 90 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 18 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

Show, Wang, Foong และ Tay (2004) ศึกษาการลดระยะเวลาช่วง Start-up ระบบ และการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB โดยเติมพอลิเมอร์ประจุลบชนิดแคโอดอน ช่วง Start-up ระบบ โดยการทดลองนี้ให้ถังที่ 1 ไม่เติมพอลิเมอร์ ส่วนถังที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 เติมพอลิเมอร์ปริมาณ 20, 40, 80, 160 และ 320 mg/l ตามลำดับ พบว่า ถังที่ 4 ที่เติมพอลิเมอร์ที่ความ

เข้มข้น 80 mg/l ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 4 g.COD/l/d สามารถลดระยะเวลาช่วง Start-up ระบบ ได้ดีถึง 43% และยังบำบัดน้ำเสียได้ดีถึง 50% ของถังที่ 1 ที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์อีกด้วย นอกจากนี้ยังเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ได้ถึง 40 g.COD/l/d หลังจากเดินระบบไปแล้ว 59 วัน ส่วนถังที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 เพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ได้ในวันที่ 104, 80, 69, 63 และ 69 วัน ตามลำดับ ส่วนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นประมาณ 30% ของปริมาณพอลิเมอร์ที่เติมในระบบ โดยถังที่ 4 ที่เติมพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 80 mg/l มีโครงสร้างเม็ดตะกอนและการเพิ่มจำนวนมากที่สุด และเป็นจุลินทรีย์จำพวก Methanogenic เป็นส่วนใหญ่

Hulshoff Pol, Castro และ Lettinga (2004) ศึกษากระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB พบว่า แรกเริ่มของการสร้างเม็ดตะกอนเกิดจากการรวมตัวของแบคทีเรียที่มีหน้าที่สร้างเชื้อหุ้มเซลล์และกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นช้าๆอย่างเห็นได้ชัดเจนและยังพบว่าแบคทีเรียจำพวก *Methanosaeta concilii* ยังเป็นตัวช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนอีกด้วย นอกจากนี้ Cape Town Hypnthesis ยังพบว่า ในพื้นที่เขตร้อนมีแบคทีเรียจำพวก *Methanobacterium* สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนสูงและยังเพิ่มจำนวนมากขึ้นซึ่งเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์ของแบคทีเรียชนิดนี้ในระบบ UASB ด้วย

Soon-An Ong, Eiichi Toorisaka, Makoto Hirata และ Tadashi Hano (2004) ศึกษาการตกตะกอนของสีย้อมผ้าชนิด azo dye (Orange II) ในระบบยูเอเอสบี-เอสบีอาร์ โดยการรวมกันของระบบยูเอเอสบีและเอสบีอาร์ที่มีทั้งการใช้ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศควบคู่กันในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าชนิด azo dye (Orange II) พบว่า ในระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดสี azo dye (Orange II) และ COD ให้ลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 48 ชั่วโมง เมื่อเดินระบบใกล้สมบูรณ์แล้วสีจะตกตะกอนได้มากถึงร้อยละ 95 และในระบบยูเอเอสบี เมื่ออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 24 ชั่วโมง สี azo dye (Orange II) สามารถตกตะกอนได้ถึง 0.3 g/l.day และพบว่าขนาดและโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้อง Electron Scanning Microscope (SEM) ของทั้ง 2 ระบบ ต่างกัน แต่เมื่อใช้ทั้ง 2 ระบบควบคู่กันสามารถลด COD และสี azo dye (Orange II) ได้ดี

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและจะใช้ถังปฏิกรณ์จำลองระบบยูเอเอสบี ลักษณะเหมือนกัน 3 ชุด ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเดินระบบบริเวณริมระเบียงชั้น 17 อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขั้นตอนดำเนินงานทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง โดยทั้ง 2 ช่วงการทดลองใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ชั้นกลาง ดังนี้

ช่วงการทดลองที่ 1 เริ่มเดินระบบต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 120 วัน โดยแต่ละถังปฏิกรณ์มีค่าซีโอดีที่เติมให้แก่ระบบ ดังนี้

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา คือ

- อัตราค่าซีโอดีที่เติมให้แก่ระบบที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง

ช่วงการทดลองที่ 2 เดินระบบต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 45 วัน โดยแต่ละถังปฏิกรณ์จะเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้แก่ระบบเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ในปริมาณที่เท่ากัน โดยเติมตามระยะเวลา ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร

สัปดาห์ที่ 2 และ 3 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร

สัปดาห์ที่ 4 และ 5 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา คือ

- อัตราการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้แก่ระบบที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

ตัวแปรคงที่ตลอดการทดลองทั้ง 2 ช่วงการทดลอง คือ

- อัตราการสูบน้ำเข้าระบบ 5 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่กักเก็บ (hydraulic retention time, HRT) เท่ากับ 20 ชั่วโมง

### 3.2 การเตรียมน้ำเสีย

#### 3.2.1 ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ชั้นกลาง ซึ่งได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียมาบ้างแล้ว ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด
พีเอช	6.72 – 7.60
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.0 – 31.0
ซีไอดี (คลอรีนถูกกำจัดออกแล้ว) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	10,400 – 22,000
ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.0
ซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.0
ฟลูออไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.0
คลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3,845.10 – 13,847.20
เอทานอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3,417.0577 – 42,745.4644
สภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	12.0 – 36.0
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	36,614.15 – 63,252.75
ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	36,900.25 – 57,843.80
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	90.183 – 583.80

#### 3.2.2 การเตรียมน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง

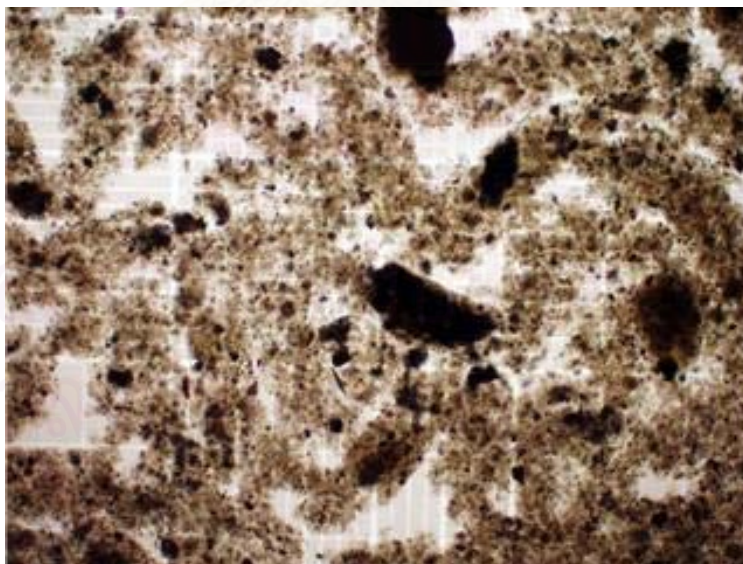
ก่อนนำน้ำเสียเข้าระบบจะทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์ต่างๆก่อน ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อทำการเจือจางน้ำเสียโดยใช้น้ำประปาให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง โดยเตรียมน้ำเสียในอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 350:5:1 และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตให้เพียงพอกับค่าพีเอชที่ระบบต้องการ โดยช่วงการทดลองที่ 1 ในแต่ละถังปฏิกรณ์จะเจือจางน้ำเสียให้ได้ความเข้มข้นของค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นช่วงการทดลองที่ 2 เตรียมน้ำเสียให้มีค่าความเข้มข้นของซีไอดีของแต่ละถังปฏิกรณ์เท่าเดิมแต่ในช่วงการทดลองนี้จะเติม โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ลงไปให้แกระบบเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ในปริมาณที่เท่ากันโดยเติมตามระยะเวลา ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 เดิมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 สัปดาห์ที่ 2 และ 3 เดิมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 สัปดาห์ที่ 4 และ 5 เดิมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 ก่อนการเตรียมน้ำเสียทั้ง 2 ช่วงการทดลองในแต่ละวันจะต้องทำความสะอาดถังน้ำ  
 เข้าระบบก่อนทุกครั้งเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แล้วจึงเจือจางน้ำ  
 เสียใหม่เข้าระบบ หลังจากนั้นต้องตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์ต่างๆตามที่กล่าว  
 มาแล้วข้างต้นก่อนที่จะทำการเดินระบบในแต่ละวัน

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) จะติดตั้งถังปฏิกรณ์ยูเอสบีเหมือนกัน 3 ชุด และทำการ  
 ทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลอง ดังนี้

3.3.1 ในการทดลองวิจัยนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) ชนิดแอนแอโรบิกสลัดจ์  
 (Anaerobic Sludge) จากระบบยูเอสบีของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล ซึ่งมี  
 ลักษณะเป็นฟล็อก (Flocculent Sludge) ทำการคัดส่วนที่เป็นผงแขวนลอยออกให้เหลือแต่ตะกอนที่  
 มีลักษณะสีดำและตกตะกอนได้ดี ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง แสดงด้  
 ภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองเดินระบบ



3.3.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ ขนาดและ โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน และวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid; MLVSS) ของตะกอนจุลินทรีย์

3.3.3 ทำการปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นการเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) และเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่คัดได้ลงในถังปฏิกรณ์ยูเอสบี ทั้ง 3 ชุด ประมาณ 16 - 20 กรัมเอเอ็มแอลวีเอสเอสต่อลิตร จากนั้นสูบน้ำเสียจริงเข้าระบบอย่างต่อเนื่องที่อัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 5 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่เก็บ (hydraulic retention time, HRT) เท่ากับ 20 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาประมาณ 90 วัน โดยเริ่มป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีต่ำก่อนแล้วจึงค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีให้ได้ค่าซีโอดีตามที่ต้องการให้แก่ระบบ โดยการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง ดังนี้

ช่วงการทดลองที่ 1 นี้จะทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 120 วัน โดยแต่ละถังปฏิกรณ์มีค่าความเข้มข้นของซีโอดี ดังนี้

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถังปฏิกรณ์ที่ 3 ค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ช่วงการทดลองที่ 2 เดินระบบต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 45 วัน โดยแต่ละถังปฏิกรณ์จะเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้แก่ระบบเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ในปริมาณที่เท่ากัน โดยเติมตามระยะเวลา ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร

สัปดาห์ที่ 2 และ 3 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร

สัปดาห์ที่ 4 และ 5 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.4 ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางชีวภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทางกายภาพและเคมีของน้ำ เพื่อศึกษาผลของคลอไรด์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ งานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาทดลองรวมทั้งหมดประมาณ 9 เดือน ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

### ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาดำเนินการทดลอง

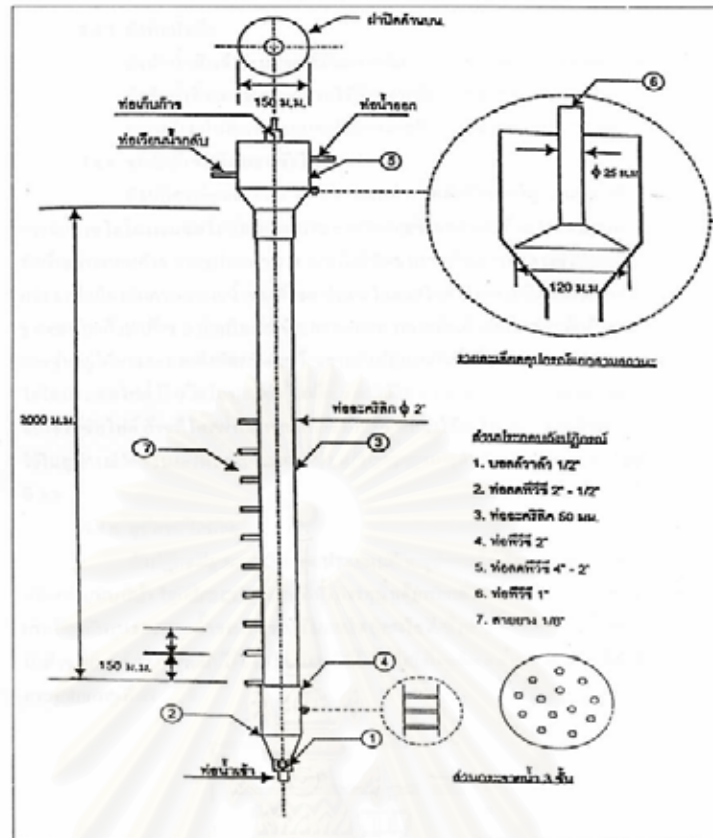
ขั้นตอน	การดำเนินการทดลอง	พ.ศ. 2549		พ.ศ.2550						
		พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1.	ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ	←→								
2.	ช่วงการทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราค่าซีโอดีที่เติมให้แก่ระบบที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง				←→					
3.	ช่วงการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของคลอรีนที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลาง							←→		

### 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.4.1 ถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

ในการทดลองนี้ใช้แบบจำลองถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีทำจากท่ออะคริลิกใสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร มีส่วนย่อยสลายสูง 2 เมตร ปริมาตรกักเก็บน้ำทั้งหมด 4 ลิตร ด้านบนมีชุดอุปกรณ์แยกสามสถานะ ( Gas-Solid Separator; GSS ) ทำจากท่อพีวีซี ส่วนด้านข้างของถังปฏิกรณ์มีวาล์วสำหรับเก็บตัวอย่างตะกอนตามความสูงของถัง จำนวน 10 ตำแหน่ง ซึ่งรายละเอียดแบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี แสดงดังภาพที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.2 ถังปั๊มกรณียูเอเอสบี

### 3.4.2 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 1 ชุด ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ 1 ตัว สำหรับสูบน้ำเสียเข้าระบบ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ Metering Pump จะสูบน้ำเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง

### 3.4.3 ถังพักน้ำเสีย

- 1) ถังพักน้ำเสียเข้าระบบ ใช้ถังพลาสติกที่มีปริมาตร 30 ลิตร จำนวน 3 ถัง
- 2) ถังพักน้ำเสียออกจากระบบ ใช้ถังพลาสติกที่มีปริมาตร 20 ลิตร จำนวน 3 ถัง
- 3) ถังเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ใช้ถังพลาสติกที่มีปริมาตร 30 ลิตร จำนวน 1 ถัง

### 3.4.4 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ

ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 1 ชุด ประกอบด้วยอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ 1 ชุดต่อเข้ากับท่อนำก๊าซจากระบบยูเอเอสบีทางด้านบน โดยใช้หลักการแทนที่น้ำและทำการปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าต่ำกว่าพีเอช 3 เพื่อป้องกันการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซที่วัดได้คือปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบ แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

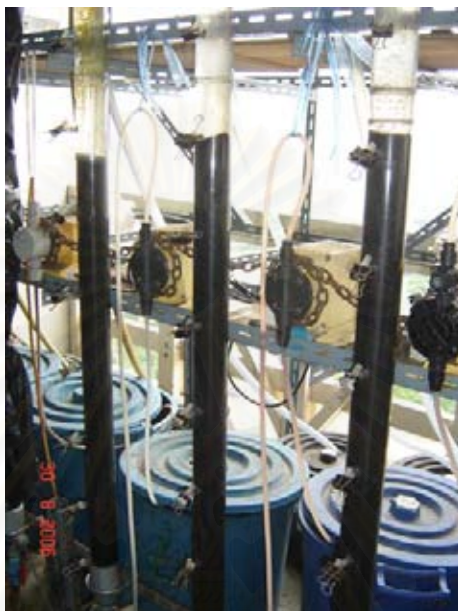
### 3.5 ติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ

การติดตั้งถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีต้องระวังเรื่องแสงแดดที่ส่องผ่านระบบเนื่องจากแสงแดดจะทำให้เกิดสาหร่ายสีเขียวซึ่งจะสังเคราะห์แสงและผลิตก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ระบบซึ่งระบบที่ทดลองนี้ไม่ต้องการออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องนำถุงพลาสติกสีดำมาคลุมส่วนย่อยสลายของระบบที่ทำจากอะคริลิกใสไว้เพื่อเป็นการป้องกันแสงส่องผ่าน โดยทำการติดตั้งถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีบริเวณริมระเบียงชั้น 17 อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การติดตั้งระบบยูเอเอสบี แสดงดังภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5 โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้

3.5.1 น้ำเสียในถังพักน้ำเสียเข้าระบบจะถูกสูบเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow)

3.5.2 น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์จะไหลออกทางด้านบนของถังปฏิกรณ์ยูเอสบีไปยังถังพักน้ำทิ้งออกจากระบบ

3.5.3 ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบจะไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะ (Gas-Solid Separator; GSS) ทางด้านบนของถังปฏิกรณ์ยูเอสบีไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ



ภาพที่ 3.4 น้ำเสียในถังพักน้ำเข้าระบบ



ภาพที่ 3.5 น้ำทิ้งไหลออกจากระบบด้านบน

### 3.6 การเดินและการควบคุมระบบ

#### 3.6.1 การเดินระบบ

ระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์โดยตรง ซึ่งการป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างโดยตรงนั้นมีข้อเสียที่สำคัญ คือ ในกรณีที่น้ำเสียในถังพักน้ำเสียหมดจะทำให้มีการสูบอากาศเข้าสู่ระบบได้ซึ่งเป็นการนำออกซิเจนเข้าไปในถังปฏิกรณ์ทำให้เกิดผลเสียต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องหาวิธีป้องกันปัญหาดังกล่าวที่จะเกิดขึ้น โดยเตรียมน้ำเสียให้มีปริมาณเพียงพอต่อการทำงานของระบบในแต่ละวัน ด้วยการเติมน้ำเสียใหม่ทุกวันให้เพียงพอเพื่อป้องกันน้ำเสียหมดถัง นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันปัญหาฟิเอชของน้ำเสียเข้าระบบต่ำจนเกินไปซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่ำลงไปด้วย

#### 3.6.2 การควบคุมระบบ

การควบคุมระบบสำหรับงานวิจัยนี้ ทำการควบคุมปัจจัยต่างๆของระบบให้เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตการทดลอง เพื่อควบคุมการทดลองให้ได้ผลที่มีความถูกต้องมากที่สุดโดยทำการควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังนี้

##### 1) อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

ในงานวิจัยนี้เมื่อเริ่มเดินระบบ จะทำการวัดอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำให้ได้ตามที่กำหนดไว้ คือ 5 ลิตรต่อวัน เท่ากันทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ นอกจากนั้นยังต้องหมั่นสังเกตปริมาณน้ำในถังพักน้ำเสียเข้าระบบที่หมดในแต่ละวันด้วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อทำการทดลองไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง อัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำจะลดลง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นกลางมาทดลองซึ่งน้ำเสียนี้มีค่าคลอไรด์สูงมากจะทำให้เกิดการอุดตันของคราบคลอไรด์ในสายยางและหัวปั๊มเครื่องสูบน้ำ ดังนั้นจึงต้องหมั่นถอดออกมาล้างทำความสะอาดบ่อยๆเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าว

##### 2) สภาพแวดล้อมทางกายภาพ

ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่สำคัญที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบคือ แสงสว่างและอุณหภูมิ เนื่องจากถ้าแสงสว่างสามารถส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้จะทำให้เกิดสาหร่ายสีเขียวขึ้นบริเวณผนังด้านในของถังปฏิกรณ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนลดลง ดังนั้นจึงต้องป้องกันไม่ให้แสงสว่างส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้ โดยการใช้ถุงพลาสติกสีดำมาคลุมส่วนย่อยสลายของระบบที่ทำจากอะคริลิกใสไว้เพื่อ

เป็นการป้องกันแสงส่องผ่านและต้องคลุมในลักษณะที่แกะหรือเปิดออกได้ง่าย เพื่อให้สามารถตรวจลักษณะของแบคทีเรียที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ได้โดยง่าย

การควบคุมอุณหภูมิ จะทำในกรณีที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพอากาศปกติทั่วไป ซึ่งอุณหภูมิที่ลดต่ำมากจะมีผลกระทบโดยตรงต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทมีโซฟิลิก (Mesophilic) โดยจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส และเนื่องจากสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร โดยทั่วไปแล้วจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทมีโซฟิลิก (Mesophilic) อยู่แล้ว ดังนั้นปัจจัยด้านอุณหภูมิจึงไม่มีผลกระทบมากนัก

### 3) อุปกรณ์ต่างๆของระบบ

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบให้ทำงานได้อย่างปกติเป็นสิ่งสำคัญอีกด้านหนึ่ง โดยสิ่งที่จำเป็นต้องทำ ได้แก่ การล้างทำความสะอาดถังพักน้ำเสีย การตรวจสอบไม่ให้เกิดการอุดตันของตะกอนภายในท่อสายยางและหัวปั๊มเครื่องสูบน้ำ การตรวจสอบความเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นกับสายยาง เช่น การเกิดรูรั่ว ซึ่งต้องเปลี่ยนสายยางใหม่ เพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียให้เท่ากับที่กำหนด ตลอดจนตรวจสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้สูบน้ำเสียเข้าระบบอย่างสม่ำเสมอ

### 3.7 การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง จึงกำหนดวิธีวิเคราะห์ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ จุดเก็บตัวอย่างน้ำและความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ			
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกระบบ	อุปกรณ์วัดก๊าซ	ช่องเก็บตัวอย่าง
พีเอช	pH meter	A	A	-	-
อุณหภูมิ	Thermometer	A	A	-	-
ซีโอดี (คลอไรด์ถูกกำจัดออกแล้ว)	Close Reflux, Titrimetric	B	B	-	-
ซัลเฟต*	IC (Ion Chromatography)	C	C	-	-
ซัลไฟด์	Iodometric Method	C	C	-	-
คลอไรด์*	IC (Ion Chromatography)	C	C	-	-
เอทานอล	GC (Gas Chromatography)	B	B	-	-
ฟลูออไรด์*	IC (Ion Chromatography)	C	C	-	-
สภาพด่างทั้งหมด	Direct titration Method	C	C	-	-
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	TDS = TS - TSS	C	C	-	-
ของแข็งทั้งหมด	ระเหยด้วยถ้วยกระเบื้อง	C	C	-	-
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	กรองด้วยกระดาษ GF/C	C	C	-	-
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ	-	-	D	-
สัดส่วนของก๊าซ	GC (Gas Chromatography)	-	-	E	-
ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน	SMA (Specific Methanogenic Activity) (ภาคผนวก ง)	-	-	-	E
ขนาดและโครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	SEM (Scanning Electron Microscope)	-	-	-	E
การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	Particle Size	-	-	-	E

หมายเหตุ : \* คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง (ช่วงการทดลองที่ 2)

A คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

B คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 2 ครั้ง

C คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

D คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์เดือนละ 2 ครั้ง

E คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์หลังจากสิ้นสุดการทดลอง



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

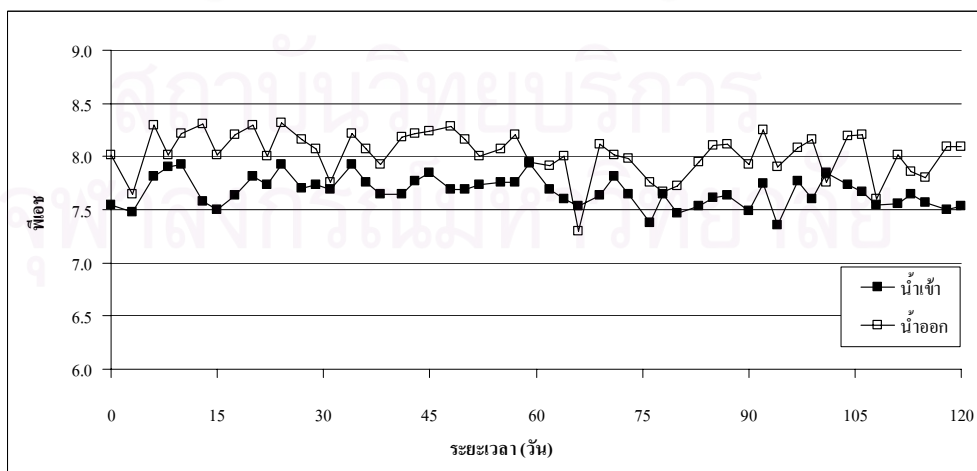
#### 4.1 ผลการวิจัย

##### 4.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียปิโตรเคมี ช่วงการทดลองที่ 1

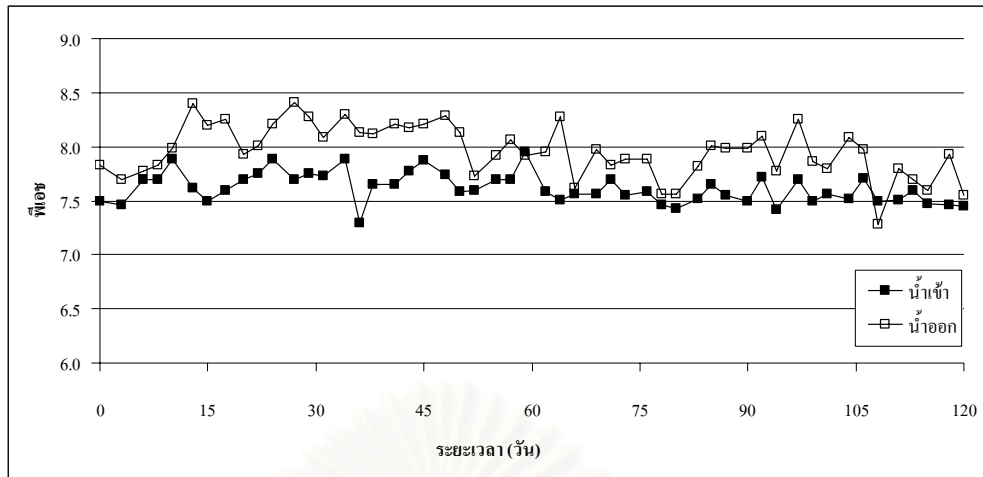
การทดลองนี้เป็นช่วงการทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยกำหนดอัตราการสูบน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 5 ลิตรต่อวัน เวลาพักเก็บ 20 ชั่วโมงต่อวัน ระยะเวลาเดินระบบ 120 วันและความเข้มข้นของซีโอดีตลอดการทดลองที่ 1 คือ ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ตลอดการทดลองจำนวนเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งจำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

##### 4.1.1.1 พีเอช

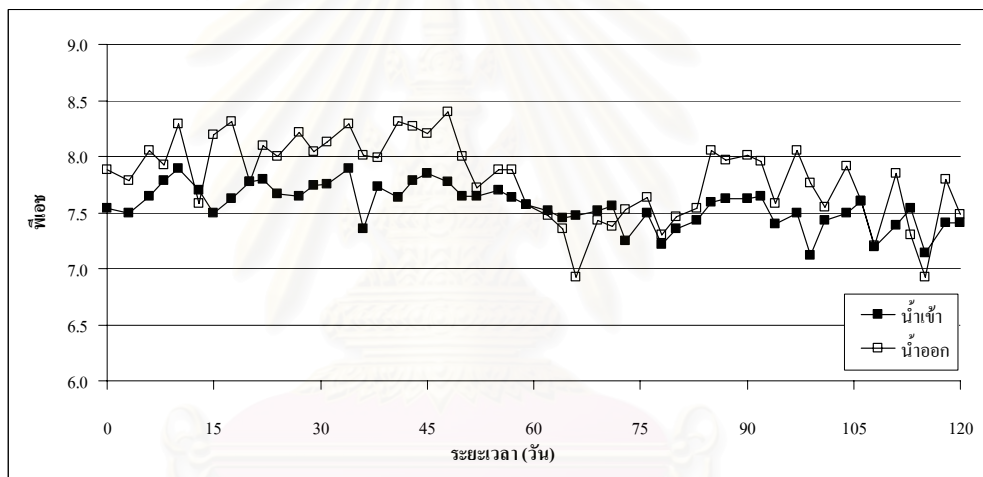
พีเอชของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าพีเอชของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 7.66, 7.60 และ 7.58 ตามลำดับ ส่วนพีเอชของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 8.07, 7.97 และ 7.88 ตามลำดับ ค่าพีเอชของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.1



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



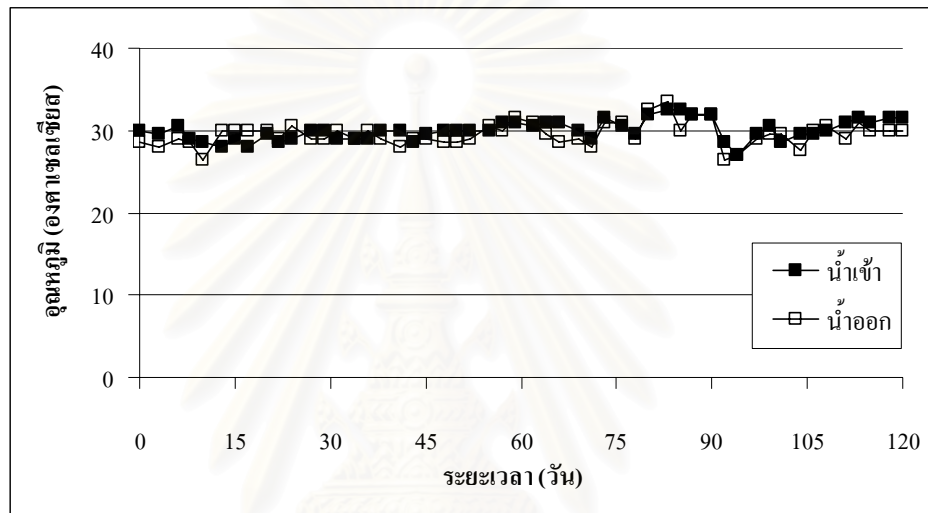
(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.1 ค่าฟิวของช่วงการทดลองที่ 1

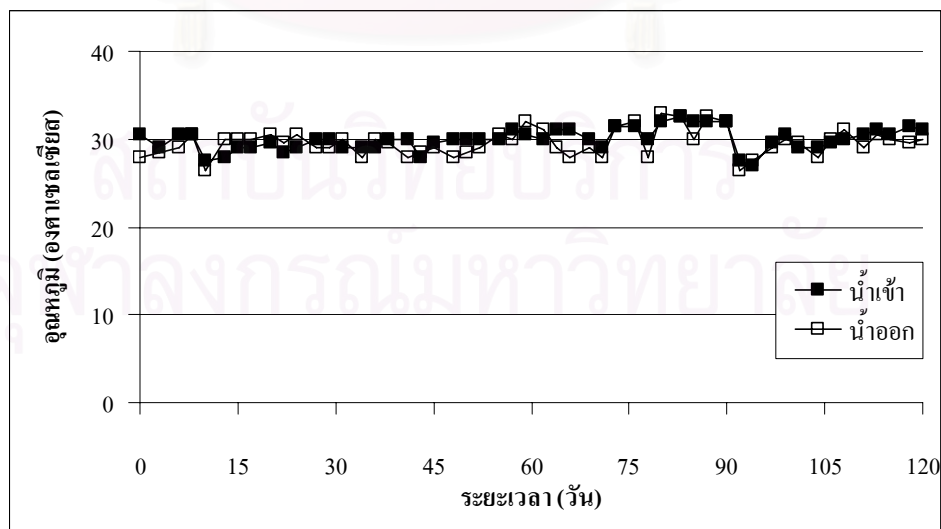
จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ค่าฟิวเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าฟิวเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ เนื่องจาก ในระบบมีกำลังปั๊มเฟออร์สูงซึ่งเพียงพอการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและฟิวของน้ำเสียยังอยู่ในช่วง 6.8 – 8.2 ซึ่งเป็นช่วงฟิวที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งถ้าหากระบบมีค่าฟิวต่ำจะมีปริมาณไฮโดรเจนออกไซด์อยู่มากทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าฟิวในระบบจึงขึ้นอยู่กับปริมาณปั๊มเฟออร์ (Buffer Capacity) ในระบบ

#### 4.1.1.2 อุณหภูมิ

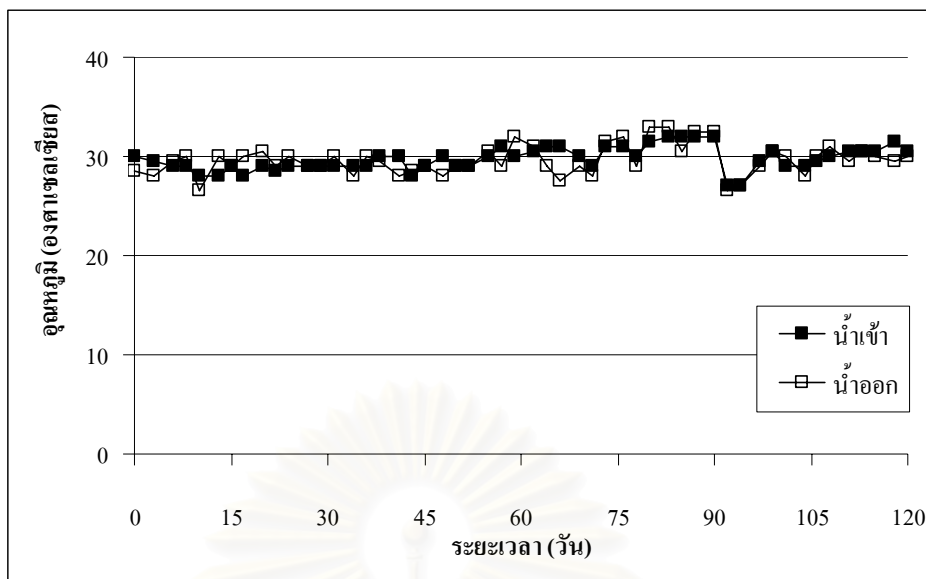
อุณหภูมิของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีอุณหภูมิของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 30.00, 30.00, และ 29.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 29.50, 29.50 และ 29.50 ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.2



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



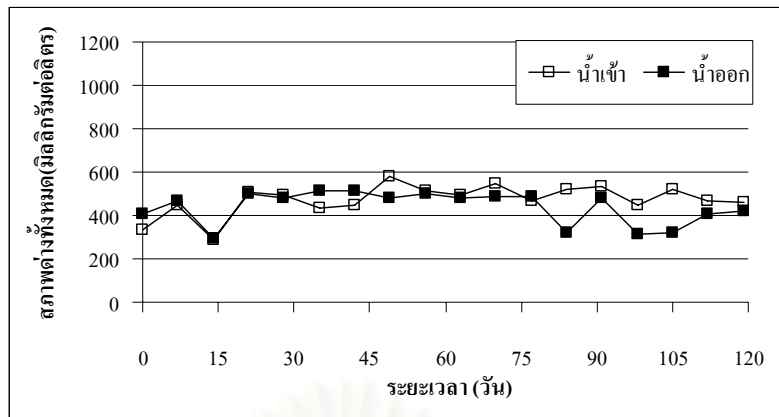
(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิของช่วงการทดลองที่ 1

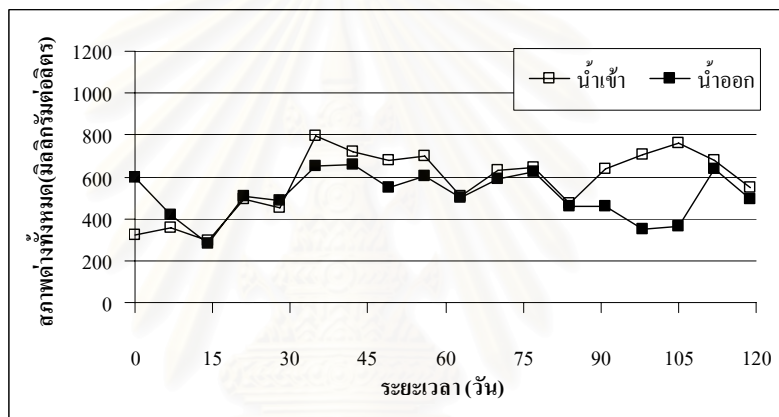
จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของถัง 3 ถังปฏิกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกันมากและยังอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

##### 4.1.1.3 สภาพต่างทั้งหมด

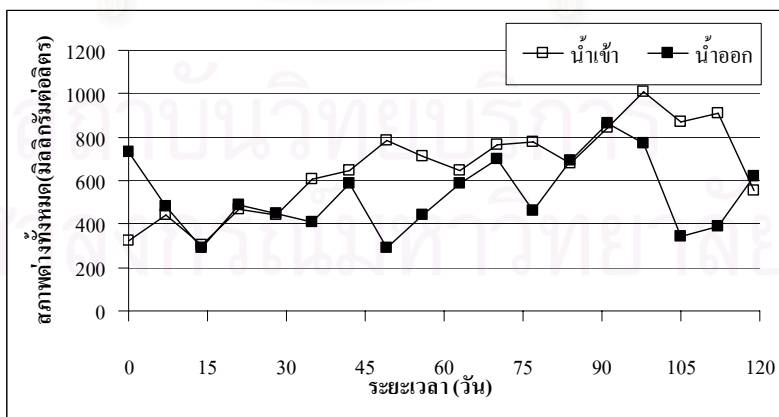
สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 481, 634 และ 665 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 478, 502 และ 483 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าสภาพต่างทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.3



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



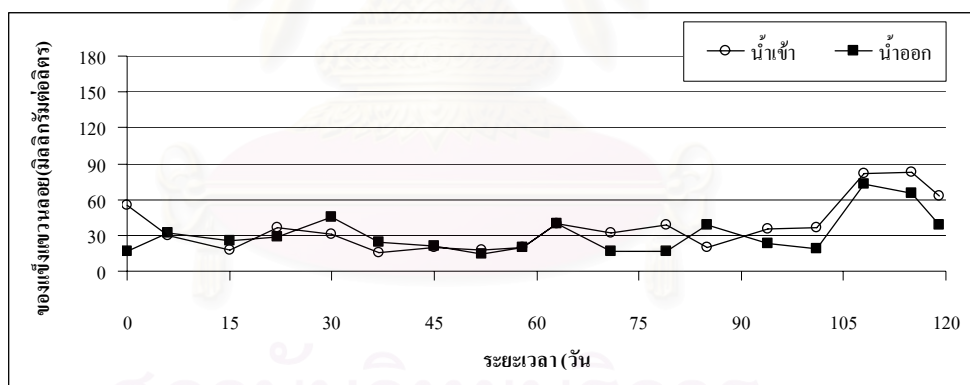
(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.3 สภาพต่างทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 1

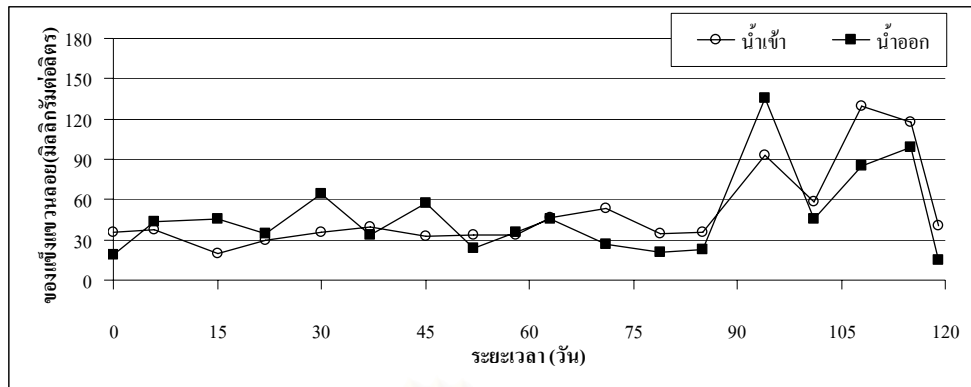
ภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบ โดยเฉลี่ยแล้วของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในการทดลองนี้ได้เติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ให้แก่ระบบเพื่อเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ในน้ำเสียเข้าระบบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดจะสร้างกรดไขมันระเหยจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ ถ้าหากในระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอจะทำให้พีเอชในระบบลดลงจนเกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบส่งผลให้ระบบล้มเหลวได้

#### 4.1.1.4 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมดและของแข็งละลายน้ำ

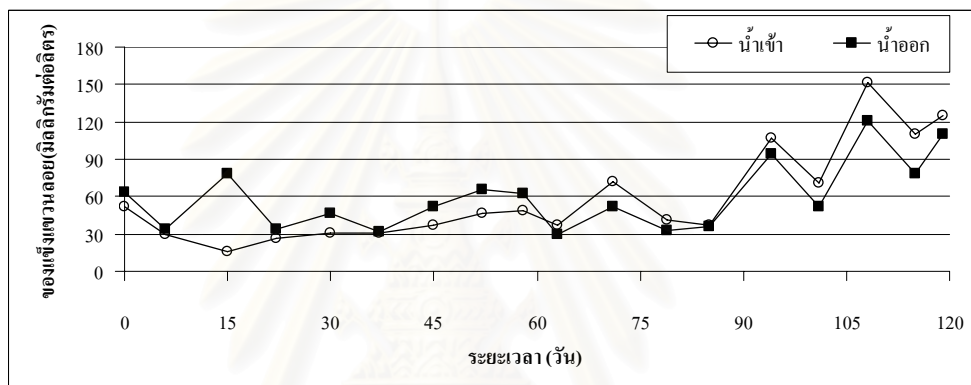
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 33.50, 36.75 และ 43.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียออกจากระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 24.90, 39.50 และ 52.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.4



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

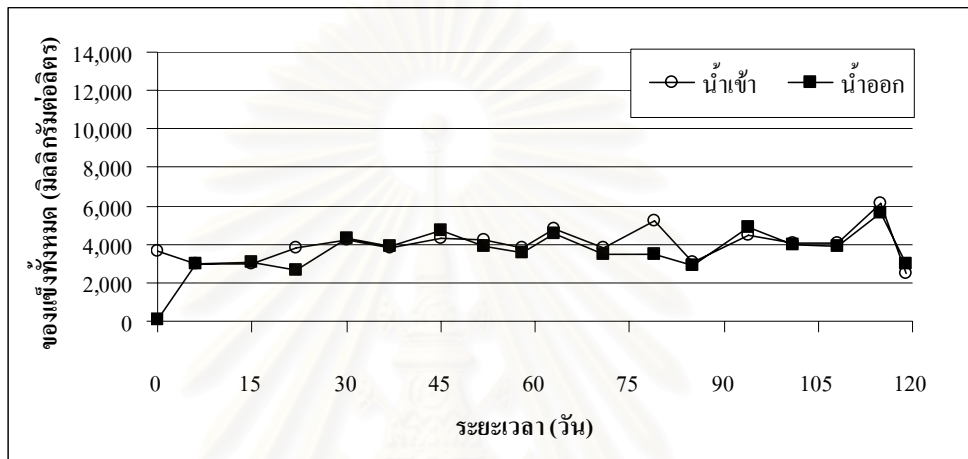


(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

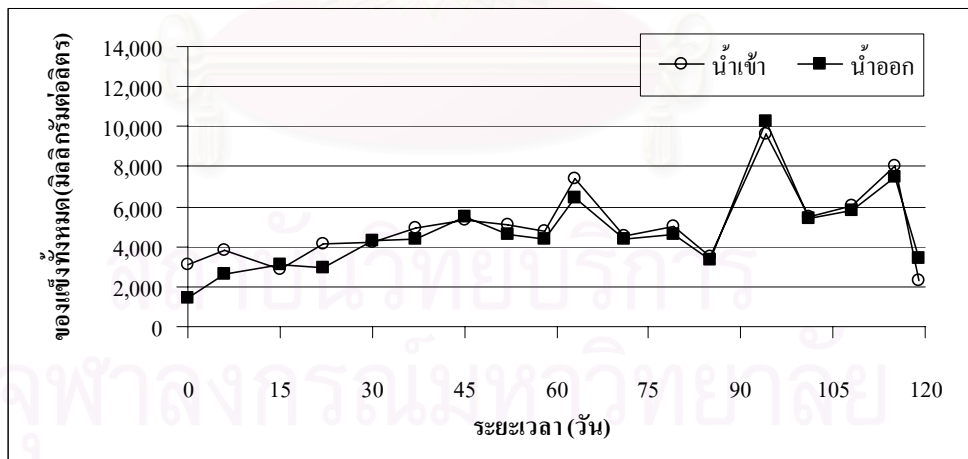
ภาพที่ 4.4 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบของทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าของในบางวันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมากับน้ำที่นั่นส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาหลุดลอยออกมาส่วนที่ไม่ใช่จุลินทรีย์จะเป็นพวกคราบเกลือคลอไรด์ที่เป็นฝุ่นผงเล็กๆไม่ตกตะกอนหลุดออกมาด้วย ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพไม่สามารถบำบัดคลอไรด์ได้จึงอาจเกิดการสะสมของคลอไรด์ในระบบด้วย นอกจากนั้นยังเกิดจากการเตรียมน้ำเสียในแต่ละวันด้วย หากเตรียมน้ำเสียแล้วมีค่าซีโอดีเกินกว่าที่ระบบรับได้จะเกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนจุลินทรีย์ทำให้มีจุลินทรีย์น้ำหนักเบาหลุดออกมามากและการที่จุลินทรีย์น้ำหนักเบาหลุดออกจากระบบยังเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์ของแบคทีเรียอีกด้วย

ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่ เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 3,936.25, 4,848.75 และ 5,349.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วน ของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออกจากระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 3,709.25, 4,382.50 และ 5,185.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าของแข็งทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.5

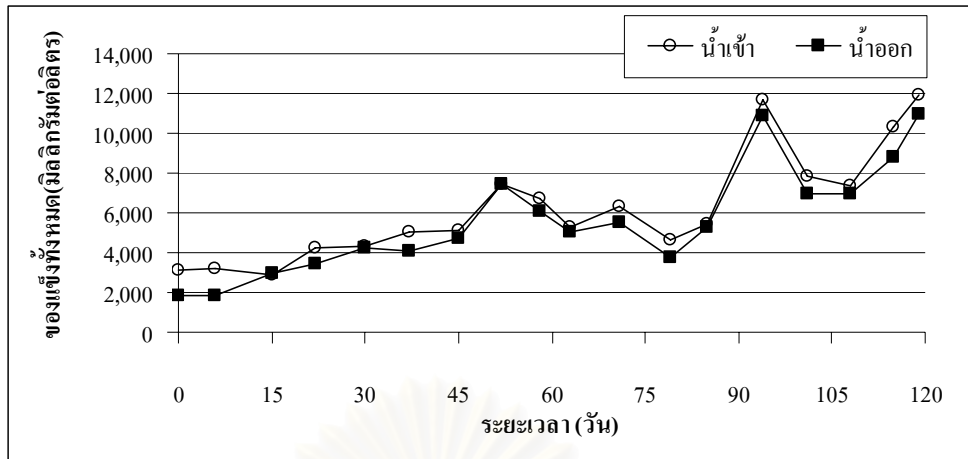


(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

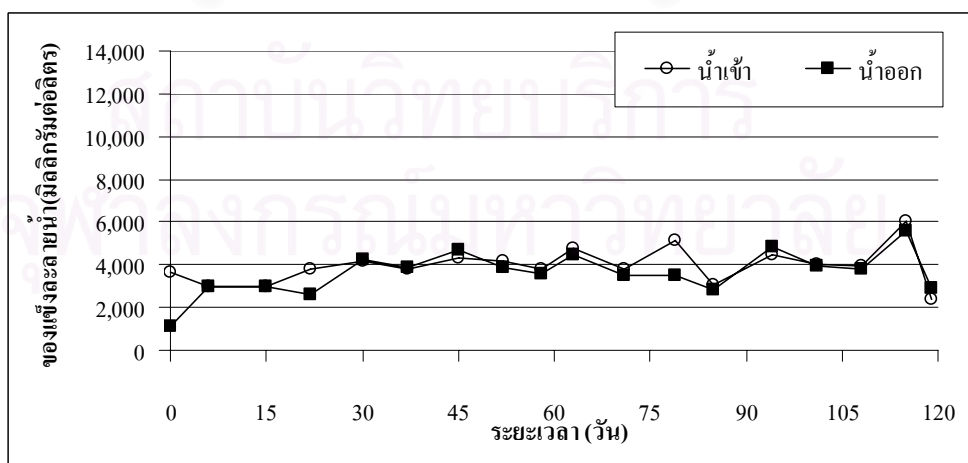




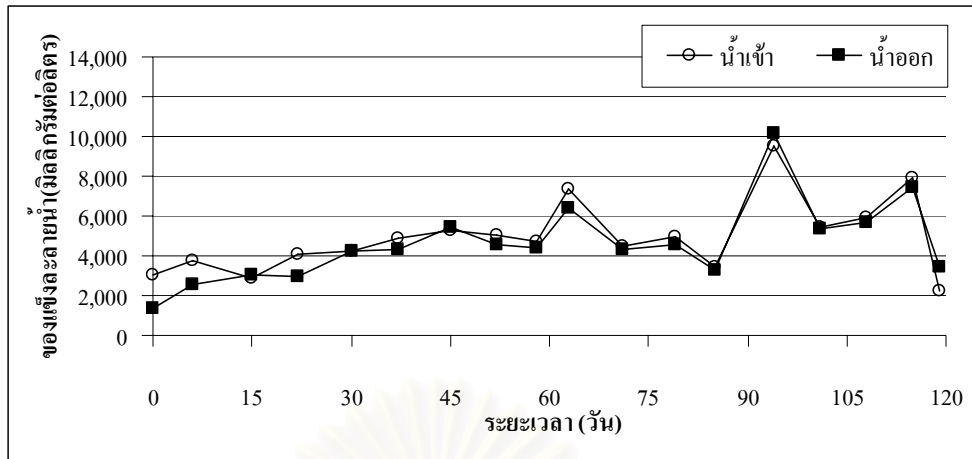
(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.5 ของแข็งทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 1

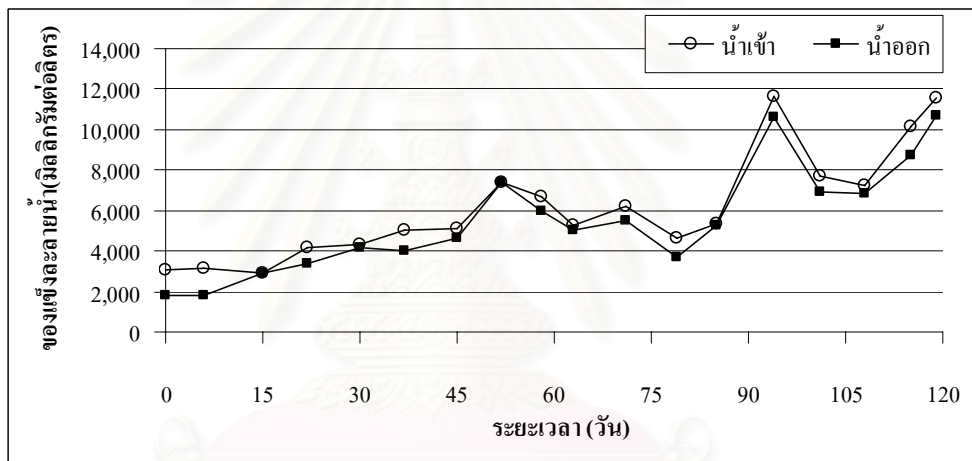
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดใน น้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 3,885.35, 4,812.15 และ 5,312.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออกจากระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 3,658.85, 4,351.70 และ 5,152.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.6



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิลิตรต่อลิตร



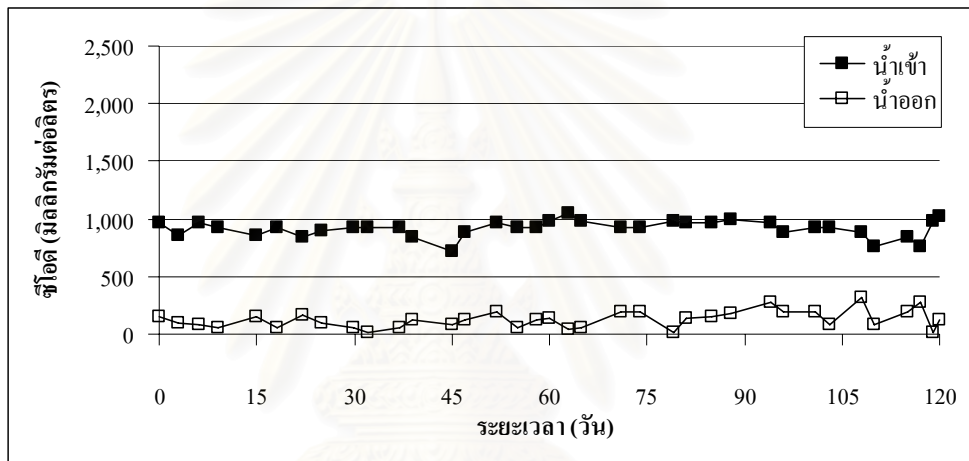
(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิลิตรต่อลิตร

ภาพที่ 4.6 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 1

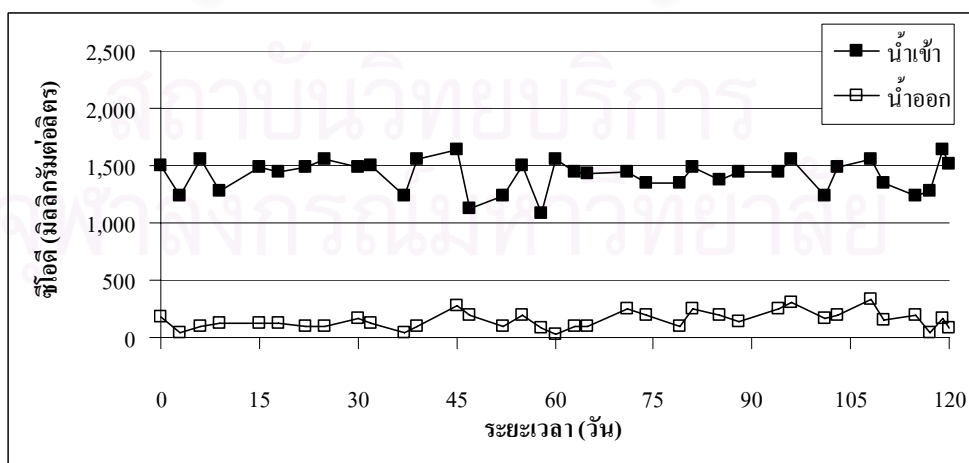
จากภาพที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่า ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำออกจากระบบของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์มีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ เนื่องจากระบบมีการกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งละลายน้ำในน้ำออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ

#### 4.1.1.5 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

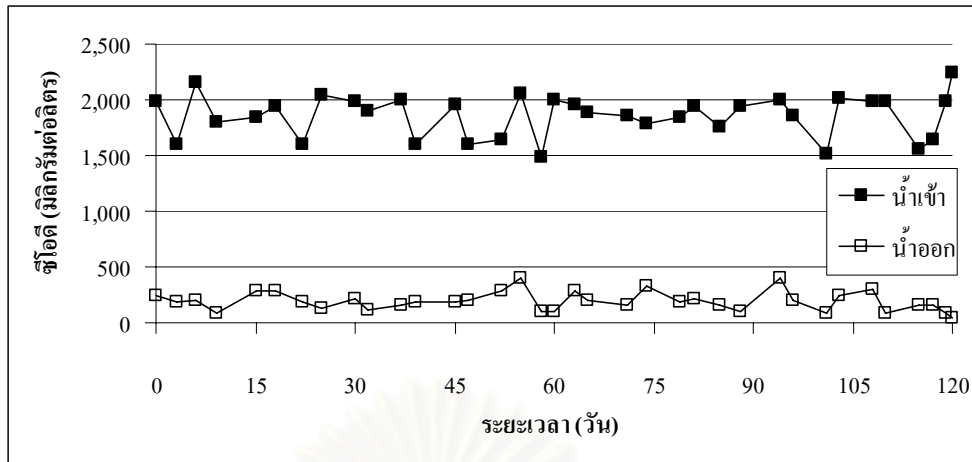
ซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 920, 1,450 และ 1,925 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของน้ำออกจากระบบ เท่ากับ 120, 136 และ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 86.66, 90.49 และ 89.58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.7 และ 4.8



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

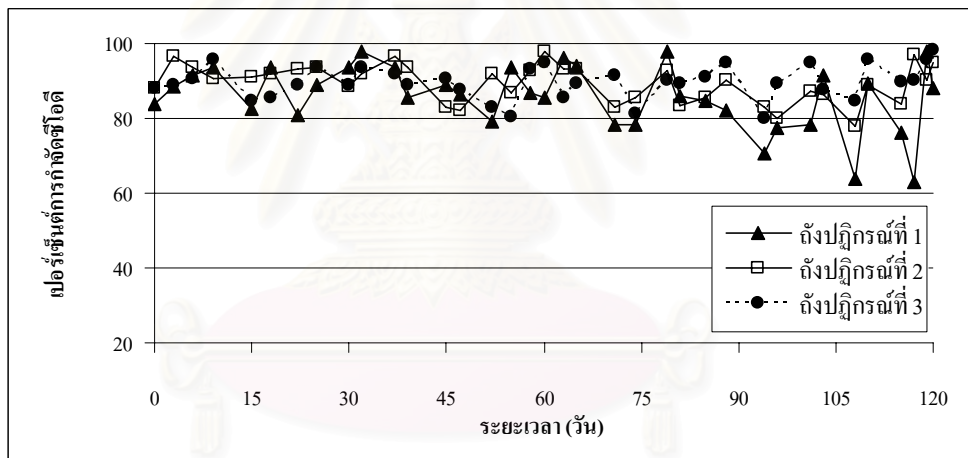


(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.7 ค่าซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 1

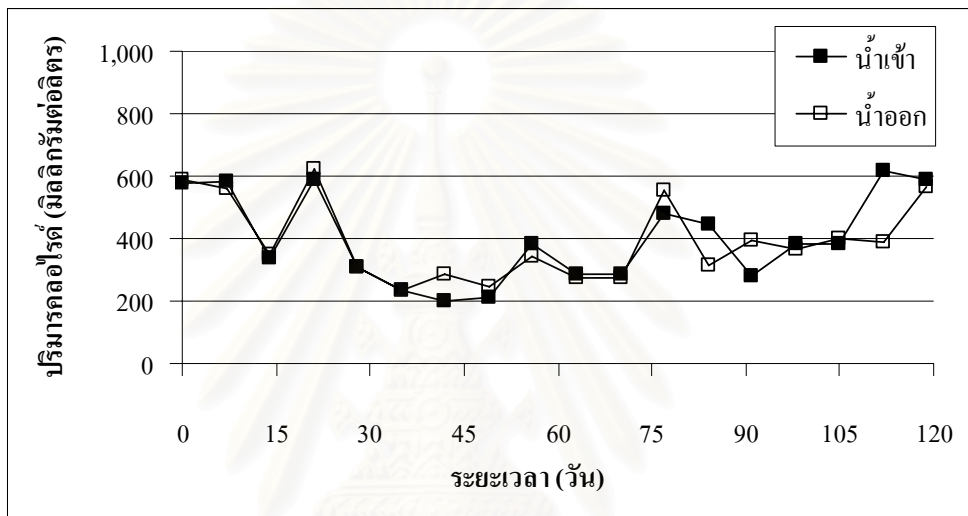


ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 1

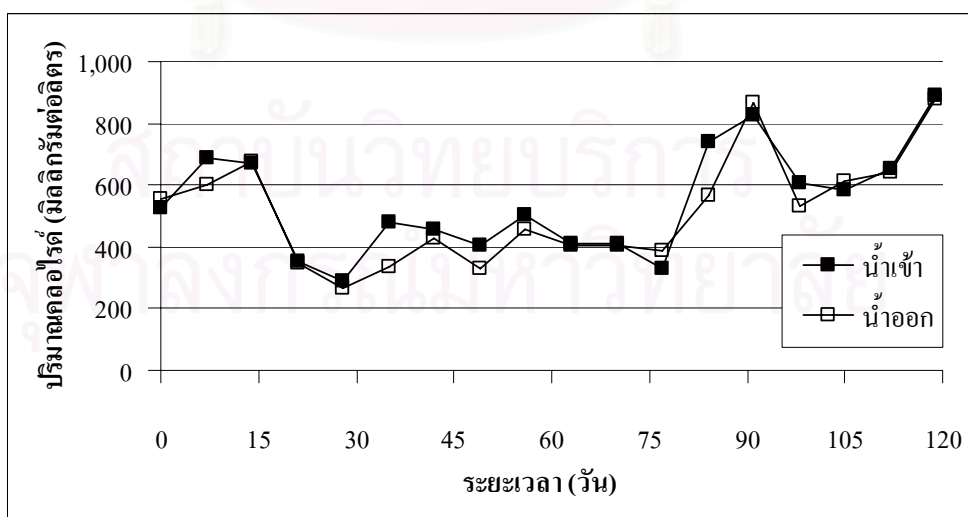
จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นได้ว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำเข้าระบบเท่ากับ 920, 1,450 และ 1,925 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เนื่องจากในแต่ละวันมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบทุกวันทำให้ค่าซีโอดีมีค่าแตกต่างกัน แต่ค่าความเข้มข้นของซีโอดีในระบบก็ยังคงใกล้เคียงกับค่าซีโอดีที่กำหนดไว้ จากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าในน้ำเสียจะมีปริมาณคลอรีนอยู่ในปริมาณมากก็ตาม แสดงว่า คลอรีนไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

#### 4.1.1.6 ปริมาณคลอไรด์

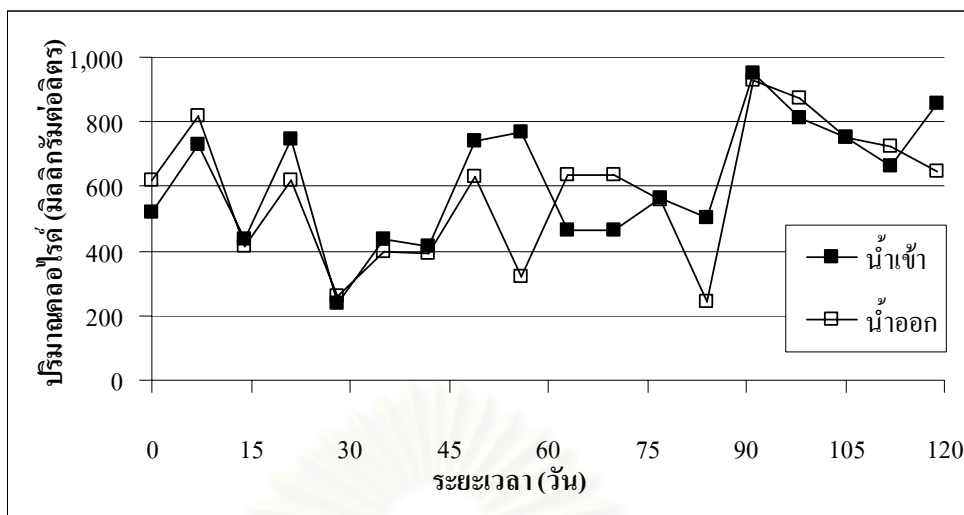
ปริมาณคลอไรด์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยของน้ำเข้าระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 380.3720, 514.2305 และ 612.6465 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยของน้ำออกจากระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 357.1665, 493.2080 และ 624.6390 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณคลอไรด์ ช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.9



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

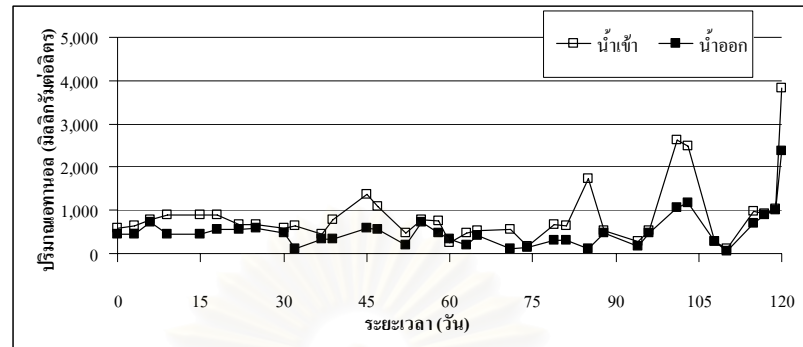
#### ภาพที่ 4.9 ปริมาณคลอไรด์ ช่วงการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีปริมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีปริมาณคลอไรด์สูงซึ่งคลอไรด์เป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพไม่สามารถบำบัดได้จึงทำให้ปริมาณคลอไรด์ในน้ำออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้าระบบและยังพบว่าคลอไรด์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีอย่างชัดเจนแต่มีผลเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากปริมาณคลอไรด์จะทำให้เกิดความต่างศักย์ของออสโมสระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ นำมาซึ่งสภาวะ Osmosis stress ซึ่งสภาวะนี้จะทำให้เม็ดตะกอนมีโพรงช่องว่างเกิดขึ้นภายใน (จากผลการวิเคราะห์ SEM) และขนาดของเม็ดตะกอนเล็กลงในช่วงแรกเดินระบบ (จากผลการวิเคราะห์ Particle size) จนอาจเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบหรือตายได้

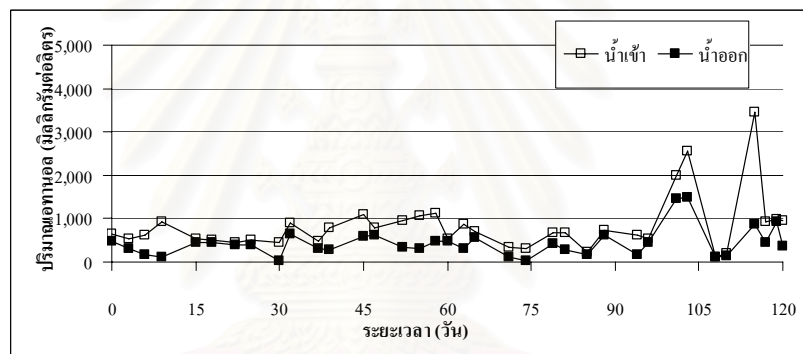
#### 4.1.1.7 ปริมาณเอทานอลและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณเอทานอลของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 666.3662, 681.5455 และ 796.0704 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของน้ำออกจากระบบ เท่ากับ 452.6672, 382.8342 และ 473.6217 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์

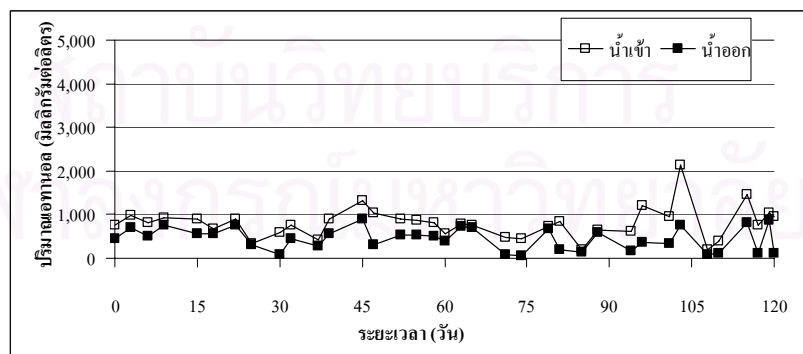
ไทล์ 50 เท่ากับ 37.18, 44.22 และ 38.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณเอทานอลและประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอล ช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.10 และ 4.11



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

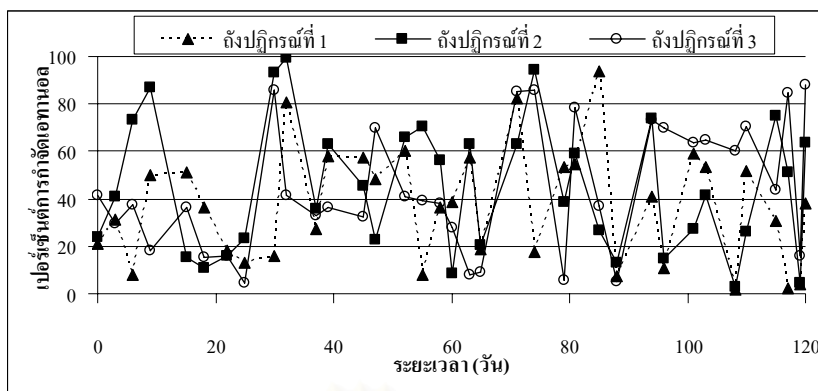


(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.10 ปริมาณเอทานอล ช่วงการทดลองที่ 1



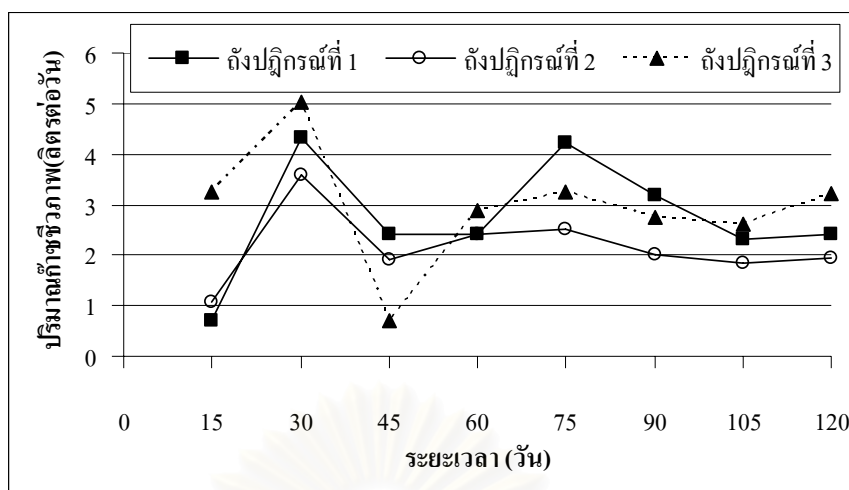
ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอล ช่วงการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นว่า ปริมาณเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในน้ำออกจากระบบทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าปริมาณเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในน้ำเข้าระบบและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายและปรับตัวเข้ากับความเข้มข้นของปริมาณเอทานอลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ เนื่องจากการทดลองนี้ใช้น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีซึ่งใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิตทำให้มีปริมาณเอทานอลหลุดออกมาคือน้ำทิ้งด้วย ทั้งนี้เอทานอลเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้และยังระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่ายอีกด้วย ในการทดลองนี้ปริมาณเอทานอลยังเป็นแหล่งคาร์บอนที่ทำให้ซีโอดีในระบบมีค่าสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าหากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพมีปริมาณเอทานอลสูงก็จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากเอทานอลจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบตายอาจส่งผลให้ระบบล้มเหลวได้

#### 4.1.1.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด

ปริมาณก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิบัติการที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถวัดปริมาตรก๊าซได้จากอุปกรณ์เก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำซึ่งเป็นการเก็บปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบ โดยถึงปฏิบัติการที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 2.40, 1.98 และ 3.06 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.12





ภาพที่ 4.12 ปริมาณก๊าซชีวภาพ ช่วงการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะเห็นได้จากช่วงแรกปริมาณก๊าซจะยังไม่คงที่เนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ในระบบกำลังปรับตัวแต่เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองนี้จะเริ่มคงที่ตามไปด้วยเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถปรับสภาพได้ และมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ในปริมาณที่คงที่และในการทดลองนี้ยังพบว่า ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดและถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยที่สุด แสดงว่าจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีขีดความสามารถในการปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียได้น้อยที่สุด

#### 4.1.1.9 สัดส่วนของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน แสดงดังตารางที่ 4.1

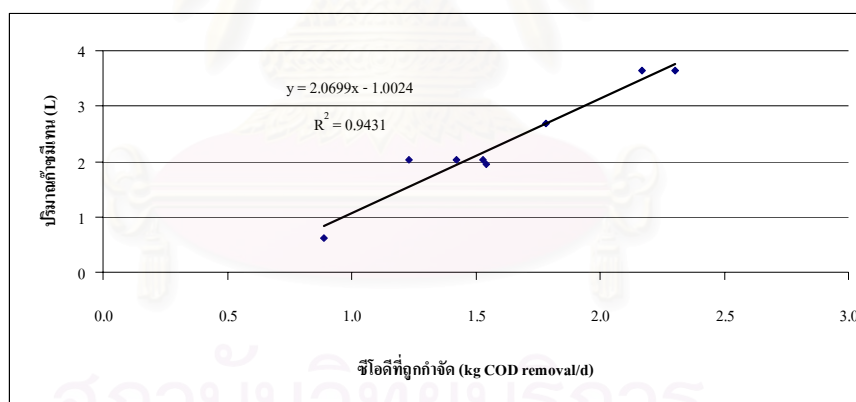
ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนของก๊าซมีเทน ช่วงการทดลองที่ 1

ถึงปฏิกรณ์	% ก๊าซมีเทน
1	84.20
2	80.40
3	77.48

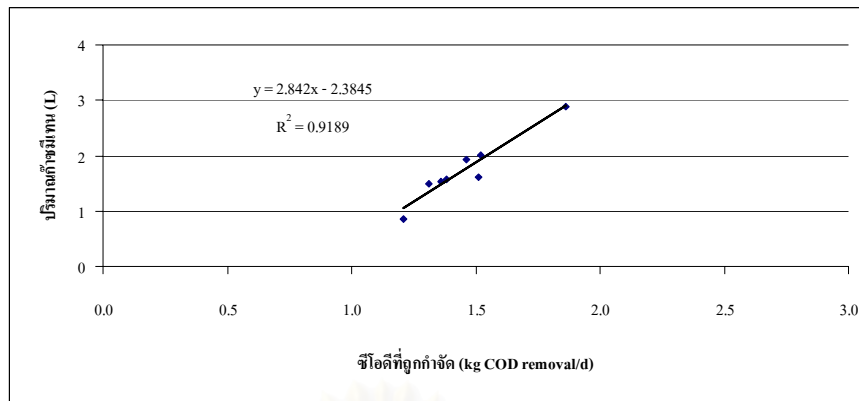
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ พบว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีก๊าซมีเทนมากที่สุด รองลงมาคือ ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แสดงว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบได้ดีที่สุด ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่สมบูรณ์ ซึ่งการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งคาร์บอนสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบได้

#### 4.1.1.10 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบ

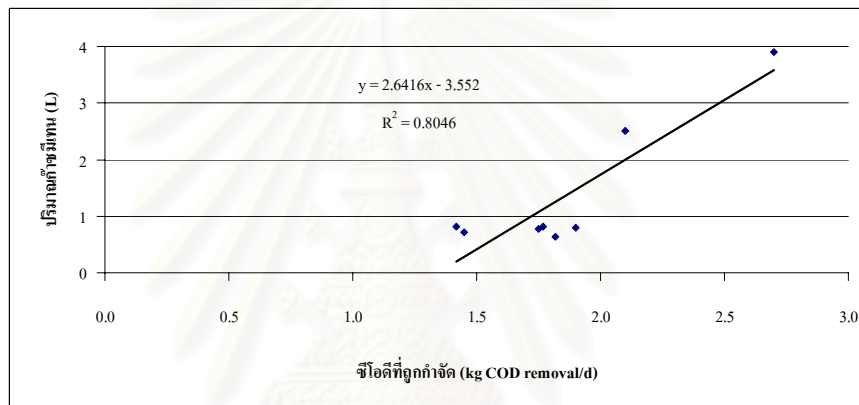
ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถวัดปริมาณก๊าซมีเทนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย เท่ากับ 84.20, 80.40 และ 77.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนซีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 1.54, 1.42 และ 1.80 kg COD removal/d ตามลำดับ ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของช่วงการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.13



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(จ) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.13 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ช่วงการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นตรง โดยค่าความชันของเส้นกราฟจะแสดงถึงปริมาณก๊าซมีเทนต่อค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งแสดงถึงอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบ โดยสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันขึ้นเมื่อจุลินทรีย์ในระบบสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากปริมาณก๊าซมีเทนก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

#### 4.1.1.11 สมดุลมวลของซีโอดี

สมดุลมวลของซีโอดีที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หากพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีในการทดลองช่วงที่ 1 นี้ จะทำให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยพิจารณาได้จากค่า % recovery ของข้อมูลที่ได้ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า % COD recovery ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของการทดลองช่วงที่ 1

ถึงปฏิกรณ์	ซีโอดี (mg/l)		ก๊าซทั้งหมดต่อวัน (L)	% มีเทน	% recovery
	น้ำเข้า	น้ำออก			
1	920	120	2.75	84.20	66.71
2	1,450	136	2.17	80.40	75.73
3	1,925	180	2.97	77.48	74.09

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ค่า % COD recovery ไม่สามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียได้ ดังนั้นค่า % COD recovery ที่ได้ในการทดลองช่วงที่ 1 นี้ จึงน้อยกว่าความเป็นจริงเสมอ โดยจากงานวิจัยของ จันทิมา สกุกพานิชัย (2548) กล่าวถึงชีวเคมีของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนว่า แบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับแบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนแล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจน คือ แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนได้พลังงานจากการย่อยสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เทียบเท่ากับ 38 ATP แต่ถ้าเป็นแบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจนแล้วจะได้พลังงานรวมเพียง 7 ATP เท่านั้น พลังงานส่วนนี้ยังถูกใช้โดยแบคทีเรียหลายชนิด ดังนั้น ค่ายิลด์ของแบคทีเรียประเภทนี้จึงมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์

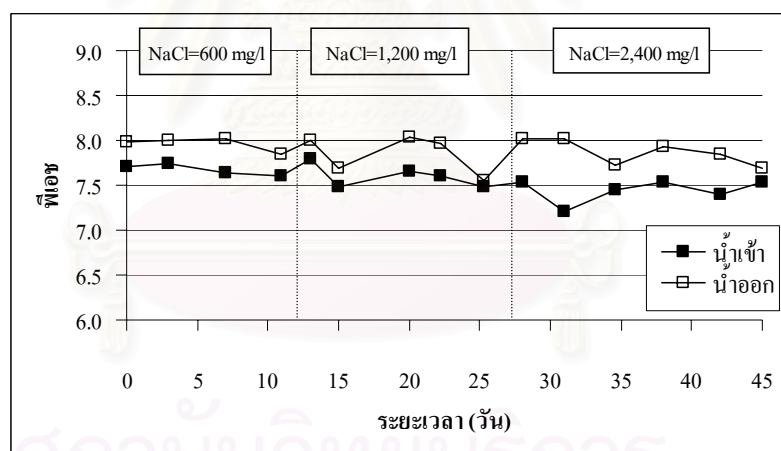
เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้ % COD recovery มีค่าน้อยกว่า 100 นั้น สาเหตุมาจากไม่สามารถวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์และที่ถูกใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียได้ เนื่องจากได้ทำการกรองตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ซีโอดี ทำให้ค่าซีโอดีที่เกิดจากเซลล์จุลินทรีย์ไม่ได้ถูกวัดไปด้วยทำให้ขาดข้อมูลส่วนนี้ไป นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซที่เก็บได้อาจเกิดการรั่วไหลในขณะเก็บตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จึงส่งผลต่อปริมาตรของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้ค่า % COD recovery ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

#### 4.1.2 การศึกษาผลของการเติมคลอไรด์ต่อการกำจัดซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 2

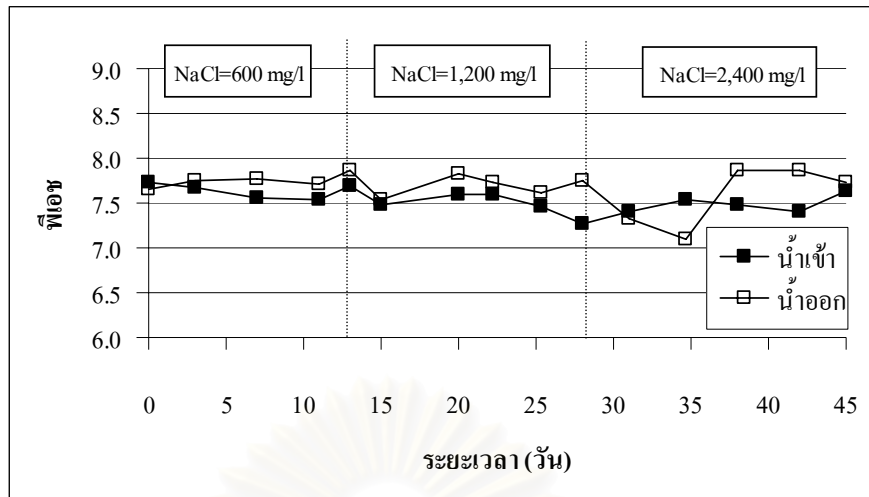
การทดลองนี้เป็นช่วงการทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมคลอไรด์ต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยกำหนดตัวแปรต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1 ระยะเวลาเดินระบบ 45 วัน และมีการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถึงปฏิกรณ์ ผลการทดลองที่ได้ตลอดการทดลองคำนวณเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งจำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

##### 4.1.2.1 พีเอช

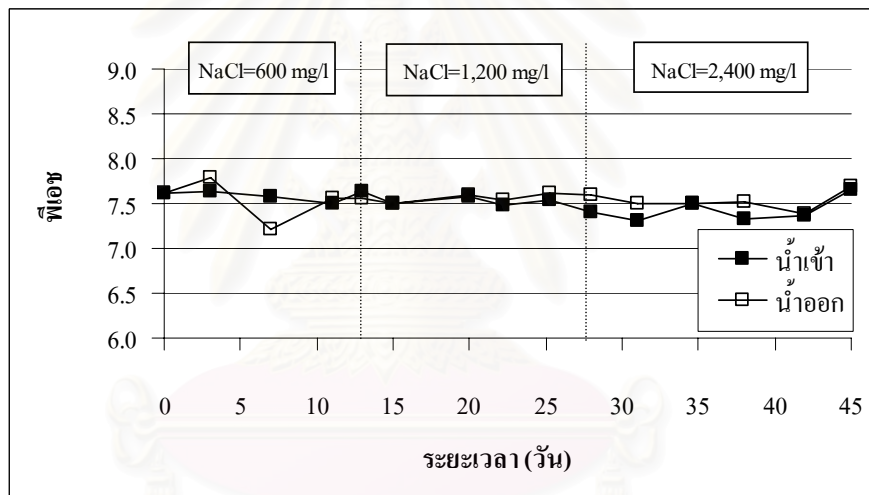
พีเอชของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถึง โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าพีเอชของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 7.54, 7.54 และ 7.50 ตามลำดับ ส่วนพีเอชของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 7.96, 7.74 และ 7.55 ตามลำดับ ค่าพีเอชของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.14



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



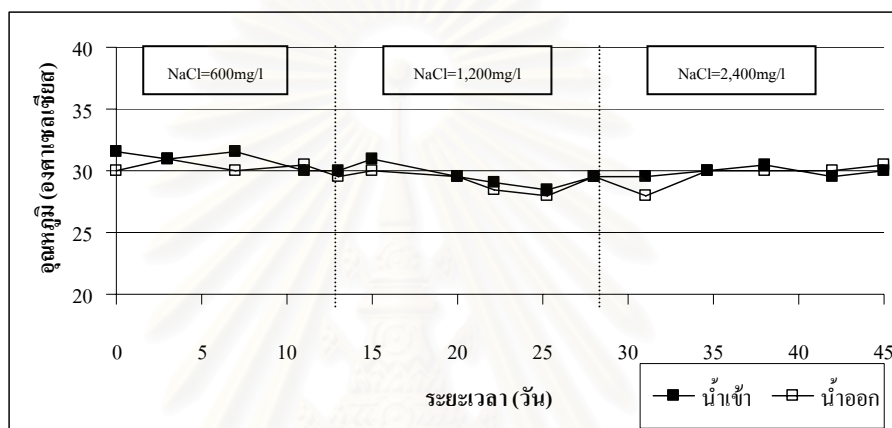
(ค) ถังปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.14 พีเอช ช่วงการทดลองที่ 2

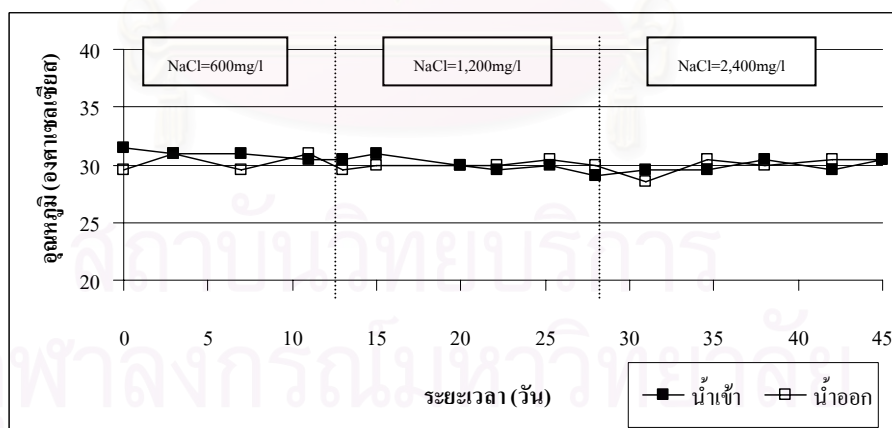
จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ในระบบ ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบทั้ง 3 ถังปฏิบัติการก็ยังมีค่าสูงกว่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1.1.1 เนื่องจาก ในระบบมีกำลังบำบัดที่สูงซึ่งเพียงพอกับการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและพีเอชของน้ำเสียยังอยู่ในช่วง 6.8 – 8.2 ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

#### 4.1.2.2 อุณหภูมิ

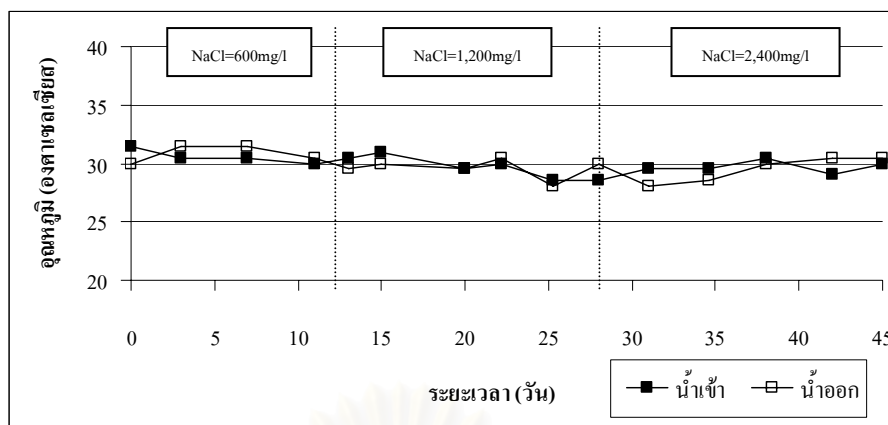
อุณหภูมิของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่เติม โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดย ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าอุณหภูมิของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 30.00, 30.50 และ 30.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 30.00, 30.00 และ 30.00 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.15



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

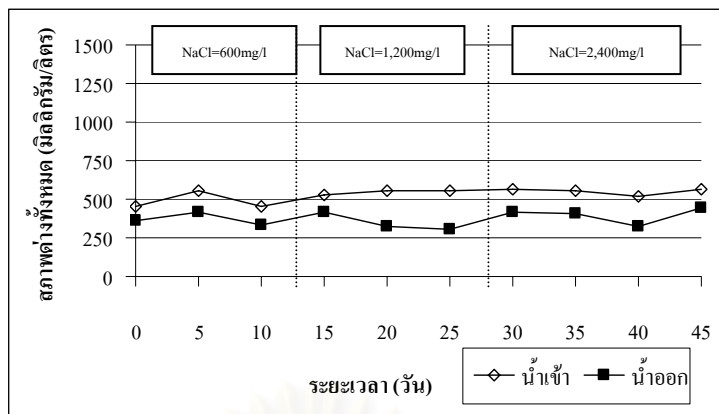
#### ภาพที่ 4.15 อุณหภูมิ ช่วงการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ในระบบ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบมากและอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบของช่วงการทดลองที่ 1 และช่วงการทดลองที่ 2 ยังมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการวิจัยนี้ทดลองในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน อุณหภูมิจึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงและจากค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้จะเห็นได้ว่ายังอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส ดังนั้นการทดลองนี้จึงไม่มีปัญหาเรื่องการควบคุมอุณหภูมิเลย

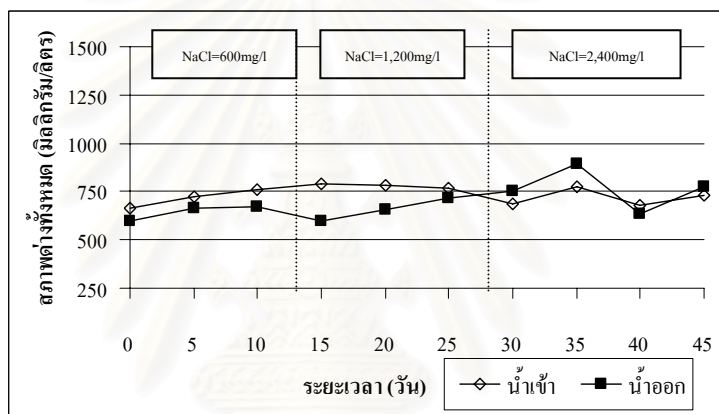
#### 4.1.2.3 สภาพต่างทั้งหมด

สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถึงปฏิบัติการที่ 1, 2 และ 3 มีค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 553.00, 748.50 และ 810.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าสภาพต่างของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 385.00, 669.00 และ 629.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าสภาพต่างทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.16

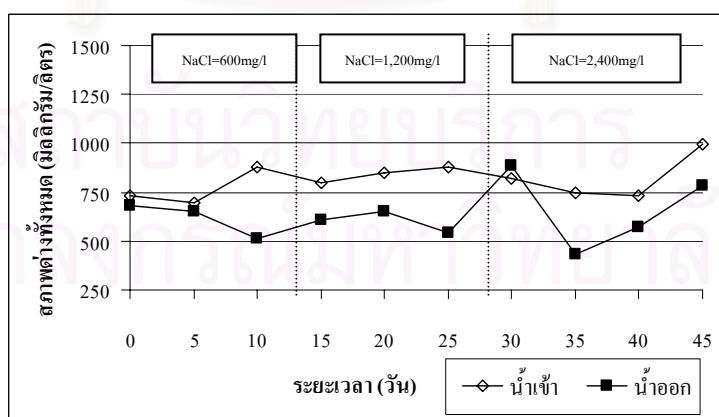




(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



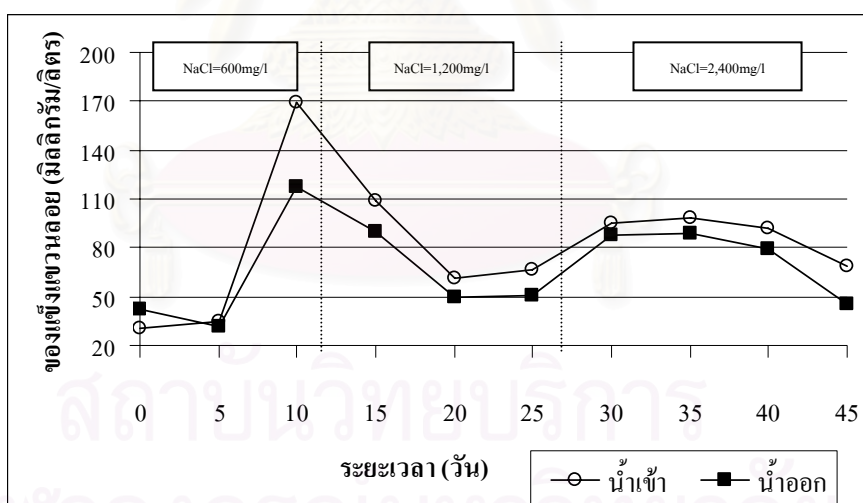
(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.16 สภาพต่างทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 2

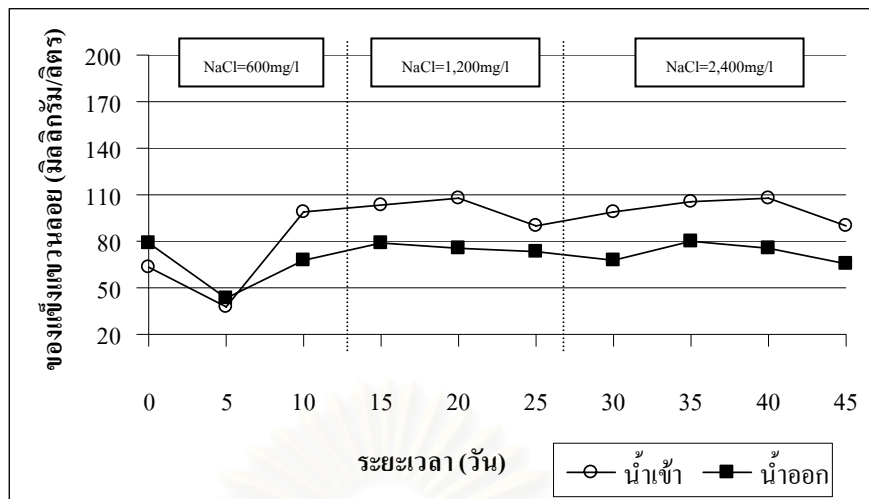
จากภาพที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยแล้วของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสูงกว่าในช่วงการทดลองที่ 1 เนื่องจากการทดลองนี้ได้เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้แก่ระบบเป็นการปรับความเข้มข้นคลอไรด์ในระบบให้เท่ากันทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ เพื่อศึกษาผลของคลอไรด์ต่อการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียเข้าระบบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จึงทำให้ช่วงการทดลองที่ 2 มีค่าสภาพต่างสูงกว่าช่วงการทดลองที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของทั้ง 2 ช่วงการทดลอง พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1.1.3

#### 4.1.2.4 ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมดและของแข็งละลายน้ำ

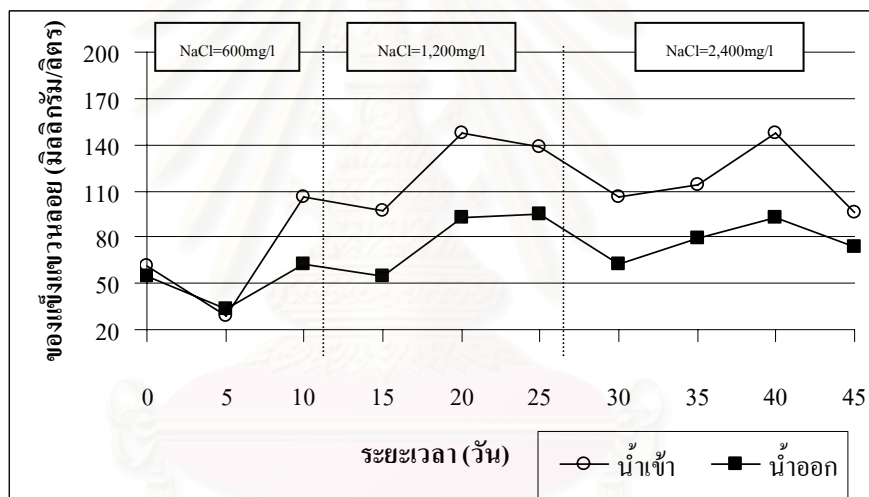
ของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 80.45, 99.30 และ 106.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 65.35, 74.30 และ 68.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอยของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.17



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



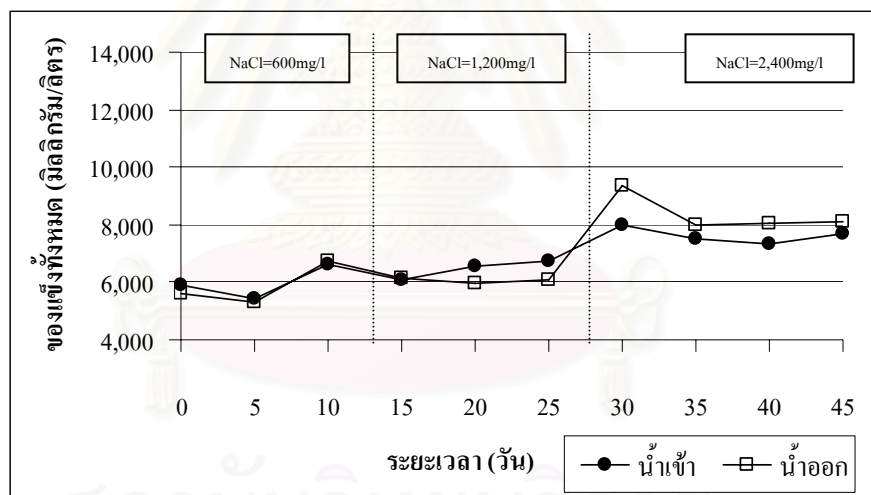
(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.17 ของแข็งแขวนลอย ช่วงการทดลองที่ 2

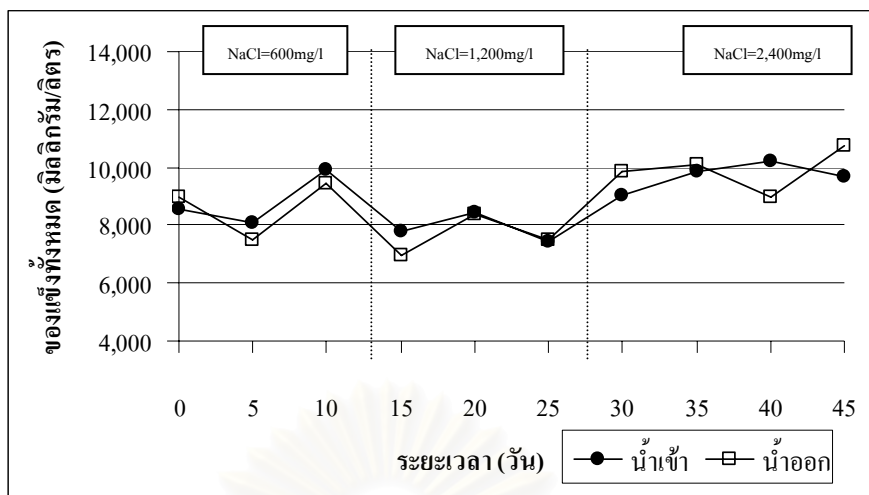
จากภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ ของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยแล้วของทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ แต่มีบางวันของการเตรียมน้ำเสียที่ทำให้มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบสูงกว่าน้ำเข้าระบบซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 ในหัวข้อที่ 4.1.1.4 และในการทดลองนี้มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้แก่ระบบอาจเป็นสาเหตุของการเพิ่มของแข็งให้กับระบบอีกทางหนึ่งด้วยและในช่วงแรกที่เพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 600 มิลลิกรัม

ต่อลิตร จะสังเกตได้ว่าถึงปฏิกรณ์ที่ 1 จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง เนื่องจากอาจเป็นการผิดพลาดจากการเตรียมน้ำเสียจนทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียได้จึงทำให้เกิดตะกอนฟุ้งกระจายและหลุดออกจากระบบแต่หลังจากที่เพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์เพิ่มขึ้นตามลำดับจุลินทรีย์ในระบบจึงเริ่มปรับตัวได้กับน้ำเสียปริมาณของแข็งแขวนลอยจึงลดลง ส่วนถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 นั้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ พบว่า จุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับสภาพได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยจึงอยู่ในปริมาณคงที่และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

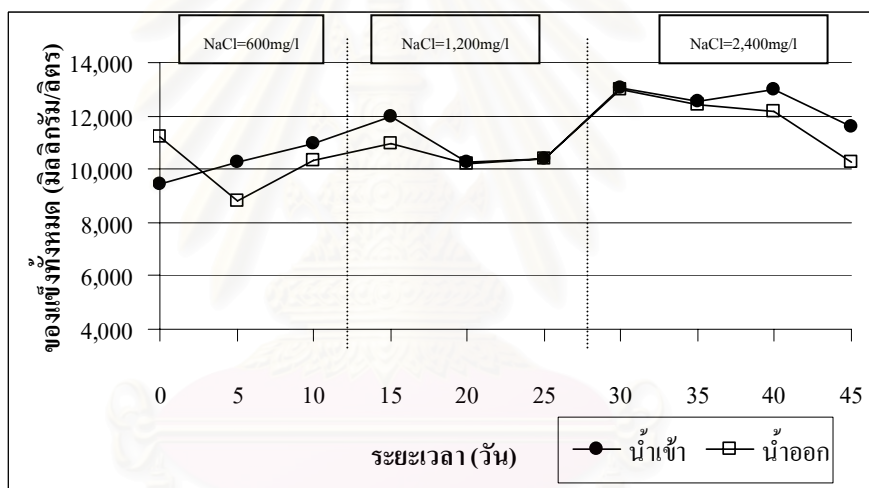
ของแข็งทั้งหมดของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 6,679.25, 8,786.50 และ 11,251.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำออกจากกระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 6,429.00, 8,489.25 และ 10,675.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าของแข็งทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.18



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

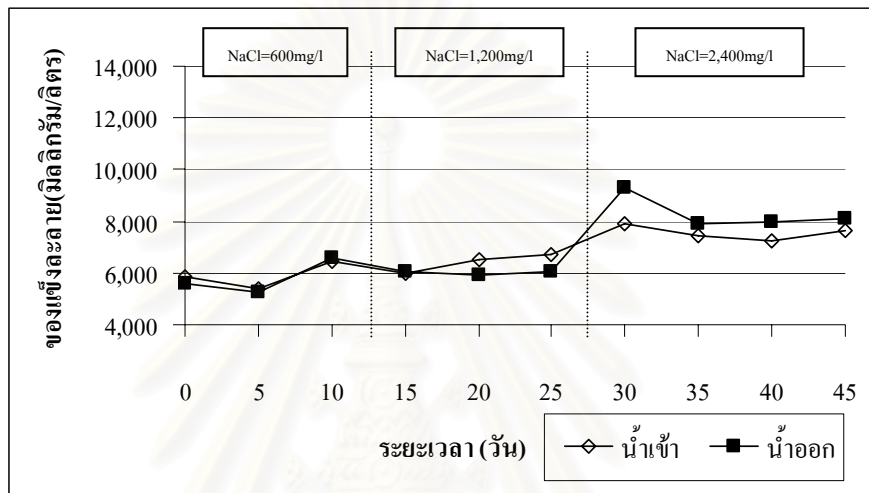


(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

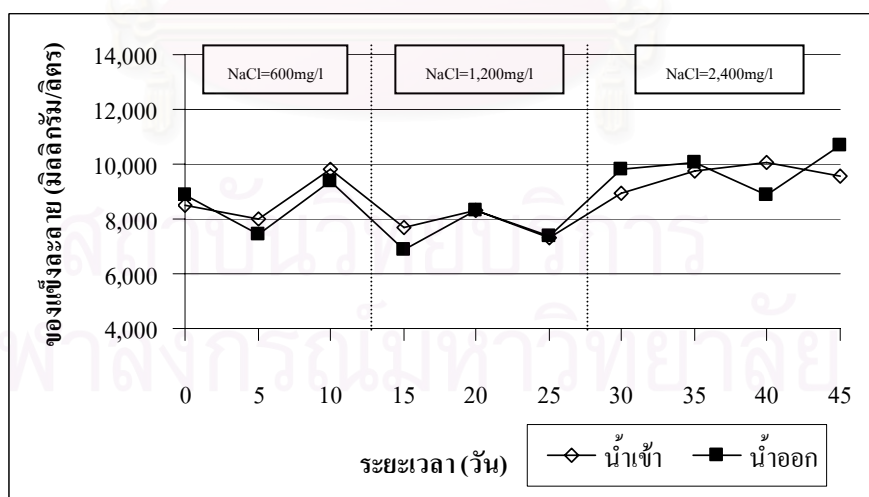
ภาพที่ 4.18 ของแข็งทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ ของแข็งทั้งหมดของน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยแล้วของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าน้ำเข้าระบบ เนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับช่วงการทดลองที่ 1 สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.1.1.4

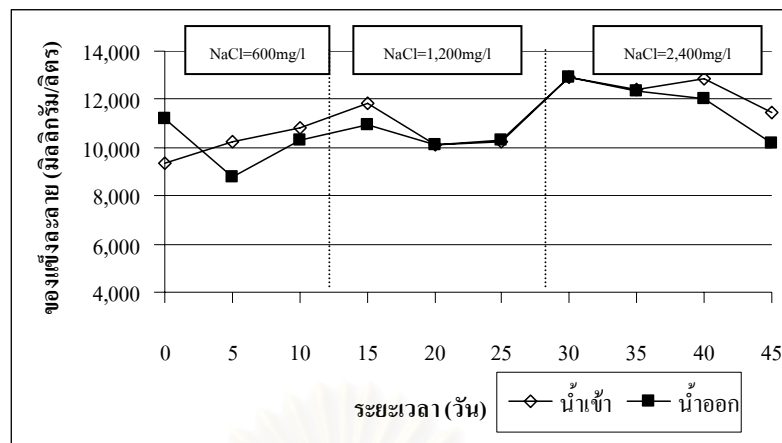
ของแข็งละลายของน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งละลายของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ ไทล์ 50 เท่ากับ 6,690.49, 8,705.35 และ 11,150.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งละลายของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 6,325.61, 8,872.10 และ 10,603.65 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าของแข็งละลายของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.19



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



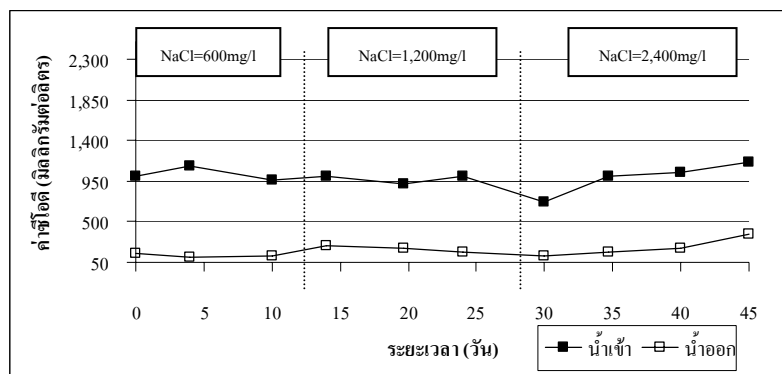
(ค) ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### ภาพที่ 4.19 ของแข็งละลาย ช่วงการทดลองที่ 2

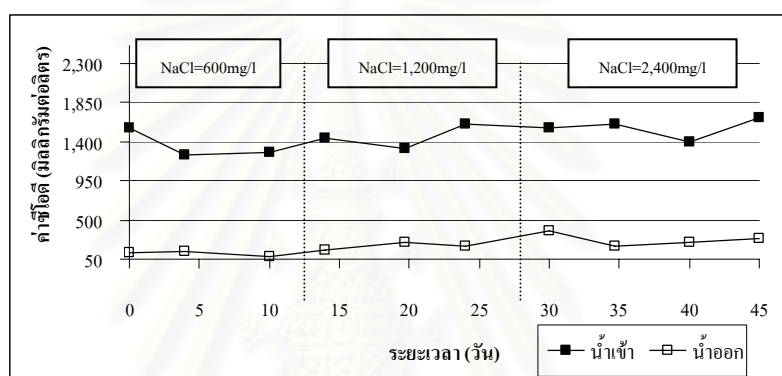
จากภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ ของแข็งละลายของน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยแล้วของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงน้ำเข้าระบบ และในช่วงวันแรกๆของการเพิ่มปริมาณคลอไรด์ในน้ำเข้าระบบจะพบว่าค่าของแข็งละลายในน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้าเพียงเล็กน้อยเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบเริ่มมีการปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียที่มีคลอไรด์สูงขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับช่วงการทดลองที่ 1 สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.1.1.4 และยังพบว่า ของแข็งละลายของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีค่าสูงขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ เนื่องจากการวิจัยนี้เติมโซเดียมคลอไรด์ให้แก่ระบบซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่จุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถย่อยสลายได้จึงยังคงเหลืออยู่และมีการสะสมในระบบ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ของแข็งละลายในระบบมีค่าสูงขึ้นตามลำดับการเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์

#### 4.1.2.5 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

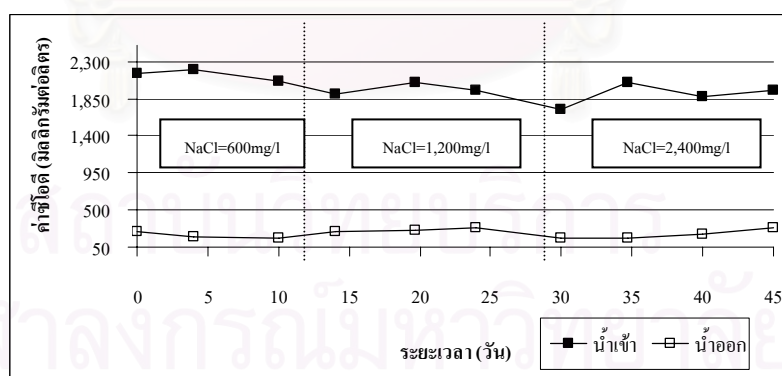
ซีโอดีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 1,000, 1,495 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำออกจากระบบ เท่ากับ 160, 200 และ 220 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 84.00, 89.44 และ 86.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.20 และ 4.21



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



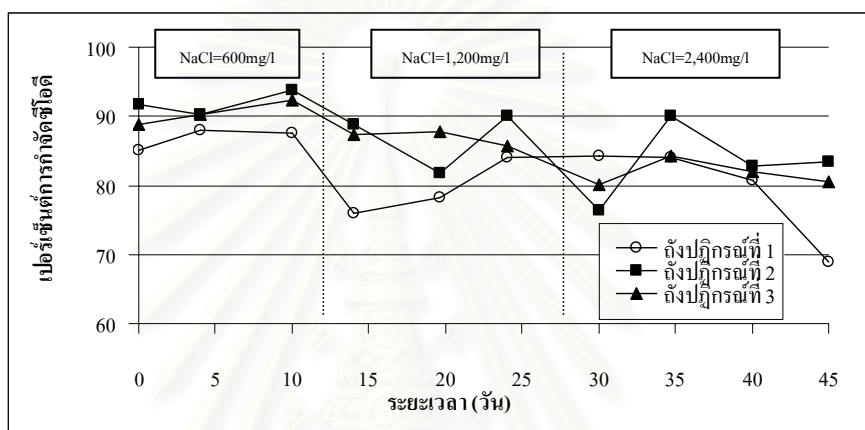
(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.20 ค่าซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 2



ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 2

ถึงปฏิกรณ์	ความเข้มข้นของปริมาณคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	NaCl = 600 mg/l	NaCl = 1,200 mg/l	NaCl = 2,400 mg/l
1	86.85±SD. <sup>a</sup>	91.84±SD. <sup>a</sup>	90.49±SD. <sup>a</sup>
2	79.42±SD. <sup>a</sup>	86.90±SD. <sup>a</sup>	86.94±SD. <sup>a</sup>
3	79.49±SD. <sup>a</sup>	83.12±SD. <sup>a</sup>	81.76±SD. <sup>a</sup>

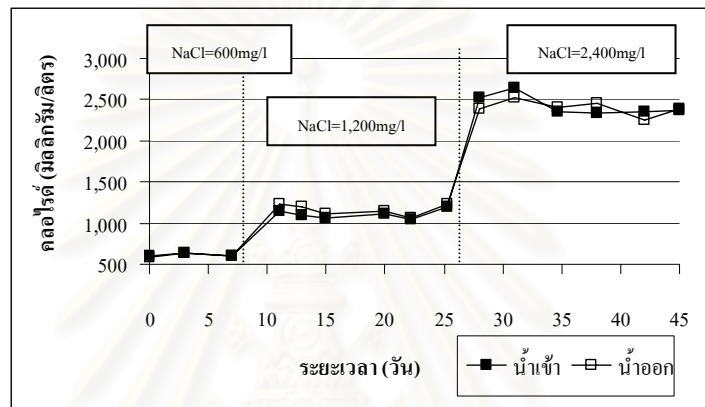


ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ช่วงการทดลองที่ 2

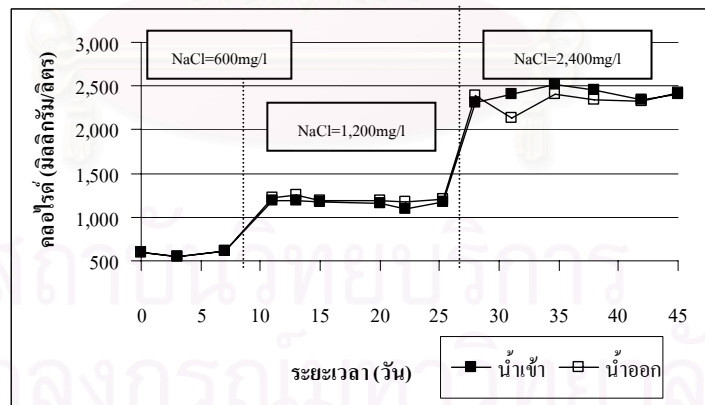
จากภาพที่ 4.20 และ 4.21 จะเห็นได้ว่า ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดลดลงจากช่วงการทดลองที่ 1 เพียงเล็กน้อยแต่ระบบก็ยังสามารถกำจัดได้เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ปริมาณคลอไรด์ที่เติมลงในระบบนั้นมีผลต่อการกำจัดซีโอดีเพียงเล็กน้อยหรือไม่เลย เพราะระบบยังมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ดีและจะเห็นได้ว่า ในการทดลองช่วงที่ 2 นี้ ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ดีที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kincannon และ Gaudy (1996) ที่พบว่า เมื่อมีการเติมโซเดียมคลอไรด์ลงในระบบจะมีผลทำให้สลัดจ์เกิดได้ยากส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารลดลงในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์จากความเข้มข้นต่ำไปสูงนั้นสลัดจ์จะค่อยๆปรับตัวให้ชินจนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อระบบน้อยลงจนกลับมา มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารได้ดีเช่นเดิมได้

#### 4.1.2.6 ปริมาณคลอไรด์

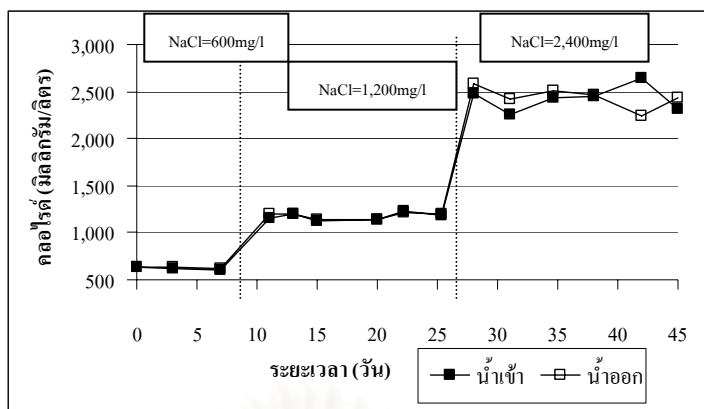
คลอไรด์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200, 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าคลอไรด์เฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 1,143.546, 1,187.788 และ 1,203.690 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าคลอไรด์เฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำออกจากระบบ เท่ากับ 1,222.905, 1,223.710 และ 1,205.980 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณคลอไรด์ ช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.22



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



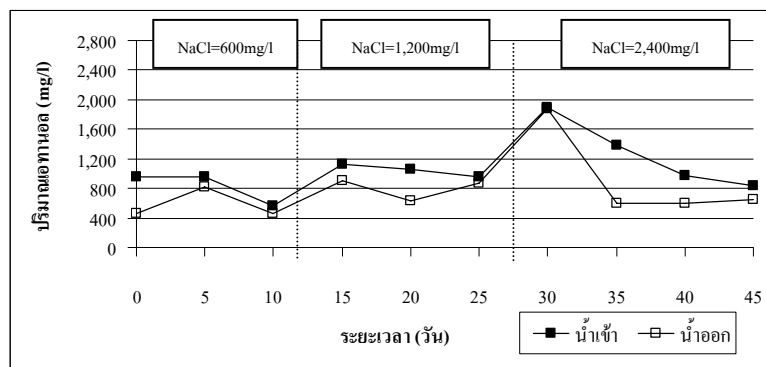
(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### ภาพที่ 4.22 ปริมาณคลอไรด์ ช่วงการทดลองที่ 2

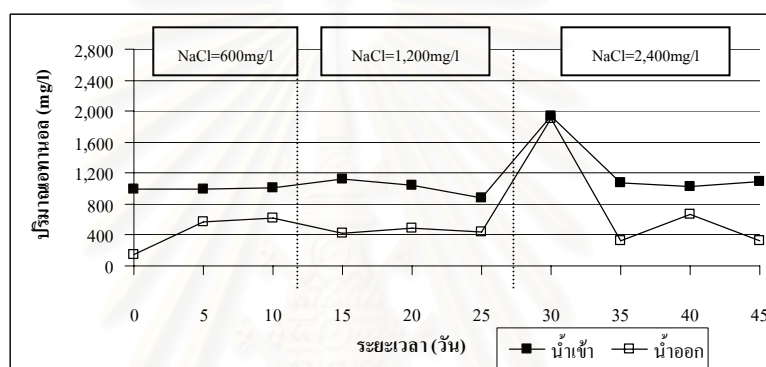
จากภาพที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ ค่าคลอไรด์เฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ ในน้ำเข้าระบบและน้ำออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถกำจัดคลอไรด์ได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.1.1.6 ในช่วงการทดลองที่ 1

#### 4.1.2.7 ปริมาณเอทานอลและประสิทธิภาพการกำจัด

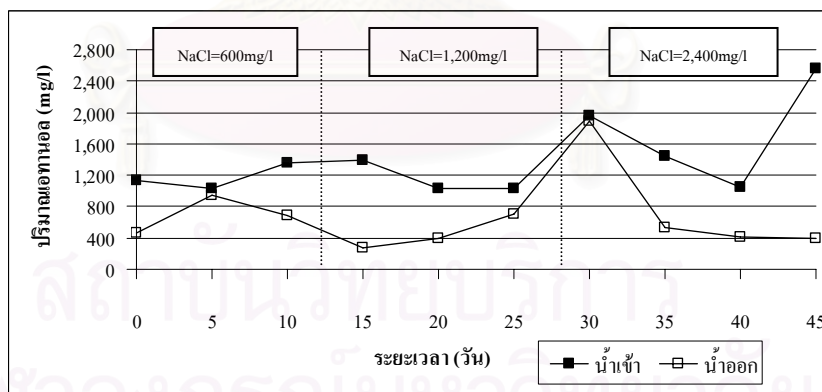
เอทานอลของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถัง โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำเข้าระบบ เท่ากับ 968.2584, 1,035.8819 และ 1,246.5728 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ของน้ำออกจากระบบ เท่ากับ 639.3413, 465.8800 และ 501.2638 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 21.56, 52.54 และ 54.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณเอทานอล ช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.23 และ 4.24



(ก) ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

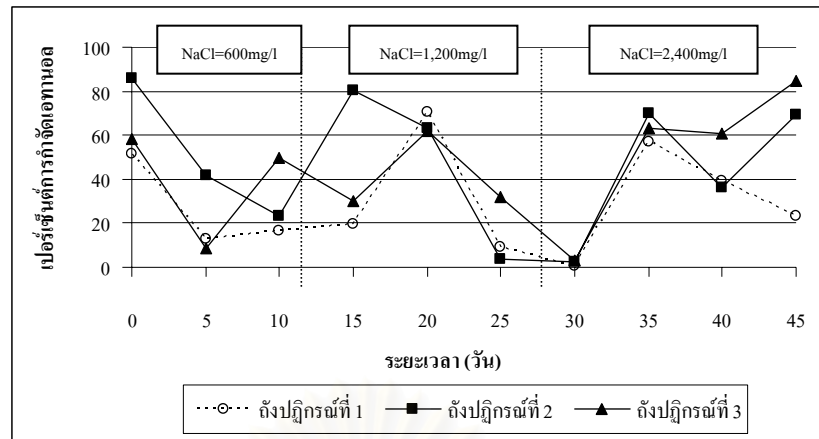


(ข) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.23 ปริมาณเอทานอล ช่วงการทดลองที่ 2

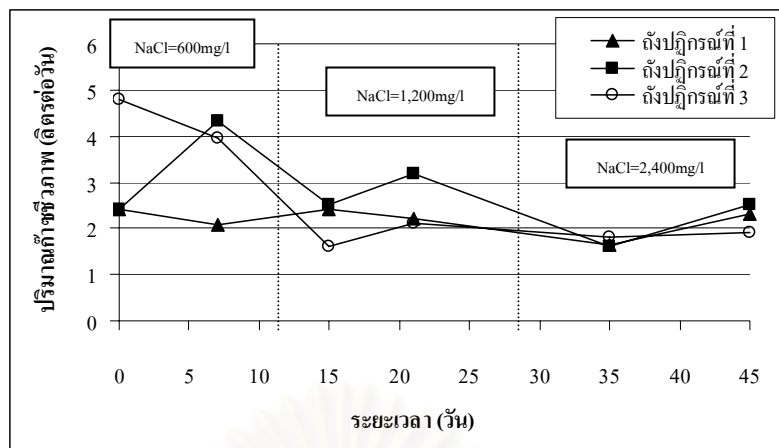


ภาพที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดเอทานอล ช่วงการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.23 และ 4.24 จะเห็นว่า ปริมาณเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในน้ำออกจากระบบทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีค่าน้อยกว่าปริมาณเอทานอลเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในน้ำเข้าระบบมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ก็ตาม แต่ในวันแรกๆจะมีปริมาณเอทานอลสูง เนื่องจากมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบทุกวันอาจเกิดการผิดพลาดจากการเตรียมน้ำเสียเข้าระบบทำให้มีปริมาณเอทานอลสูงแต่ระบบก็ยังสามารถกำจัดเอทานอลได้ แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดเอทานอลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ได้ดี สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.1.1.7 ในช่วงการทดลองที่ 1

#### 4.1.2.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด

ปริมาณก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ตลอดการทดลองช่วงที่ 2 ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถึงปฏิกรณ์ สามารถวัดปริมาณก๊าซได้จากอุปกรณ์เก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำซึ่งเป็นการเก็บปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบ โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 2.25, 2.50 และ 2.00 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด ช่วงการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.25 จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะเห็นได้จากช่วงแรกที่เพิ่มปริมาณคลอไรด์ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จุลินทรีย์ยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพในระบบได้มาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคลอไรด์สูงขึ้นเป็น 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า จุลินทรีย์ในระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยลง เช่นเดียวกันทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ เนื่องจากคลอไรด์มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างก๊าซชีวภาพในระบบจึงทำให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลง สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.1.1.8 แต่จุลินทรีย์ในถึงปฏิบัติการที่ 2 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ 50 เท่ากับ 2.50 ลิตรต่อวัน ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการและเพิ่มมากขึ้นจากการทดลองที่ 1 แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียได้ดีที่สุด

#### 4.1.2.9 สัดส่วนของก๊าซมีเทน

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ซึ่งเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทั้ง 3 ถึง โดยมีปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ แสดงดังตารางที่ 4.3

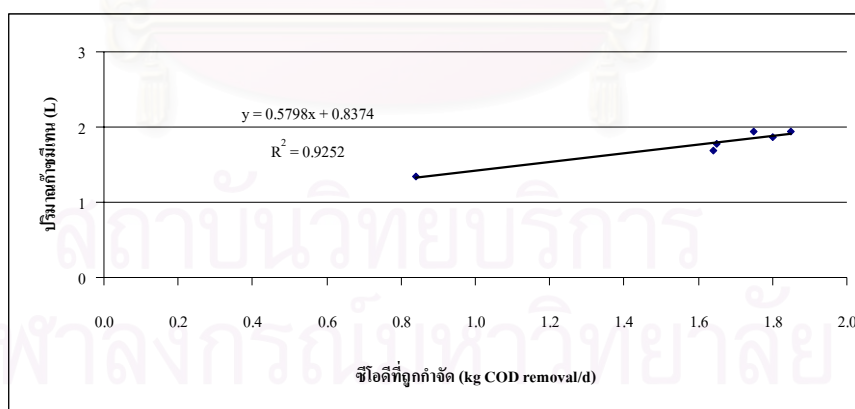
ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วนของก๊าซมีเทน ช่วงการทดลองที่ 2

ถึงปฏิบัติการ	% ก๊าซมีเทน
1	81.18
2	77.86
3	71.21

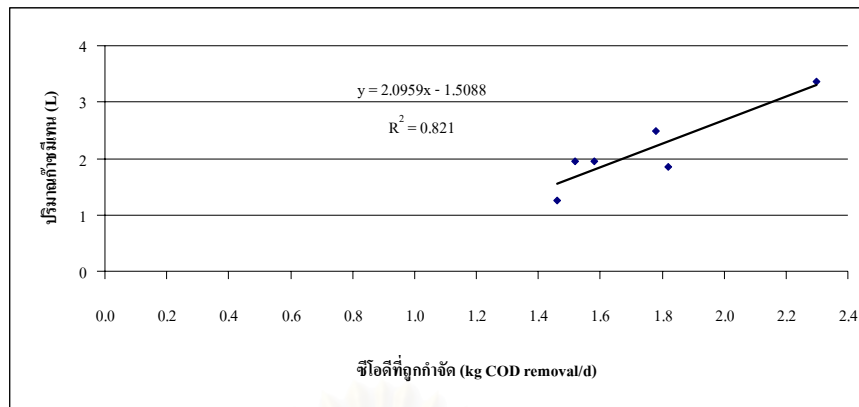
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบทั้ง 3 ถึง ปฏิกรณ์ พบว่า ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุด รองลงมาคือ ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แต่ในช่วงการทดลองนี้สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยกว่าในช่วงการทดลองที่ 1 เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณคลอรีนสูงขึ้นทำให้แบคทีเรียจำพวกสร้างก๊าซมีเทนในระบบถูกยับยั้งการทำงานโดยเกลือคลอรีนที่เข้าไปในระบบจะไปขัดขวางการส่งผ่านสารอาหารภายในเซลล์ของแบคทีเรียจนเกิดเป็นช่องว่างหรือโพรงภายในเซลล์แบคทีเรียส่งผลให้จุลินทรีย์ในระบบตายจึงเกิดก๊าซมีเทนในระบบน้อยลงแต่มีสัดส่วนของก๊าซชนิดอื่น เช่น ไนโตรเจน มากขึ้น ซึ่งจากข้อมูลที่ทำการตรวจวิเคราะห์ พบว่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จึงสอดคล้องกับปริมาณก๊าซมีเทนที่ลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

#### 4.1.2.11 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบ

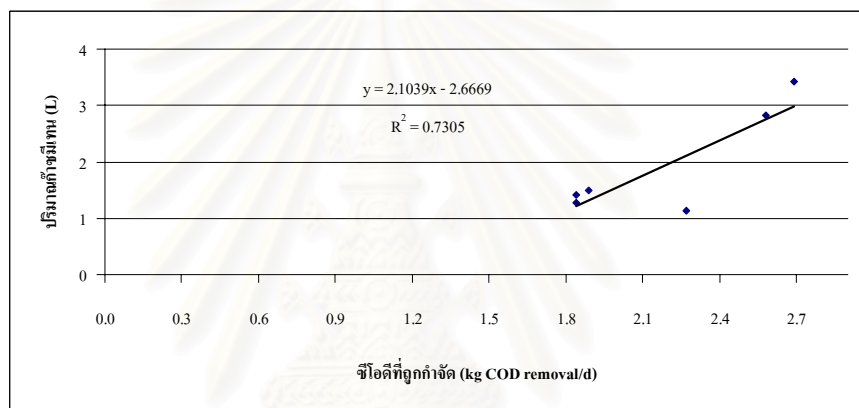
ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถวัดปริมาณก๊าซมีเทนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ย เท่ากับ 81.18, 77.86 และ 71.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนซีโอดีที่ถูกกำจัดเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 1.70, 1.68 และ 2.08 kg COD removal/d ตามลำดับ ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.26



(ก) ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ข) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าชีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าชีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 4.26 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดของช่วงการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นตรง โดยค่าความชันของเส้นกราฟจะแสดงถึงปริมาณก๊าซมีเทนต่อค่าชีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งแสดงถึงอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบ โดยสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันขึ้นเมื่อจุลินทรีย์ในระบบสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากปริมาณก๊าซมีเทนก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นั่นคือ จุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่มีค่าคลอไรด์สูงได้จึงยังสามารถผลิตก๊าซมีเทนออกมาได้แต่ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ก็ยังมีค่าใกล้เคียงกับช่วงการทดลองที่ 1 แสดงว่า ความเข้มข้นของคลอไรด์ไม่มีผลต่อการกำจัดชีโอดีของจุลินทรีย์เลย



#### 4.1.2.12 สมดุลมวลของซีโอดี

สมดุลมวลของซีโอดีที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ ซึ่งถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500, และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เดิมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถังปฏิกรณ์ หากพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีตลอดช่วงการทดลองที่ 2 นี้ จะทำให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยพิจารณาได้จากค่า % recovery ของข้อมูลที่ได้ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ค่า % COD recovery ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ของการทดลองช่วงที่ 2

ถังปฏิกรณ์	ซีโอดี (mg/l)		ก๊าซทั้งหมดต่อวัน (L)	% มีเทน	% recovery
	น้ำเข้า	น้ำออก			
1	1,000	160	2.25	81.18	88.38
2	1,495	200	2.50	77.86	91.52
3	2,000	220	2.00	71.21	63.14

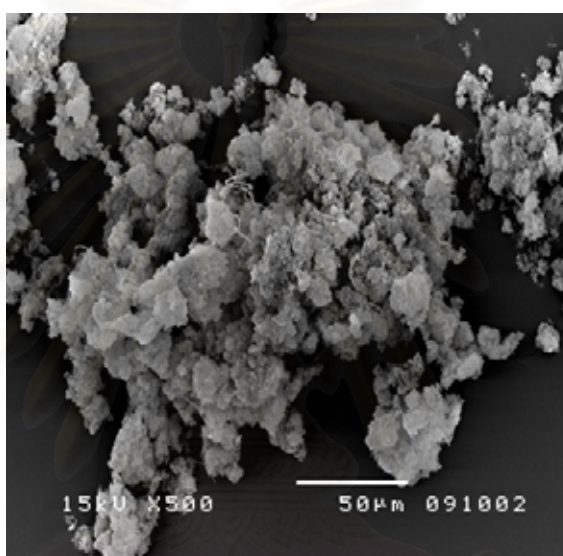
จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า % COD recovery ในการทดลองช่วงที่ 2 นี้มีค่าแตกต่างจากช่วงการทดลองที่ 1 เนื่องจากในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างก๊าซอาจมีการรั่วไหลของก๊าซ ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1.1.10 ในช่วงการทดลองที่ 2 นี้ พบว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มี % recovery มากที่สุด เพราะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ดีที่สุด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณคลอไรด์ยังส่งผลต่อการสร้างก๊าซของแบคทีเรียในระบบอีกด้วย จึงส่งผลให้ปริมาณของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้ค่า % COD recovery ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2 การศึกษาผลของคลอรีนต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

### 4.2.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองวิจัยนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) ชนิดแอนแอโรบิกสลัดจ์ (Anaerobic Sludge) จากระบบยูเอเอสบี ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบฟล็อก (Flocculent Sludge) มีสีดำเข้ม จากการตรวจสอบลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) เริ่มต้นระบบ โดยเลือกตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายๆเม็ดที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงดังภาพที่ 4.27

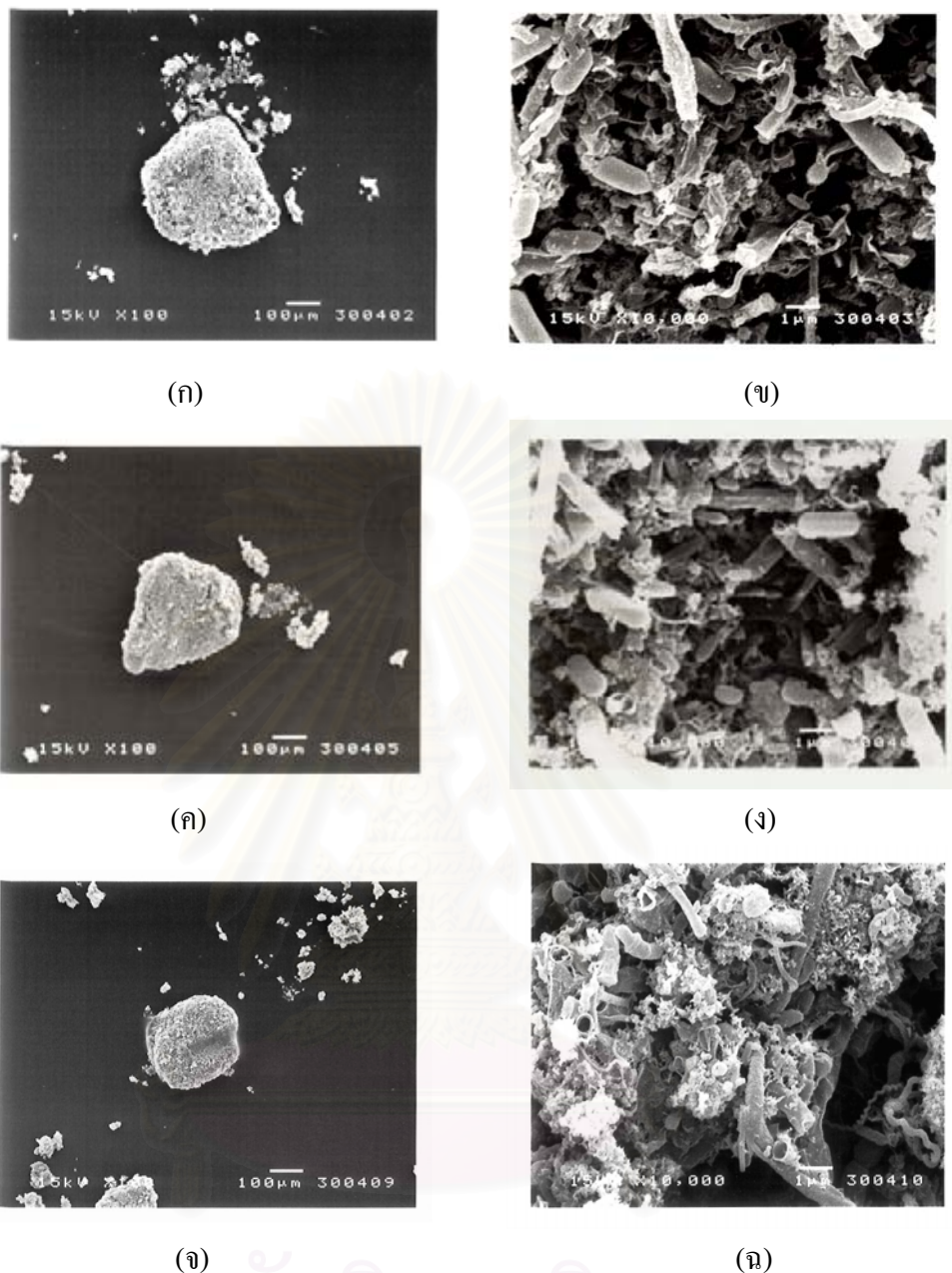


ภาพที่ 4.27 ภาพถ่ายเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ในช่วงเริ่มต้นระบบ

### 4.2.2 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

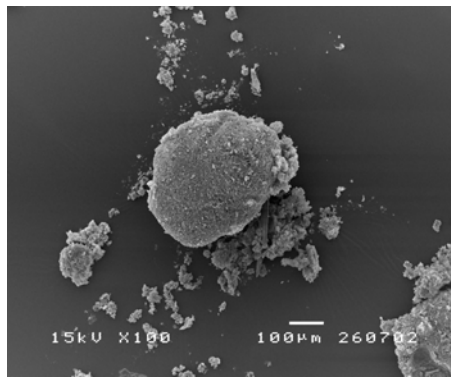
เมื่อศึกษาลักษณะ โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง เริ่มต้นระบบมีลักษณะเป็นฟล็อก (Flocculent Sludge) มีสีดำเข้ม โดยทำการศึกษาลักษณะเม็ดตะกอน พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะปุยฟู การรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ยังไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถศึกษาลักษณะภายในของเม็ดตะกอนได้และเมื่อศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการทดลองช่วงที่ 1 และ 2 โดยเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนตามระดับความสูงของชั้นตะกอนจากกันถึงที่ความสูง 0, 20, 40 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วจึงนำมารวมกันก่อนทำการตรวจสอบ พบว่า ลักษณะโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ช่วงการทดลองที่ 1 และ ช่วงการ

ทดลองที่ 2 ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีรูปร่างและขนาดแตกต่างจากเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นระบบอย่างชัดเจน เริ่มมีการรวมตัวกันแต่ยังไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถผ่าครึ่งเพื่อศึกษาลักษณะภายในได้ เนื่องจากตะกอนของเกลือคลอไรด์จะเข้าไปเกาะในช่องว่างของเซลล์จุลินทรีย์ทำให้เกิดการขัดขวางการถ่ายเทสารอาหารภายในเซลล์ส่งผลให้เซลล์จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในเป็นโพรงและตายลงได้ จึงเกิดการรวมตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ พื้นผิวภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีแบคทีเรียแบบเส้นใย แบบกลมและแบบแท่ง รวมตัวกันอยู่และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากที่มีลักษณะเป็นรูปทรงอย่างเห็นได้ชัดกลับเริ่มมีลักษณะเป็นโพรง เซลล์ของแบคทีเรียไม่เรียงตั้ง อาจเป็นเพราะการทดลองนี้ใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีค่าคลอไรด์สูงซึ่งคลอไรด์ในน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นพวกเกลือคลอไรด์ จึงส่งผลต่อเซลล์ของแบคทีเรีย นำมาซึ่งสภาวะ Osmosis stress สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1.1.6 และเมื่อเพิ่มปริมาณคลอไรด์ให้แก่ระบบในช่วงการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่า แบคทีเรียมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น จนอาจเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบหรือตายได้ นอกจากนั้นภายในถังปฏิกรณ์ยังมีตะกอนจุลินทรีย์แบบฟล็อก (Flocculent Sludge) อยู่เป็นจำนวนมากอีกด้วย แสดงดังภาพที่ 4.28 และภาพที่ 4.29

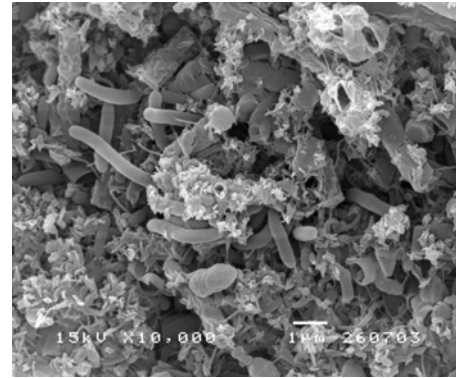


ภาพที่ 4.28 ภาพถ่ายเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ในช่วงการทดลองที่ 1

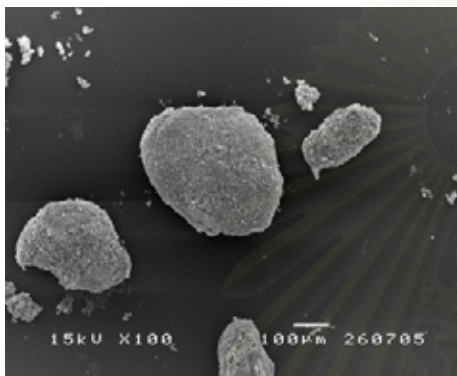
- (ก) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ถึงปฏิบัติการที่ 1 ที่กำลังขยาย 100 เท่า
- (ข) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ถึงปฏิบัติการที่ 1 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า
- (ค) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ถึงปฏิบัติการที่ 2 ที่กำลังขยาย 100 เท่า
- (ง) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ถึงปฏิบัติการที่ 2 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า
- (จ) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ถึงปฏิบัติการที่ 3 ที่กำลังขยาย 100 เท่า
- (ฉ) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ถึงปฏิบัติการที่ 3 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



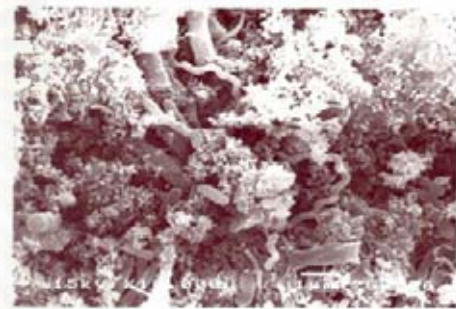
(ก)



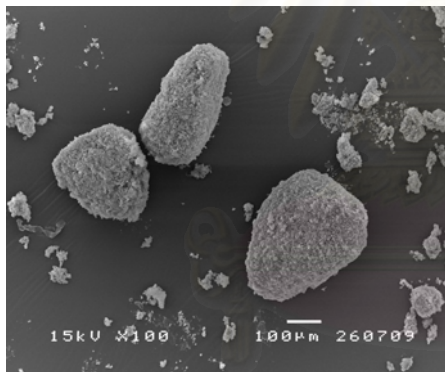
(ข)



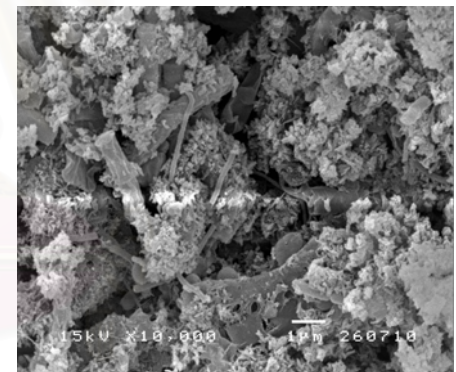
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 4.29 ภาพถ่ายเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ในช่วงการทดลองที่ 2

(ก) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ข) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

(ค) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ง) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

(จ) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ฉ) บริเวณผิวภายนอกเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

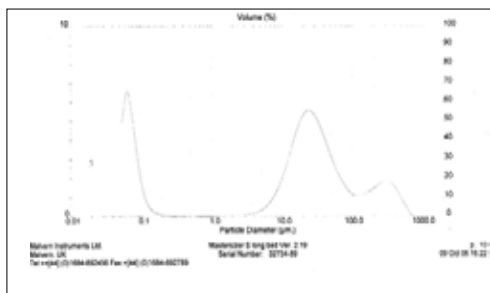
#### 4.3 การศึกษาผลของคลอไรด์ต่อขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

การทดลองนี้ศึกษาผลของคลอไรด์ต่อขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของชั้นตะกอนจากกันถึงที่ความสูง 0, 20, 40 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วนำมารวมกันก่อนทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ซึ่งมีหลักการวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของเม็ดตะกอนด้วยระบบเซ็นเซอร์ที่ส่องแสงมากระทบกับอนุภาค ขณะที่เม็ดตะกอนถูกสูบลมผ่านเลนส์ อนุภาคที่มีรูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลมจะถูกวัดเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง ขณะที่อนุภาคที่เป็นฟล็อกซึ่งมีรูปร่างหลากหลายจะถูกตั้งสมมติฐานว่ามีรูปร่างกลมและคำนวณกลับเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใช้เป็นตัวแทนของฟล็อก นอกจากนี้ปัญหาที่พบจากการวิเคราะห์คือการที่เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีขนาดแตกต่างกันและข้อจำกัดขนาดของเลนส์ที่สามารถวัดได้ทำให้จุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมากหรือใหญ่มากที่ไม่อยู่ในช่วงที่เลนส์สามารถวัดได้ เม็ดตะกอนเหล่านั้นก็จะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยซึ่งอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง

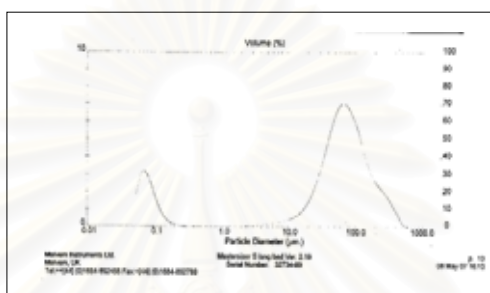
ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองโดยเลือกค่า  $D(0.1)$  หรือ  $D_{10}$ ,  $D(0.5)$  หรือ  $D_{50}$  และ  $D(0.9)$  หรือ  $D_{90}$  ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่านี้อยู่ 10, 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมด ตามลำดับ หากการเปลี่ยนแปลงค่า  $D$  ใดๆลดลง แสดงว่ามีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่านี้อยู่ในปริมาณสูงขึ้น หรือกล่าวคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่มีการแตกตัวซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า  $D(0.1)$  หรือ  $D_{10}$ ,  $D(0.5)$  หรือ  $D_{50}$  และ  $D(0.9)$  หรือ  $D_{90}$  ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์แต่ละชุด ช่วงเริ่มต้นระบบ ช่วงการทดลองที่ 1 และช่วงการทดลองที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.30 - 4.33

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

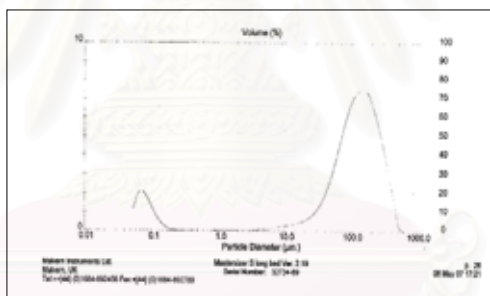
ช่วงการทดลองที่	ถัง ปฏิกรณ์ที่	ขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (ไมครอน)		
		D(0.1) หรือ D <sub>10</sub>	D(0.5) หรือ D <sub>50</sub>	D(0.9) หรือ D <sub>90</sub>
เริ่มต้นระบบ	-	0.07	22.03	209.06
ช่วงการทดลองที่ 1	1	0.09	60.73	185.00
	2	0.15	113.04	278.59
	3	0.1	81.52	232.70
ช่วงการทดลองที่ 2 (เติม NaCl = 600 mg/l)	1	0.08	39.81	156.29
	2	0.08	59.41	183.97
	3	0.08	51.43	185.08
ช่วงการทดลองที่ 2 (เติม NaCl = 1,200 mg/l)	1	0.09	56.86	186.98
	2	4.12	109.09	254.67
	3	0.13	86.71	228.43
ช่วงการทดลองที่ 2 (เติม NaCl = 2,400 mg/l)	1	0.09	60.67	193.13
	2	0.11	112.97	256.60
	3	0.09	88.33	228.02



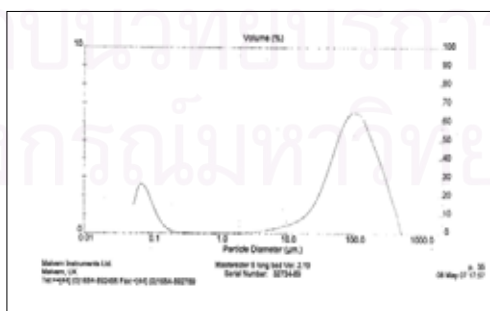
(ก) การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ



(ข) ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าซีไอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1



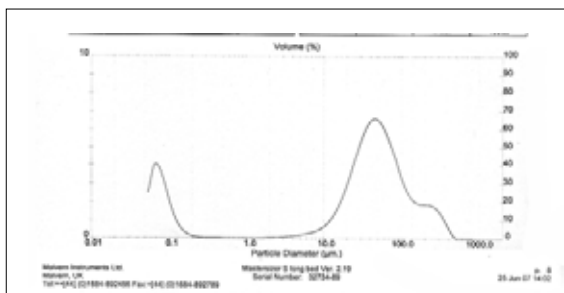
(ค) ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีไอดี 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1



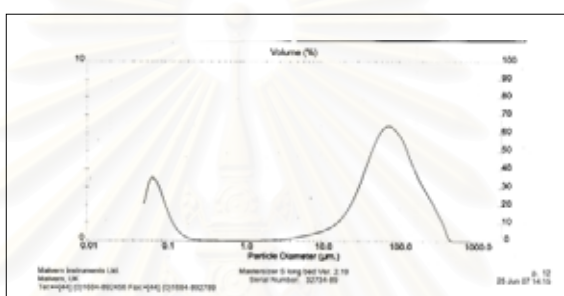
(ง) ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีไอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1

ภาพที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นระบบและช่วงการทดลองที่ 1

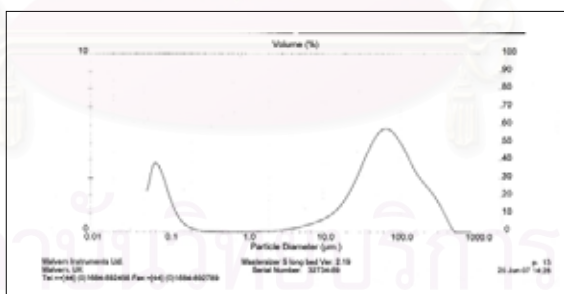




(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี 1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร

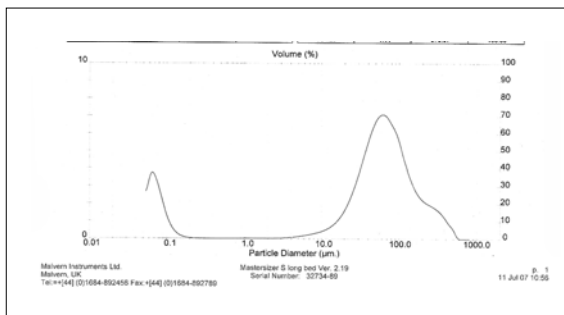


(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี 1,500 มิลลิลิตรต่อลิตร

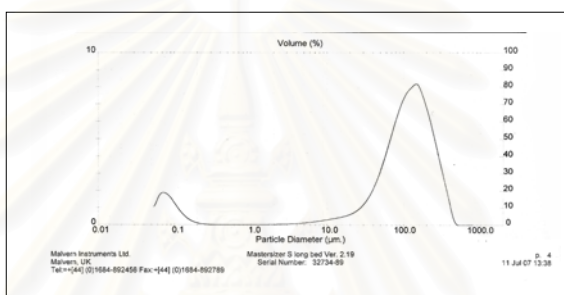


(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี 2,000 มิลลิลิตรต่อลิตร

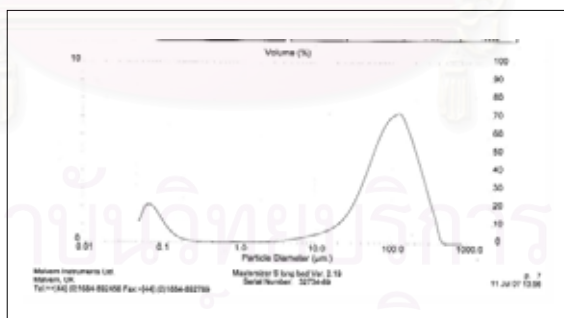
ภาพที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช่วงการทดลองที่ 2 เพิ่มคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 600 มิลลิลิตรต่อลิตร



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี 1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร

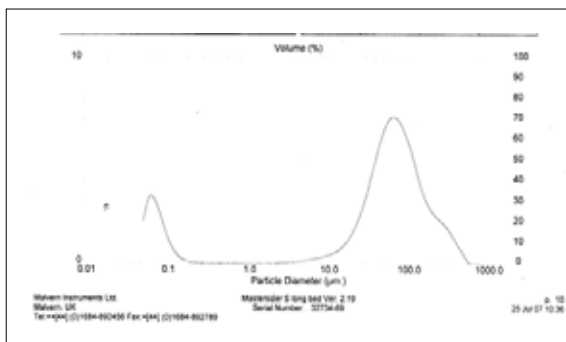


(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี 1,500 มิลลิลิตรต่อลิตร

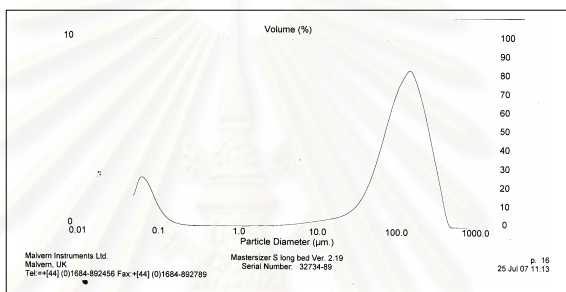


(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี 2,000 มิลลิลิตรต่อลิตร

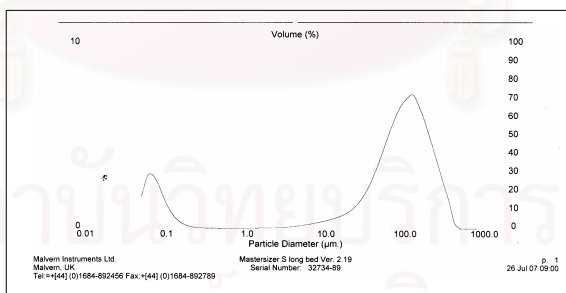
ภาพที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช่วงการทดลองที่ 2 เพิ่มคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1,200 มิลลิลิตรต่อลิตร



(ก) ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี 1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร



(ข) ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี 1,500 มิลลิลิตรต่อลิตร



(ค) ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี 2,000 มิลลิลิตรต่อลิตร

ภาพที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช่วงการทดลองที่ 2 เพิ่มคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2,400 มิลลิลิตรต่อลิตร

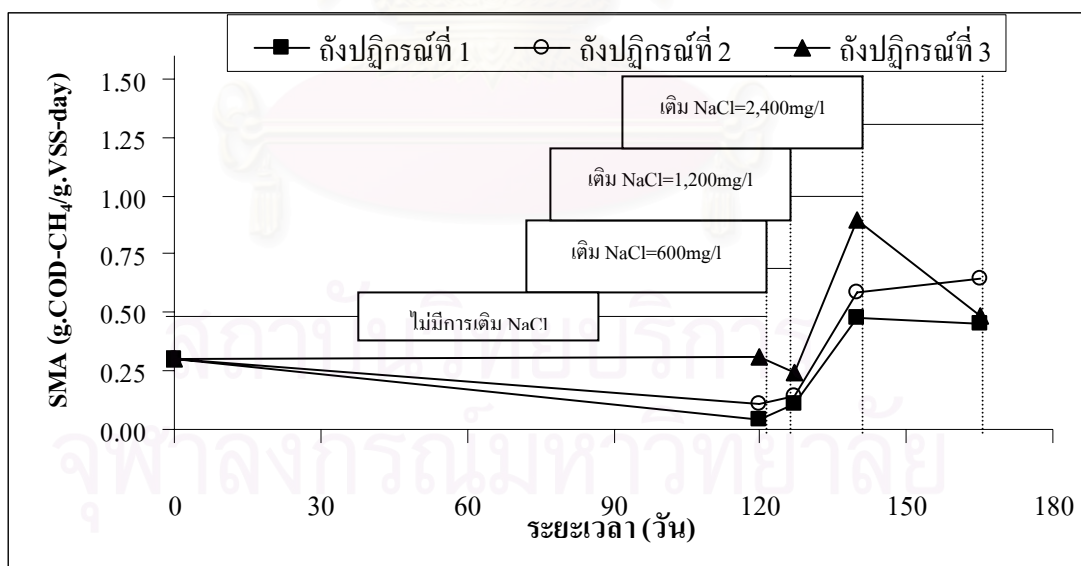
จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.30 - 4.33 จะเห็นได้ว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ที่ D(0.5) หรือ D<sub>50</sub> และ D(0.9) หรือ D<sub>90</sub> ส่วนใหญ่แล้วมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของแต่ละถังปฏิกรณ์มีแนวโน้มมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นระบบจะมีลักษณะของแบคทีเรียเซลล์เดี่ยวจำนวนมากที่ยังไม่มีการรวมตัวกันเป็นฟล็อกและเมื่อเดินระบบในช่วงการทดลองที่ 1 พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดตะกอนเริ่มต้นระบบอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อมีการรวมตัวกันของตะกอนจุลินทรีย์จะสังเกตได้จากลักษณะของแบคทีเรียเซลล์เดี่ยวลดลงและมีฟล็อกมากขึ้น โดยเฉพาะในถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดเม็ดตะกอนใหญ่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ส่วนในช่วงการทดลองที่ 2 ที่มีการเพิ่มปริมาณคลอรีนในระบบสูงขึ้น เป็น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนจากต่ำไปสูงนั้น ในช่วงความเข้มข้นของคลอรีนที่ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกอนจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วงปรับตัวเข้ากับน้ำเสียที่มีคลอรีนสูง ทำให้ตะกอนที่รวมตัวกันเป็นฟล็อกเกิดการแตกตัวออกทำให้มีปริมาณฟล็อกลดลงและเกิดแบคทีเรียเซลล์เดี่ยวเพิ่มมากขึ้นแต่เมื่อเดินระบบอย่างต่อเนื่องและค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนสูงขึ้น พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียได้ โดยสังเกตได้จากปริมาณแบคทีเรียเซลล์เดี่ยวลดลงและมีปริมาณฟล็อกเพิ่มมากขึ้นและในการทดลองนี้ยังพบว่า ที่ค่า D(0.5) หรือ D<sub>50</sub> และ D(0.9) หรือ D<sub>90</sub> ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 3 มีค่าลดลงเล็กน้อย แสดงว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์อาจอยู่ในช่วงปรับตัวทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดเล็กไม่สามารถคงอยู่ในระบบได้จึงหลุดออกนอกระบบ ส่วนในถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า D(0.5) หรือ D<sub>50</sub> และ D(0.9) หรือ D<sub>90</sub> ลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกันแต่ก็ยังมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ แสดงว่า แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ที่ 2 สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมในระบบได้ดีที่สุดซึ่งสังเกตได้จากค่า D(0.5) หรือ D<sub>50</sub> และ D(0.9) หรือ D<sub>90</sub> ที่มีค่าสูงสุด แสดงว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีแนวโน้มมีขนาดใหญ่ขึ้น แม้ว่าในระบบจะมีปริมาณคลอรีนเพิ่มขึ้นก็ตาม นอกจากนั้นในการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงในระบบมีผลกระทบต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้นเนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เริ่มปรับตัวและชินกับสภาพน้ำเสียแล้ว

งานวิจัยนี้จึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kincannon และ Gaudy (1996) ที่พบว่า เมื่อมีการเติมโซเดียมคลอไรด์ทันทีด้วยความเข้มข้น 30,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของโซเดียมคลอไรด์แต่ความเข้มข้นนี้ยังไม่มีความรุนแรงต่อระบบ ซึ่งเมื่อเติมความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นถึง 45,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลทำให้สลัดจ์เกิดได้ยากส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารลดลงในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์จากความเข้มข้นต่ำไปสูงนั้นสลัดจ์จะค่อยๆปรับตัวให้ชินจนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อระบบน้อยลง แต่หากเกิดการเปลี่ยนแปลง

ความเข้มข้นสูงไปเซลล์ของแบคทีเรียจะเกิดการชะงักเนื่องจากการช็อกของแรงดันออสโมติก (Osmotic shock) ได้

#### 4.4 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA)

การศึกษาความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA) ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเป็นการศึกษาความสามารถของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบในการย่อยสลายสารอินทรีย์ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยดูจากอัตราการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งแบคทีเรียที่มีอัตราการสร้างก๊าซมีเทนสูงจะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูงตามไปด้วย แต่ในงานวิจัยนี้ น้ำเสียที่ใช้ทดลองมีคลอไรด์สูงจึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างไปจากเดิม เนื่องจากคลอไรด์จะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยปริมาณเกลือคลอไรด์ในน้ำที่มีปริมาณสูงนั้นจะเข้าไปเกาะบริเวณช่องว่างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำให้การถ่ายเทสารอาหารภายในเซลล์แบคทีเรียเป็นไปอย่างยากลำบากส่งผลให้เซลล์จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในตายได้และอัตราส่วนการผลิตก๊าซมีเทนที่ได้ลดลงด้วย การศึกษาความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ตลอดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.34

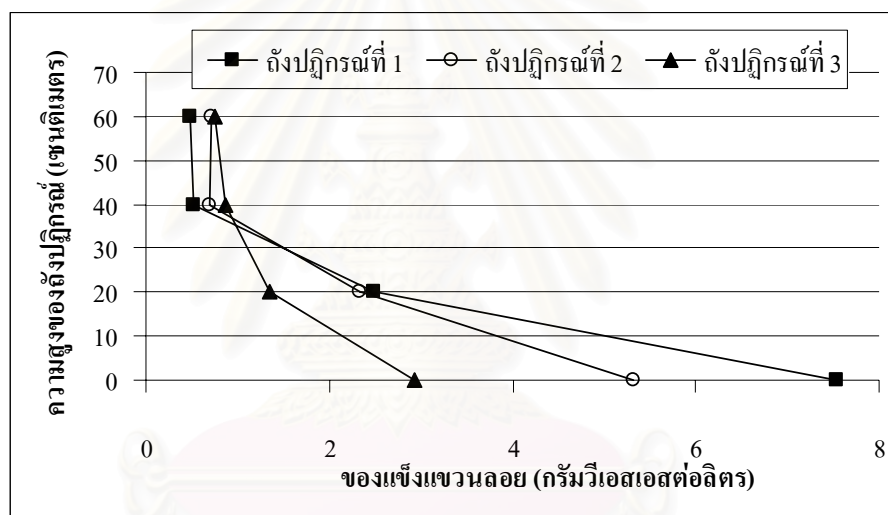


ภาพที่ 4.34 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA) ตลอดการทดลอง (ถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000, 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จากภาพที่ 4.34 จะเห็นได้ว่า ค่า SMA เฉลี่ยตลอดการทดลองของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ที่ เเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 0.300, 0.300 และ 0.306 กรัมซีโอดีมีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ตามลำดับ โดยในช่วง 120 วันแรก ซึ่งเป็นการทดลองช่วงที่ 1 นั้น พบว่า หลังจากเดินระบบไปแล้ว ระยะเวลาหนึ่งค่า SMA จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆและค่อยๆคงที่ เนื่องจากแบคทีเรียในระบบอยู่ในช่วงปรับตัวทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงและเมื่อแบคทีเรียชินกับน้ำเสียแล้วก็จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้นส่งผลให้ค่า SMA เพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากหลังเดินระบบไปแล้ว 120 วัน ซึ่งเป็นช่วงการทดลองที่ 2 ที่มีการเพิ่มปริมาณคลอรีนในระบบ โดยค่อยๆเพิ่มจากความเข้มข้นต่ำไปสูง คือ 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า หลังจากค่อยๆเพิ่มปริมาณคลอรีนแล้วแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียที่มีปริมาณคลอรีนที่ความเข้มข้น 600 และ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตรได้แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคลอรีนสูงขึ้นที่ความเข้มข้น 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า แบคทีเรียสร้างมีเทนมีขีดความสามารถในการสร้างก๊าซมีเทนได้น้อยลง เนื่องจากปริมาณคลอรีนที่สูงขึ้นในน้ำเสียนั้นเข้าไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kincannon และ Gaudy (1996) ที่พบว่า เมื่อมีการเติมโซเดียมคลอรีนที่ความเข้มข้น 30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความเข้มข้นนี้ยังไม่แสดงผลอย่างรุนแรงต่อระบบ ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นถึง 45,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารลดลงในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอรีนจากความเข้มข้นต่ำไปสูงนั้นสัตว์จะค่อยๆปรับตัวให้ชินจนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อระบบน้อยลง แต่หากเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสูงไปเซลล์ของแบคทีเรียจะเกิดการชะงักเนื่องจากการช็อกของแรงดันออสโมติก (Osmotic shock) ได้ นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lengerak และคณะ (1998) ที่พบว่า การเติมแคลเซียมในปริมาณมากในน้ำเข้าจะทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งตะกอนนั้นจะเข้าไปเกาะช่องว่างภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำให้เกิดการขัดขวางการถ่ายเทสารอาหารเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ตายได้ และ Yu และคณะ (2001) ยังพบว่า การเติมแคลเซียมในปริมาณที่มากกว่า 150-300 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ภายในเม็ดตะกอนทำให้การส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่ภายในเซลล์ถูกจำกัดลง ส่งผลให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลง ค่า SMA จึงลดลงตามไปด้วย

#### 4.5 การกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์

การทดลองนี้ ศึกษาการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ ว่าที่ความสูงใดของถังปฏิกรณ์จะมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์มากที่สุด โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 0, 20, 40 และ 60 เซนติเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่ชั้นตะกอนขยายตัว นำมาหาค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยการหาค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยระยะเหย (VSS หรือ MLVSS) ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งบอกถึงความเข้มข้นของปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากขวดรูปชมพู่หลังจากทำการวิเคราะห์หาค่า SMA แล้ว ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนของจุลินทรีย์ในระบบ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.35



ภาพที่ 4.35 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีตามระดับความสูงของถังปฏิกรณ์

จากภาพที่ 4.35 จะเห็นได้ว่า ที่ความสูงของถังปฏิกรณ์ประมาณ 40-60 เซนติเมตร ซึ่งเป็นส่วนชั้นตะกอนขยายตัวของถัง 3 ถังปฏิกรณ์ จะมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในปริมาณใกล้เคียงกัน และพบว่า ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 จะมีค่ามากที่สุดบริเวณก้นถังปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากที่สุดนั่นเอง นอกจากนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนในระบบยังมีส่วนทำให้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ลดลงด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในช่วงกำลังปรับสภาพให้มีความเคยชินกับน้ำเสียที่มีคลอรีนสูง จุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาและที่ไม่สามารถปรับสภาพได้อาจตายและถูกย่อยสลายไปหรือเกิดจากการที่จุลินทรีย์ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนใหญ่ได้จึงหลุดออกนอกระบบไปกับน้ำทิ้ง ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีค่าลดลงและหลังจากที่จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับ

น้ำเสียได้แล้วค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบจะมีค่าคงที่ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่า Particle Size ในงานวิจัยนี้ที่พบว่า ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งดูได้จากค่า D ใดๆในหัวข้อที่ 4.3 และเมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ในระบบมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของคลอรีนต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียปิโตรเคมีด้วยระบบยูเอเอสบี โดยใช้ น้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ในน้ำเข้าระบบ ใช้แบบจำลองระบบยูเอเอสบี ระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ชุด สรุปผลการวิจัย ได้ ดังนี้

5.1.1 การทดลองช่วงที่ 1 เปรียบเทียบค่าซีโอดีของแต่ละชุดการทดลองที่ความเข้มข้น 1,000, 1,500 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 ได้สูงถึง 88.66, 90.49 และ 89.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แม้ว่าในระบบจะมีปริมาณคลอรีนที่ละลายในน้ำเข้าระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 380.3720, 514.2305 และ 612.6465 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำออกจากระบบที่เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 357.1665, 493.2080 และ 624.6390 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ก็ตาม แต่ระบบก็ยังสามารถกำจัดซีโอดีได้ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ จึงสรุปได้ว่า ปริมาณคลอรีนในระบบไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีเลย

5.1.2 การทดลองช่วงที่ 2 ทำการเพิ่มปริมาณคลอรีนในช่วงการทดลองที่ 1 โดยเติม โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เท่ากัน ทุกระบบ โดยเพิ่มจากความเข้มข้นต่ำไปสูง พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยที่ เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50 เท่ากับ 84.00, 89.44 และ 86.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากการทดลองที่ 1 เพียงเล็กน้อย แต่ระบบก็ยังสามารถกำจัดซีโอดีเฉลี่ยได้เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ ช่วงการทดลองที่ 1 ในช่วงการทดลองที่ 2 นี้ ยังพบว่า ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีที่ดีที่สุดถึง 89.44 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่า ปริมาณคลอรีนที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นในระบบจากความเข้มข้นต่ำไปสูงนั้นทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวและชินกับน้ำเสียที่มีปริมาณเกลือคลอรีนสูงได้จึงยังมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ดีเช่นเดิม

5.1.3 จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) ของทั้ง 2 ช่วงการทดลอง พบว่า โครงสร้างและลักษณะ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ไม่แตกต่างกันแต่จะแตกต่างจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ช่วง เริ่มต้นระบบ คือ เมื่อเดินระบบไปแล้วทั้ง 2 ช่วงการทดลองจะเห็นว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีการ รวมตัวกันอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีช่องว่างหรือโพรงภายในเซลล์จุลินทรีย์ซึ่งเกิดจากปริมาณ

คลอไรด์ที่เข้าไปในระบบส่งผลให้คลอไรด์ที่เข้าไปขัดขวางการถ่ายเทสารอาหารภายในเซลล์ จุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ภายในเมื่อดตะกอนตายจึงเกิดช่องว่างภายในเมื่อดตะกอนขึ้น

5.1.4 จากผลการวิเคราะห์ห้ขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer พบว่า ทุกถึงปฏิกรณ์ที่เพิ่มปริมาณคลอไรด์โดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 600, 1,200 และ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากันทุกถึงปฏิกรณ์นั้น ในช่วงแรกมีแนวโน้มมีขนาดเม็ดตะกอน จุลินทรีย์เล็กลง แต่เมื่อเดินระบบผ่านไประยะหนึ่งตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวและ ชินกับน้ำเสียที่มีปริมาณคลอไรด์สูงได้ขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ จึงมี แนวโน้มมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าช่วงเริ่มต้นระบบมาก สรุปได้ว่า เมื่อตะกอนจุลินทรีย์ชินกับน้ำเสียที่มี ปริมาณคลอไรด์สูงได้แล้วนั้น ค่าคลอไรด์จึงไม่มีผลกระทบต่อขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

5.1.5 จากผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA) ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ พบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์ใน ปริมาณมากนั้นเกลือคลอไรด์จะเข้าไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนส่งผลให้แบคทีเรีย ผลิตก๊าซมีเทนได้ลดลง โดยจะเห็นได้จากค่า SMA เฉลี่ย เท่ากับ 0.276, 0.357 และ 0.444 กรัมชีโอดี มีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดลองวิจัยควรเลือกใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดรูปร่างและลักษณะเป็น เม็ด ไม่ควรใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นฟล็อกเนื่องจากต้องใช้เวลา Start-up ระบบนานและ ตะกอนจุลินทรีย์จะมีลักษณะเบาสามารถหลุดลอยออกนอกระบบไปกับน้ำทิ้งได้ง่ายทำให้ความ เข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีค่าน้อย

5.2.2 ควรใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเคยชินกับชนิดของน้ำเสียที่จะใช้ในการทดลองมา บ้างแล้วเพื่อลดระยะเวลาช่วง Start-up ระบบ

5.2.3 ในขณะที่เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพของระบบควรตรวจการรั่วไหลออกนอกระบบของ ก๊าซสม่ำเสมอเพื่อจะได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่แท้จริง

5.2.4 ระวังอย่าให้มีออกซิเจนเข้าไปในระบบ เนื่องจากระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัด น้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

5.2.5 ควรศึกษาความเค็มของน้ำและความหนืดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเมื่อน้ำเสียมี คลอไรด์สูงที่แบคทีเรียสามารถปรับตัวได้ดีที่สุด

5.2.6 ควรใช้น้ำเสียจริงโดยไม่ต้องเจือจางมาทดลองเพื่อศึกษาว่าระบบปรับสภาพได้ หรือไม่

5.2.7 ควรศึกษาระบบยูเอเอสบีที่มีค่าชีโอดีเหมาะสมต่อการกำจัดเอทานอลได้ดีที่สุด

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- จันทิมา สกกุลพานิชย์. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงโดยใช้ระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชฎารัตน์ อนันต์. 2540. ผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของกระบวนการแยกที่เวเต็คสตัดจ์แบบฟลูอิดบดจ์ 3 ชั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตุลชัย แจ่มใส. 2545. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบชั้นเม็คตะกอนขยายตัวสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวีชัย ชีระเศรษฐนันท์. 2540. การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภูคำ พิมพ์จักร. 2546. การใช้กระบวนการยูเอเอสบี-แอนีออกซิก-แอโรบิกในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียสะพานปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2536. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. 2535. ความรู้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สามเสนการพิมพ์.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมประเทศไทย.

สุเมธ ชวเดช. 2540. รายงานการวิจัยระบบยูเอสบี-ตัวกลางกรองแบบอนุหุมิสูงและสองชั้นตอน  
สำหรับน้ำกากส่าและผลิตภัณฑ์ก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชา  
 วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

Fang, H.H.P., Chui, H.K., Li, Y.Y., 1994. Microbial structure and activity of UASB granules treating different wastewater. Water Science and Technology. 30(12): 87-96.

Gonzalez, J.S., Rivera, A., Borja, R. and Sanchez, E. 1998. Influence of organic volumetric loading rate, nutrient balance and alkalinity:COD ratio on the anaerobic sludge granulation of an UASB reactor treating sugar cane molasses. International Biodeterioration & Biodegradation. 41: 127-131.

Guiot, S.R., Paus, A., and Costerton, J.W., 1992. A structured model of the anaerobic granule consortium. Water Science and Technology. 25(7): 1-10.

Hamoda, M.F., and Al-Attar, I.M.S. 1996. Effect of high Sodium Chloride concentration on Activated Sludge Treatment. Water Science and Technology. 31: 61-72.

Hulshoff Pol, L.W., de Zeeuw, W.J., Velzeboer, C.T.M., and Lettinga, G. 1983. Granulation in UASB reactors. Water Science and Technology. 15: 291-304.

Hulshoff Pol, L.W., de Castro Lopes, S.I., Lettinga, G., and Lens, P.N.L. 2004. Anaerobic sludge granulation. Water Research. 38: 1376-1389.

Jones, R.D., and Hood, M.A. 1980. Effect of Temperature, pH, Salinity and Inorganic Nitrogen on the Rate of Ammonium Oxidation by Nitrifiers Isolated from Wetland Environment. Microbiology and Ecology.:340-347.

Kincannon, D.F., and Gaudy, A.F. 1996. Some Effect of High Salt concentration on Activated Sludge. Journal of Water Pollution Control Federation. 38: 1148-1150.

Lawton, G.W. and Eggert, C.V. 1957. Effect of high Sodium Chloride concentration on Trickling Filter Slime. Sewage and Industrial waste. 29: 1128-1236.

Lettinga, G., Roersm, R., and Grin, P. 1980. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactor. Biotechnology and Bioengineering 22: 1701-1723.

Lettinga, G., and Hulshoff Pol, L.W. 1991. UASB- Process design for various types of wastewater. Water Science and Technology. 24(8): 87-107.

- Li, A., and Guowei, G. 1993. The effect of Inorganic Salt on Activated Sludge Process Performance. Water Research. 33: 99-104.
- Ludzack, F.K., and Noran, D.K. 1965. Tolerance of High Salinities by Conventional Wastewater Treatment Process. Journal of Water Pollution Control Federation.
- Ong, S.A., Toorisaka, E., Hirata, M., and Hano, T. 2005. Decolorization of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system. Separation and Purification Technology. 42: 297-302.
- Sam-soon, p.A.L.N.S., Loewenthal, R.E., Wentzel, M.C. and Marais, G.V.R. 1990. Growth of Biopellets on Glucose in Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) System. Water Research. 16, 13: 151-164.
- Schmidt, J.E., and Ahring, B.K. 1995. Granular sludge formation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. Biotechnology and Bioengineering. 49: 229-246
- Show, K.Y., Wang, Y., Foong, S.F., and Tay, J.H. 2004. Accelerated start-up and enhanced granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor. Water Research. 38: 2293-2304.
- Speece, R.E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater. Vanderbilt: University of Archae Press.
- Speece, R.E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater. Tennessee: Archae Press.
- Stander, G.J. 1996. Waterpollution research-a key to wastewater management. Journal of Water Pollution Control Federation. 38: 774.
- Tokuz, R.V., and Eckenfelder, W.W. 1979. The effect of Inorganic Salt on Activated Sludge Process Performance. Water Science and Technology. 29,(7): 31-37.
- Yu, H.Q., Tay, J.H., and Fang, H.H.H. 2001. The roles of calcium in sludge granulation during UASB reactor Start-up. Water Research. 35: 1052-1060.
- Yu, H.Q., Fang, H.H.H., and Tay, J.H. 2001. Enhanced sludge granulation in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors by aluminum chloride. Chemosphere. 44: 31-36.
- Van Haandel, A.C., and Lettinga, G. 1994. Anaerobic sewage treatment. Chichester: John Wiley and Sons.
- Van langerak, E.P.A., Gonzalez-Gil, G., van aelst, A., Van lier, J.B., Hamelers, H.V.M., and Lettinga, G. 1998. Effects of High Calcium concentrations on the development of methanogenic sludge in Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) reactors. Water Research 32: 1255-1263.

Visser, A., Alphenaar, P.A., Gao, Y., van Rossum, G., and Lettinga, G. 1993. Granulation and immobilization of methanogenic and sulfate-reducing bacteria in high-rate anaerobic reactors. Applied and Environmental Microbiology 40: 575-581.

Yan-Ling, H., Xing-Lian, G., and Shu-Hui, Y. 1995. Sludge granulation in a UASB reactor for the treatment of soda-anthraquinone chemical wheat-straw pulp black liquor. Bioresource Technology 51: 213-215.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการทดลองช่วงที่ 1**

ตารางที่ ก.1 พีเอชของการทดลองช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	พีเอช					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
31/1/2550	7.54	8.01	7.49	7.83	7.54	7.88
2/2/2550	7.48	7.65	7.46	7.69	7.49	7.79
5/2/2550	7.81	8.30	7.69	7.77	7.65	8.05
7/2/2550	7.90	8.01	7.70	7.83	7.78	7.93
9/2/2550	7.92	8.22	7.89	7.98	7.89	8.29
12/2/2550	7.58	8.31	7.62	8.40	7.70	7.58
14/2/2550	7.50	8.02	7.50	8.20	7.49	8.19
16/2/2550	7.63	8.21	7.60	8.25	7.62	8.31
19/2/2550	7.81	8.30	7.69	7.93	7.77	7.77
21/2/2550	7.73	8.00	7.75	8.01	7.80	8.10
23/2/2550	7.92	8.32	7.89	8.21	7.67	8.00
26/2/2550	7.70	8.16	7.70	8.41	7.65	8.22
28/2/2550	7.73	8.07	7.75	8.28	7.74	8.04
2/3/2550	7.69	7.76	7.73	8.08	7.75	8.13
5/3/2550	7.92	8.22	7.89	8.30	7.89	8.29
7/3/2550	7.76	8.07	7.29	8.13	7.36	8.01
9/3/2550	7.64	7.92	7.65	8.12	7.73	7.99
12/3/2550	7.65	8.18	7.65	8.21	7.63	8.31
14/3/2550	7.77	8.22	7.77	8.18	7.79	8.27
16/3/2550	7.85	8.24	7.87	8.21	7.85	8.20
19/3/2550	7.69	8.28	7.74	8.29	7.77	8.40
21/3/2550	7.69	8.16	7.58	8.13	7.65	8.00
23/3/2550	7.74	8.00	7.59	7.73	7.65	7.72
26/3/2550	7.76	8.07	7.70	7.92	7.70	7.88
28/3/2550	7.76	8.20	7.69	8.06	7.63	7.88
30/3/2550	7.94	7.95	7.95	7.92	7.57	7.57
2/4/2550	7.69	7.91	7.58	7.95	7.52	7.47



ตารางที่ ก.1 พิเศษของการทดลองช่วงที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	พิเศษ					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
4/4/2550	7.60	8.00	7.51	8.27	7.45	7.36
6/4/2550	7.53	7.30	7.56	7.62	7.47	6.92
9/4/2550	7.63	8.12	7.56	7.97	7.52	7.43
11/4/2550	7.81	8.01	7.70	7.83	7.56	7.38
13/4/2550	7.65	7.98	7.55	7.88	7.25	7.53
16/4/2550	7.38	7.76	7.58	7.89	7.49	7.63
18/4/2550	7.65	7.67	7.46	7.56	7.22	7.30
20/4/2550	7.47	7.72	7.43	7.56	7.36	7.46
23/4/2550	7.53	7.95	7.52	7.82	7.43	7.54
25/4/2550	7.61	8.10	7.65	8.01	7.59	8.05
27/4/2550	7.63	8.12	7.55	7.98	7.62	7.97
30/4/2550	7.49	7.92	7.50	7.98	7.62	8.01
2/5/2550	7.75	8.25	7.72	8.10	7.65	7.96
4/5/2550	7.35	7.90	7.42	7.77	7.40	7.58
7/5/2550	7.77	8.08	7.70	8.25	7.50	8.05
9/5/2550	7.60	8.16	7.50	7.86	7.12	7.76
11/5/2550	7.85	7.76	7.56	7.79	7.43	7.55
14/5/2550	7.73	8.19	7.52	8.08	7.49	7.91
16/5/2550	7.67	8.20	7.71	7.97	7.60	7.60
18/5/2550	7.54	7.60	7.49	7.28	7.19	7.20
21/5/2550	7.56	8.01	7.51	7.79	7.39	7.85
23/5/2550	7.65	7.86	7.60	7.70	7.54	7.30
25/5/2550	7.57	7.80	7.47	7.59	7.14	6.92
28/5/2550	7.50	8.09	7.46	7.93	7.41	7.80
30/5/2550	7.53	8.09	7.45	7.55	7.41	7.48
ค่ามากที่สุด	7.94	8.32	7.95	8.41	7.89	8.40
ค่าน้อยที่สุด	7.35	7.30	7.29	7.28	7.12	6.92
ผลรวม	398.85	417.40	396.09	414.05	393.13	414.21
เฉลี่ย	7.67	8.03	7.62	7.96	7.56	7.80
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	7.66	8.07	7.595	7.97	7.58	7.88

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
31/1/2550	30.00	28.50	30.50	28.00	30.00	28.50
2/2/2550	29.50	28.00	29.00	28.50	29.50	28.00
5/2/2550	30.50	29.00	30.50	29.00	29.00	29.50
7/2/2550	29.00	28.50	30.50	30.50	29.00	30.00
9/2/2550	28.50	26.50	27.50	26.50	28.00	26.50
12/2/2550	28.00	30.00	28.00	30.00	28.00	30.00
14/2/2550	29.00	30.00	29.00	30.00	29.00	29.00
16/2/2550	28.00	30.00	29.00	30.00	28.00	30.00
19/2/2550	29.50	30.00	29.50	30.50	29.00	30.50
21/2/2550	28.50	29.00	28.50	29.50	28.50	29.00
23/2/1950	29.00	30.50	29.00	30.50	29.00	30.00
26/2/2550	30.00	29.00	30.00	29.00	29.00	29.00
28/2/2550	30.00	29.00	30.00	29.00	29.00	29.00
2/3/2550	29.00	30.00	29.00	30.00	29.00	30.00
5/3/2550	29.00	29.00	29.00	28.00	29.00	28.00
7/3/2550	29.00	30.00	29.00	30.00	29.00	30.00
9/3/2550	30.00	29.00	30.00	29.50	30.00	29.50
12/3/2550	30.00	28.00	30.00	28.00	30.00	28.00
14/3/2550	28.50	29.00	28.00	28.50	28.00	28.50
16/3/2550	29.50	29.00	29.50	29.00	29.00	29.00
19/3/2550	30.00	28.50	30.00	28.00	30.00	28.00
21/3/2550	30.00	28.50	30.00	28.50	29.00	29.00
23/3/2550	30.00	29.00	30.00	29.00	29.00	29.00
26/3/2550	30.00	30.50	30.00	30.50	30.00	30.50
28/3/2550	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	29.00
30/3/2550	31.00	31.50	30.50	32.00	30.00	32.00

ตารางที่ ก.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
2/4/2550	30.50	31.00	30.00	31.00	30.50	31.00
4/4/2550	31.00	29.50	31.00	29.00	31.00	29.00
6/4/2550	31.00	28.50	31.00	28.00	31.00	27.50
9/4/2550	30.00	29.00	30.00	29.00	30.00	29.00
11/4/2550	29.00	28.00	29.00	28.00	29.00	28.00
13/4/2550	31.50	31.00	31.50	31.50	31.00	31.50
16/4/2550	30.50	31.00	31.50	32.00	31.00	32.00
18/4/2550	29.50	29.00	30.00	28.00	30.00	29.00
20/4/2550	32.00	32.50	32.00	33.00	31.50	33.00
23/4/2550	32.50	33.50	32.50	32.50	32.00	33.00
25/4/2550	32.50	30.00	32.00	30.00	32.00	30.50
27/4/2550	32.00	32.00	32.00	32.50	32.00	32.50
30/4/2550	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.50
2/5/2550	28.50	26.50	27.50	26.50	27.00	26.50
4/5/2550	27.00	27.00	27.00	27.50	27.00	27.00
7/5/2550	29.50	29.00	29.50	29.00	29.50	29.00
9/5/2550	30.50	29.50	30.50	30.00	30.50	30.50
11/5/2550	28.50	29.50	29.00	29.50	29.00	30.00
14/5/2550	29.50	27.50	29.00	28.00	29.00	28.00
16/5/2550	29.50	30.00	29.50	30.00	29.50	30.00
18/5/2550	30.00	30.50	30.00	31.00	30.00	31.00
21/5/2550	31.00	29.00	30.50	29.00	30.50	29.50
23/5/2550	31.50	31.00	31.00	30.50	30.50	30.50
25/5/2550	31.00	30.00	30.50	30.00	30.50	30.00
28/5/2550	31.50	30.00	31.50	29.50	31.50	29.50
30/5/2550	31.50	30.00	31.00	30.00	30.50	30.00
ค่ามากที่สุด	32.50	33.50	32.50	33.00	32.00	33.00
ค่าน้อยที่สุด	27.00	26.50	27.00	26.50	27.00	26.50
ผลรวม	1,560.00	1,536.50	1,558.00	1,539.00	1,546.00	1,539.50
เฉลี่ย	30.00	29.55	29.96	29.60	29.73	29.61
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	30.00	29.50	30.00	29.50	29.75	29.5

ตารางที่ ก.3 สภาพค่างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	สภาพค่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
16/2/2550	332	404	324	598	324	732
23/2/2550	450	466	360	420	440	480
2/3/2550	284	296	294	280	304	292
9/3/2550	508	498	494	506	470	486
16/3/2550	492	478	450	484	440	450
23/3/2550	432	514	798	654	608	410
30/3/2550	446	514	718	656	648	590
6/4/2550	580	482	678	546	782	290
13/4/2550	513	498	698	601	715	440
20/4/2550	492	478	508	498	648	590
27/4/2550	546	484	628	588	762	700
4/5/2550	464	484	642	624	780	460
11/5/2550	523	320	470	460	682	690
18/5/2550	532	480	640	458	846	864
25/5/2550	450	312	704	350	1006	774
1/6/2550	522	320	758	366	872	342
8/6/2550	470	410	682	638	908	390
15/6/2550	460	418	550	496	554	618
ค่ามากที่สุด	580	514	798	656	1006	864
ค่าน้อยที่สุด	284	296	294	280	304	290
ผลรวม	8496	7856	10396	9223	11789	9598
เฉลี่ย	472	436	578	512	655	533
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	481	478	634	502	665	483

ตารางที่ ก.4 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
13/2/2550	55.30	16.10	35.30	18.50	52.10	63.90
20/2/2550	30.20	31.70	37.50	43.80	29.50	33.60
27/2/2550	17.90	25.20	19.90	45.90	16.10	78.20
6/3/2550	36.40	28.75	29.70	34.45	27.00	33.70
13/3/2550	30.90	45.70	36.00	64.60	31.00	46.60
20/3/2550	15.40	24.60	39.90	34.00	30.20	31.70
27/3/2550	19.50	21.04	33.00	57.45	37.50	52.40
3/4/2550	17.90	14.10	33.70	23.90	46.60	65.40
10/4/2550	19.80	19.90	33.30	35.20	48.80	63.00
17/4/2550	40.30	39.30	46.60	45.40	37.50	30.10
24/4/2550	31.50	16.30	53.00	26.40	71.90	51.80
1/5/2550	38.80	16.60	34.40	20.30	40.80	33.30
8/5/2550	19.40	39.20	35.60	23.00	36.90	35.50
15/5/2550	35.60	23.00	93.20	135.25	107.10	94.50
22/5/2550	36.90	18.70	58.10	45.40	71.30	51.44
29/5/2550	82.00	72.37	129.90	85.00	151.60	120.60
5/6/2550	83.30	64.70	117.80	99.20	110.30	78.60
12/6/2550	63.30	38.50	40.70	15.20	125.40	110.35
ค่ามากที่สุด	83.30	72.37	129.90	135.25	151.60	120.60
ค่าน้อยที่สุด	15.40	14.10	19.90	15.20	16.10	30.10
ผลรวม	674.40	555.76	907.60	852.95	1,071.60	1,074.69
เฉลี่ย	37.47	30.88	50.42	47.39	59.53	59.71
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	33.55	24.90	36.75	39.50	43.70	52.10

ตารางที่ ก.5 ของแข็งทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 1

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
13/2/2550	3,678.00	106.50	3,086.50	1,404.50	3,144.50	1,871.50
20/2/2550	3,009.54	2,981.45	3,811.50	2,633.50	3,186.50	1,844.50
27/2/2550	2,968.50	3,027.00	2,863.00	3,077.00	2,913.00	2,982.50
6/3/2550	3,816.50	2,631.50	4,108.50	2,974.00	4,203.50	3,441.00
13/3/2550	4,231.00	4,290.50	4,253.50	4,289.50	4,327.00	4,253.50
20/3/2550	3,826.00	3,881.50	4,918.50	4,343.00	5,061.50	4,082.00
27/3/2550	4,326.50	4,693.50	5,336.00	5,515.50	5,121.00	4,722.00
3/4/2550	4,199.50	3,858.00	5,101.00	4,608.50	7,413.50	7,469.00
10/4/2550	3,836.50	3,560.50	4,779.00	4,414.00	6,759.50	6,079.00
17/4/2550	4,818.50	4,532.00	7,413.50	6,443.00	5,282.00	5,061.50
24/4/2550	3,806.50	3,494.00	4,551.50	4,351.00	6,288.00	5,522.00
1/5/2550	5,210.00	3,480.00	5,005.00	4,608.50	4,656.50	3,755.00
8/5/2550	3,105.50	2,886.50	3,469.50	3,305.00	5,416.50	5,309.50
15/5/2550	4,505.50	4,877.00	9,632.50	10,285.00	11,716.50	10,851.00
22/5/2550	4,089.50	3,981.50	5,516.50	5,388.00	7,815.00	6,944.50
29/5/2550	4,036.00	3,912.50	6,077.50	5,795.50	7,394.50	6,938.00
5/6/2550	6,141.50	5,671.50	8,055.50	7,510.50	10,288.00	8,800.50
12/6/2550	2,510.67	2,972.67	2,282.67	3,424.67	11,960.00	10,973.00
ค่ามากที่สุด	6,141.50	5,671.50	9,632.50	10,285.00	11,960.00	10,973.00
ค่าน้อยที่สุด	2,510.67	106.50	2,282.67	1,404.50	2,913.00	1,844.50
ผลรวม	72,115.71	64,838.12	90,261.67	84,370.67	112,947.00	100,900.00
เฉลี่ย	4,006.43	3,602.12	5,014.54	4,687.26	6,274.83	5,605.56
เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50	3,936.25	3,709.25	4,848.75	4,382.50	5,349.25	5,185.50

ตารางที่ ก.6 ของแข็งละลายของช่วงการทดลองที่ 1

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
13/2/2550	3,622.70	1,090.40	3,051.20	1,386.00	3,092.40	1,807.60
20/2/2550	2,979.34	2,949.75	3,774.00	2,589.70	3,157.00	1,810.90
27/2/2550	2,950.60	3,001.80	2,843.10	3,031.10	2,896.90	2,904.30
6/3/2550	3,780.10	2,602.75	4,078.80	2,939.55	4,176.50	3,407.30
13/3/2550	4,200.10	4,224.80	4,217.50	4,224.90	4,296.00	4,206.90
20/3/2550	3,810.60	3,856.90	4,878.60	4,309.00	5,031.30	4,050.30
27/3/2550	4,307.00	4,672.46	5,303.00	5,417.90	5,083.50	4,669.60
3/4/2550	4,181.60	3,843.90	5,067.30	4,584.60	7,366.90	7,403.60
10/4/2550	3,816.70	3,540.60	4,745.70	4,378.80	6,710.70	6,016.00
17/4/2550	4,778.20	4,492.70	7,366.90	6,397.60	5,244.50	5,031.40
24/4/2550	3,775.00	3,477.70	4,498.50	4,324.60	6,216.10	5,470.20
1/5/2550	5,171.20	3,463.40	4,970.60	4,588.20	4,615.70	3,721.70
8/5/2550	3,086.10	2,847.30	3,433.90	3,282.00	5,379.60	5,274.00
15/5/2550	4,469.90	4,854.00	9,539.30	10,149.75	11,609.40	10,642.75
22/5/2550	4,052.60	3,962.80	5,458.40	5,342.60	7,743.70	6,893.06
29/5/2550	3,954.00	3,777.10	5,947.60	5,710.50	7,242.90	6,817.40
5/6/2550	6,056.20	5,606.80	7,937.70	7,411.30	10,153.10	8,721.90
12/6/2550	2,413.17	2,934.17	2,241.97	3,409.47	11,544.00	10,704.50
ค่ามากที่สุด	6,056.20	5,606.80	9,539.30	10,149.75	11,609.40	10,704.50
ค่าน้อยที่สุด	2,413.17	1,090.40	2,241.97	1,386.00	2,896.90	1,807.60
ผลรวม	71,405.11	65,199.33	89,354.07	83,477.57	111,560.20	99,553.41
เฉลี่ย	3,966.95	3,622.19	4,964.12	4,637.64	6,197.79	5,530.75
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	3,885.35	3,658.85	4,812.15	4,351.70	5,312.05	5,152.70

ตารางที่ ก.7 ซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 1

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
13/2/2550	960	156	1,500	180	1,980	240
15/2/2550	860	100	1,240	40	1,600	180
20/2/2550	960	80	1,560	100	2,160	200
22/2/2550	920	60	1,280	120	1,800	80
27/2/2550	850	150	1,480	131	1,850	280
1/3/2550	920	60	1,450	120	1,950	280
6/3/2550	840	160	1,480	100	1,600	180
8/3/2550	900	100	1,560	100	2,050	130
13/3/2550	920	60	1,480	170	1,980	220
15/3/2550	920	20	1,500	120	1,900	120
20/3/2550	920	60	1,240	40	2,000	160
22/3/2550	840	120	1,560	100	1,600	180
27/3/2550	720	80	1,640	280	1,960	180
29/3/2550	880	120	1,120	200	1,600	200
3/4/2550	960	200	1,240	100	1,640	280
5/4/2550	920	60	1,500	200	2,060	400
10/4/2550	920	120	1,080	80	1,480	100
12/4/2550	980	140	1,550	30	2,000	100
17/4/2550	1,050	40	1,450	100	1,960	280
19/4/2550	980	60	1,430	100	1,890	200
24/4/2550	920	200	1,450	250	1,860	159
26/4/2550	920	200	1,350	193	1,780	330
1/5/2550	980	20	1,350	100	1,850	180
3/5/2550	970	138	1,480	247	1,950	209
8/5/2550	970	150	1,370	196	1,760	160



ตารางที่ ก.7 ซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
10/5/2550	1,000	180	1,450	140	1,950	100
15/5/2550	960	280	1,450	250	2,000	400
17/5/2550	880	200	1,550	310	1,860	200
22/5/2550	920	200	1,240	160	1,520	80
24/5/2550	920	80	1,480	200	2,020	250
29/5/2550	880	320	1,550	340	1,980	300
31/5/2550	760	80	1,350	150	1,980	80
5/6/2550	840	200	1,240	200	1,560	160
7/6/2550	760	280	1,280	40	1,640	160
12/6/2550	980	20	1,640	160	1,980	80
14/6/2550	1,020	120	1,520	80	2,240	40
ค่ามากที่สุด	1,050	320	1,640	340	2,240	400
ค่าน้อยที่สุด	720	20	1,080	30	1,480	40
ผลรวม	32,900	4,614	51,090	5,427	66,990	6,878
เฉลี่ย	914	128	1,419	151	1,861	191
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	920	120	1,450	136	1,925	180

ตารางที่ ก.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 1

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัด ซีโอดี		
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3
13/2/2550	83.75	88.00	87.88
15/2/2550	88.37	96.77	88.75
20/2/2550	91.69	93.59	90.74
22/2/2550	93.48	90.63	95.56
27/2/2550	82.35	91.11	84.85
1/3/2550	93.48	91.72	85.64

ตารางที่ ก.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัด ซีโอดี		
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3
6/3/2550	80.95	93.24	88.75
8/3/2550	88.89	93.59	93.64
13/3/2550	93.48	88.51	88.88
15/3/2550	97.83	92.00	93.68
20/3/2550	93.48	96.77	92.00
22/3/2550	85.71	93.59	88.75
27/3/2550	88.89	82.93	90.82
29/3/2550	86.36	82.14	87.50
3/4/2550	79.17	91.94	82.93
5/4/2550	93.48	86.67	80.58
10/4/2550	86.96	92.59	93.24
12/4/2550	85.71	98.06	95.00
17/4/2550	96.19	93.10	85.71
19/4/2550	93.88	93.01	89.42
24/4/2550	78.26	82.78	91.45
26/4/2550	78.26	85.70	81.46
1/5/2550	97.96	92.59	90.27
3/5/2550	85.77	83.33	89.28
8/5/2550	84.53	85.69	90.91
10/5/2550	82.00	90.34	94.87
15/5/2550	70.83	82.78	80.00
17/5/2550	77.27	80.13	89.25
22/5/2550	78.26	87.10	94.74
24/5/2550	91.30	86.49	87.62
29/5/2550	63.64	78.06	84.85
31/5/2550	89.47	88.88	95.95

ตารางที่ ก.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัด ซีโอดี		
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3
5/6/2550	76.19	83.87	89.74
7/6/2550	63.16	96.90	90.24
12/6/2550	97.96	90.24	95.95
14/6/2550	88.24	94.74	98.21
ค่ามากที่สุด	97.96	98.06	98.21
ค่าน้อยที่สุด	63.16	78.06	80.00
ผลรวม	3,087.20	3,219.58	3,229.11
เฉลี่ย	85.76	89.43	89.70
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	86.66	90.49	89.58

ตารางที่ ก.9 คลอไรด์ของช่วงการทดลองที่ 1

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณคลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
14/2/2550	575.1200	591.4000	524.6000	554.3000	518.1000	617.5000
21/2/2550	582.4300	557.2350	689.3650	601.1850	730.8400	816.9750
28/2/2550	336.0850	350.1530	671.7480	674.6280	437.2100	416.7130
7/3/2550	589.7400	623.0700	354.1300	348.0700	743.5800	616.4500
14/3/2550	307.3230	311.1190	289.5770	264.4320	239.6530	262.0490
21/3/2550	233.5800	233.1440	481.6840	334.9890	437.5330	400.5460
28/3/2550	198.3250	284.8580	458.4540	429.2170	415.9740	391.2690
4/4/2550	211.6250	248.5450	401.8670	331.8440	739.3830	631.7780
11/4/2550	384.7730	340.0140	503.8610	456.5940	767.5290	319.0550
18/4/2550	287.1200	276.9590	410.0680	405.4660	461.5060	633.7080
25/4/2550	287.1200	276.9590	410.0680	405.4660	461.5060	633.7080
2/5/2550	479.5180	553.4300	326.7220	387.6200	564.6630	559.8800

ตารางที่ ก.9 คลอไรด์ของช่วงการทดลองที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณคลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
9/5/2550	446.1080	315.8420	738.7830	565.8770	503.9630	244.0920
16/5/2550	282.8420	391.4530	828.5700	864.5190	951.6280	929.7860
23/5/2550	380.2560	364.1800	607.3920	529.8220	814.7290	875.6220
30/5/2550	380.4880	402.1940	581.5060	610.3140	751.8610	750.1300
6/6/2550	614.4230	388.9140	654.4620	640.0850	660.6300	724.8530
13/6/2550	588.7500	567.3500	888.8010	878.4030	855.2150	646.2180
ค่ามากที่สุด	614.4230	623.0700	888.8010	878.4030	951.6280	929.7860
ค่าน้อยที่สุด	198.3250	233.1440	289.5770	264.4320	239.6530	244.0920
ผลรวม	7,165.6260	7,076.8190	9,821.6580	9,282.8310	11,055.5030	10,470.3320
เฉลี่ย	398.0903	393.1566	545.6477	515.7128	614.1946	581.6851
เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50	380.3720	357.1665	514.2305	493.2080	612.6465	624.6390

ตารางที่ ก.10 ปริมาณเอทานอลของช่วงการทดลองที่ 1

วัน/เดือน/ปี	เอทานอล (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
13/2/2550	573.4938	452.3028	633.2237	483.4661	750.9522	441.0492
15/2/2550	654.2463	450.2886	542.7890	320.7130	988.1312	693.7720
20/2/2550	778.5753	717.7719	625.3516	167.8671	814.8820	508.5941
22/2/2550	903.8554	453.0316	923.1760	118.1314	930.5364	762.1676
27/2/2550	906.8648	441.0492	540.4830	458.1314	894.7455	568.9753
1/3/2550	888.1342	565.7286	515.7326	459.0862	677.9280	573.9050
6/3/2550	666.4243	547.1358	454.7731	383.5892	908.2304	763.1196
8/3/2550	681.7582	593.8760	496.8512	382.0791	325.7761	310.6181
13/3/2550	573.4938	483.4661	452.3026	30.7306	576.9564	82.6697
15/3/2550	633.2237	120.7583	906.7694	640.9240	750.9522	441.0492
20/3/2550	447.8620	326.7487	467.6356	300.0544	430.5601	287.6959
22/3/2550	778.5753	327.7374	792.9112	292.1450	894.7452	568.9752

ตารางที่ ก.10 ปริมาณเอทานอลของช่วงการทดลองที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เอทานอล (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
27/3/2550	1,381.1755	590.2320	1,090.5037	597.6470	1,309.4963	888.3188
29/3/2550	1,096.9302	565.0205	799.3376	616.9262	1,040.0812	310.4355
3/4/2550	468.1300	185.8619	960.4924	327.7374	888.8131	523.4960
5/4/2550	778.5753	717.7715	1,072.7075	319.3336	871.5112	530.9111
10/4/2550	751.3866	479.0054	1,113.2434	488.8922	814.6621	506.1941
12/4/2550	240.2393	332.6808	525.9677	480.4884	550.6847	398.4280
17/4/2550	478.9580	203.8619	868.5230	319.3383	777.4787	716.8820
19/4/2550	528.9877	430.4484	699.2467	554.8690	757.9230	690.3021
24/4/2550	565.1580	100.2081	329.7568	121.0170	474.7692	70.2952
26/4/2550	159.3835	131.4215	322.6037	18.2729	460.4630	65.0930
1/5/2550	666.3080	309.1978	679.5820	416.7581	721.9561	681.7372
3/5/2550	654.2463	299.1937	683.5090	277.7344	836.9749	182.7936
8/5/2550	1,738.5291	109.0735	223.1109	176.2908	209.4551	132.0718
10/5/2550	518.1944	480.2886	722.1981	628.0041	633.3333	601.0401
15/5/2550	274.5595	163.0173	609.1861	157.7635	625.3516	167.8670
17/5/2550	530.3791	472.5873	540.4825	462.0797	1,195.9950	359.4285
22/5/2550	2,614.1166	1,067.4790	1,999.0180	1,449.7939	947.5267	345.0683
24/5/2550	2,485.6006	1,161.6432	2,554.3041	1,493.4480	2,132.7877	755.4842
29/5/2550	277.3601	273.3188	114.9248	111.6634	203.0270	80.2740
31/5/2550	101.5883	49.2070	203.8353	150.9982	385.6975	114.6258
5/6/2550	988.1314	686.7237	3,444.6591	867.0531	1,472.0765	824.7309
7/6/2550	923.1760	903.8550	930.5364	453.0361	762.1676	118.1341
12/6/2550	1,043.7023	999.5400	971.0185	926.8562	1,050.1426	883.6139
14/6/2550	3,819.6706	2,365.9950	964.5782	352.7463	961.8180	117.2141

ตารางที่ ก.10 ปริมาณเอทานอลของช่วงการทดลองที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เอทานอล (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
ค่ามากที่สุด	3,819.6706	2,365.9950	3,444.6591	1,493.4480	2,132.7877	888.3188
ค่าน้อยที่สุด	101.5883	49.2070	114.9248	18.2729	203.0270	65.0930
ผลรวม	31,570.9935	18,557.5269	29,775.3245	15,805.6653	29,028.5878	16,067.0302
เฉลี่ย	876.9720	515.4869	827.0923	439.0463	806.3497	446.3064
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	666.3662	452.6672	681.5455	382.8342	796.0704	473.6217

ตารางที่ ก.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพของช่วงการทดลองที่ 1

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด(ลิตร/วัน)		
	COD = 1,000 mg/l	COD = 1,500 mg/l	COD = 2,000 mg/l
7/2/2550	0.72	1.08	3.24
21/2/2550	4.32	3.60	5.04
7/3/2550	2.40	1.92	0.72
21/3/2550	2.40	2.40	2.88
11/4/2550	4.23	2.50	3.26
25/4/2550	3.20	2.00	2.75
9/5/2550	2.32	1.86	2.63
23/5/2550	2.40	1.96	3.23
ค่ามากที่สุด	4.32	3.60	5.04
ค่าน้อยที่สุด	4.32	3.60	5.04
ผลรวม	21.99	17.32	23.75
เฉลี่ย	2.75	2.17	2.97
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	2.40	1.98	3.06

**ภาคผนวก ข**  
**ผลการทดลองช่วงที่ 2**

ตารางที่ ข.1 พิเศษของการทดลองช่วงที่ 2

วัน/เดือน/ปี	พิเศษ					
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
18/6/2550	7.70	7.99	7.73	7.65	7.62	7.62
20/6/2550	7.74	8.00	7.67	7.75	7.64	7.78
22/6/2550	7.64	8.01	7.56	7.77	7.57	7.22
25/6/2550	7.60	7.84	7.54	7.71	7.50	7.56
27/6/2550	7.80	8.00	7.70	7.87	7.64	7.55
29/6/2550	7.49	7.69	7.48	7.54	7.50	7.50
2/7/2550	7.65	8.04	7.60	7.83	7.58	7.60
4/7/2550	7.61	7.96	7.60	7.74	7.49	7.54
6/7/2550	7.49	7.55	7.46	7.62	7.53	7.61
9/7/2550	7.53	8.02	7.27	7.75	7.40	7.60
11/7/2550	7.20	8.02	7.40	7.32	7.31	7.50
13/7/2550	7.45	7.73	7.53	7.10	7.50	7.50
16/7/2550	7.54	7.93	7.49	7.87	7.33	7.52
18/7/2550	7.40	7.85	7.40	7.86	7.36	7.39
20/7/2550	7.53	7.69	7.63	7.73	7.65	7.69
ค่ามากที่สุด	7.80	8.04	7.73	7.87	7.65	7.78
ค่าน้อยที่สุด	7.20	7.55	7.27	7.10	7.31	7.22
ผลรวม	128.37	133.91	128.06	130.08	127.58	128.18
เฉลี่ย	14.26	14.88	14.23	14.45	14.18	14.24
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	7.54	7.96	7.54	7.74	7.5	7.55

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิของการทดลองช่วงที่ 2

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ					
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
18/6/2550	31.50	30.00	31.50	29.50	31.50	30.00
20/6/2550	31.00	31.00	31.00	31.00	30.50	31.50
22/6/2550	31.50	30.00	31.00	29.50	30.50	31.50
25/6/2550	30.00	30.50	30.50	31.00	30.00	30.50
27/6/2550	30.00	29.50	30.50	29.50	30.50	29.50
29/6/2550	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	30.00
2/7/2550	29.50	29.50	30.00	30.00	29.50	29.50
4/7/2550	29.00	28.50	29.50	30.00	30.00	30.50
6/7/2550	28.50	28.00	30.00	30.50	28.50	28.00
9/7/2550	29.50	29.50	29.00	30.00	28.50	30.00
11/7/2550	29.50	28.00	29.50	28.50	29.50	28.00
13/7/2550	30.00	30.00	29.50	30.50	29.50	28.50
16/7/2550	30.50	30.00	30.50	30.00	30.50	30.00
18/7/2550	29.50	30.00	29.50	30.50	29.00	30.50
20/7/2550	30.00	30.50	30.50	30.50	30.00	30.50
ค่ามากที่สุด	31.50	31.00	31.50	31.00	31.50	31.50
ค่าน้อยที่สุด	28.50	28.00	29.00	28.50	28.50	28.00
ผลรวม	511.00	504.00	514.00	510.50	509.00	508.00
เฉลี่ย	56.78	56.00	57.11	56.72	56.56	56.44
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	30.00	30.00	30.50	30.00	30.00	30.00



ตารางที่ ข.3 สภาพค้างทั้งหมดของการทดลองช่วงที่ 2

วัน/เดือน/ปี	สภาพค้างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
20/6/2550	454	360	667	598	732	680
22/6/2550	558	420	726	666	694	650
27/6/2550	458	336	763	672	882	516
29/6/2550	524	418	792	594	800	608
4/7/2550	552	320	780	660	846	650
6/7/2550	554	308	766	716	880	542
11/7/2550	568	420	690	750	820	889
13/7/2550	554	410	778	890	750	430
18/7/2550	522	320	682	638	730	570
20/7/2550	566	448	734	774	998	784
ค่ามากที่สุด	568	448	792	890	998	889
ค่าน้อยที่สุด	454	308	667	594	694	430
ผลรวม	5,310.00	3,760.00	7,378.00	6,958.00	8,132.00	6,319.00
เฉลี่ย	895.53846	636.61538	1247.3077	1184.6154	1381.2308	1073.6154
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	553	385	748.5	669	810	629

ตารางที่ ข.4 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองช่วงที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
19/6/2550	30.10	42.10	63.00	78.90	61.30	54.90
21/6/2550	35.20	31.70	37.50	43.80	29.50	33.60
26/6/2550	169.50	117.34	99.30	68.10	106.00	63.00

ตารางที่ ข.4 ของแข็งแขวนลอยของการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
28/6/2550	108.56	89.45	103.50	78.43	96.70	54.20
3/7/2550	61.70	49.50	107.70	75.40	147.20	92.90
5/7/2550	66.83	51.20	89.60	73.70	138.90	95.40
10/7/2550	95.50	87.30	99.30	68.10	106.00	63.00
12/7/2550	98.50	89.30	105.50	79.60	113.40	79.50
17/7/2550	91.70	79.50	107.70	75.40	147.20	92.90
19/7/2550	69.20	45.80	89.70	65.40	95.80	73.50
ค่ามากที่สุด	169.50	117.34	107.70	79.60	147.20	95.40
ค่าน้อยที่สุด	30.10	31.70	37.50	43.80	29.50	33.60
ผลรวม	826.79	683.19	902.80	706.83	1,042.00	702.90
เฉลี่ย	82.68	68.32	90.28	70.68	104.20	70.29
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	80.45	65.35	99.30	74.55	106.00	68.25

ตารางที่ ข.5 ของแข็งทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
19/6/2550	5,887.00	5,616.00	8,557.00	8,957.00	9,416.00	11,230.00
21/6/2550	5,416.00	5,309.00	8,055.00	7,510.00	10,288.00	8,800.00
26/6/2550	6,599.00	6,716.50	9,895.50	9,453.50	10,930.50	10,344.50
28/6/2550	6,077.50	6,141.50	7,815.00	6,944.50	11,960.00	10,980.00
3/7/2550	6,588.00	5,978.00	8,437.00	8,407.50	10,278.00	10,179.00
5/7/2550	6,759.50	6,079.00	7,413.50	7,469.50	10,405.00	10,370.00

ตารางที่ ข.5 ของแข็งทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
10/7/2550	7,991.50	9,364.00	9,016.00	9,857.50	13,019.50	12,967.50
12/7/2550	7,512.65	7,982.00	9,873.00	10,121.50	12,541.50	12,443.50
17/7/2550	7,305.85	8,052.00	10,184.00	8,941.50	12,994.50	12,141.00
19/7/2550	7,680.50	8,132.00	9,654.00	10,731.50	11,571.50	10,281.50
ค่ามากที่สุด	7,991.50	9,364.00	10,184.00	10,731.50	13,019.50	12,967.50
ค่าน้อยที่สุด	5,416.00	5,309.00	7,413.50	6,944.50	9,416.00	8,800.00
ผลรวม	67,817.50	69,370.00	88,900.00	88,394.00	113,404.50	109,737.00
เฉลี่ย	6,781.75	6,937.00	8,890.00	8,839.40	11,340.45	10,973.70
เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50	6,679.25	6,429.00	8,786.50	8,949.25	11,251.00	10,675.00

ตารางที่ ข.6 ของแข็งละลายของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
19/6/2550	5,856.90	5,573.90	8,494.00	8,878.10	9,354.70	11,175.10
21/6/2550	5,380.80	5,277.30	8,017.50	7,466.20	10,258.50	8,766.40
26/6/2550	6,429.50	6,599.16	9,796.20	9,385.40	10,824.50	10,281.50
28/6/2550	5,968.94	6,052.05	7,711.50	6,866.07	11,863.30	10,925.80
3/7/2550	6,526.30	5,928.50	8,329.30	8,332.10	10,130.80	10,086.10
5/7/2550	6,692.67	6,027.80	7,323.90	7,395.80	10,266.10	10,274.60
10/7/2550	7,896.00	9,276.70	8,916.70	9,789.40	12,913.50	12,904.50
12/7/2550	7,414.15	7,892.70	9,767.50	10,041.90	12,428.10	12,364.00
17/7/2550	7,214.15	7,972.50	10,076.30	8,866.10	12,847.30	12,048.10

ตารางที่ ข.6 ของแข็งละลายของช่วงการทดลองที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ของแข็งละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถังปฏิบัติการที่ 1		ถังปฏิบัติการที่ 2		ถังปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
19/7/2550	7,611.30	8,086.20	9,564.30	10,666.10	11,475.70	10,208.00
ค่ามากที่สุด	7,896.00	9,276.70	10,076.30	10,666.10	12,913.50	12,904.50
ค่าน้อยที่สุด	5,380.80	5,277.30	7,323.90	6,866.07	9,354.70	8,766.40
ผลรวม	66,990.71	68,686.81	87,997.20	87,687.17	112,362.50	109,034.10
เฉลี่ย	6,699.07	6,868.68	8,799.72	8,768.72	11,236.25	10,903.41
เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50	6,609.49	6,325.61	8,705.35	8,872.10	11,150.10	10,603.65

ตารางที่ ข.7 ซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ซีโอดี					
	COD = 1,000 mg/l		COD = 1,500 mg/l		COD = 2,000 mg/l	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
19/6/2550	1,000	150	1,550	130	2,160	240
21/6/2550	1,120	100	1,240	140	2,200	180
26/6/2550	960	120	1,280	80	2,060	160
28/6/2550	1,000	240	1,440	160	1,900	240
3/7/2550	920	200	1,320	240	2,040	250
5/7/2550	1,000	160	1,600	200	1,960	280
10/7/2550	720	120	1,560	370	1,720	160
12/7/2550	1,000	160	1,600	200	2,040	160
17/7/2550	1,040	200	1,400	240	1,880	200
19/7/2550	1,160	360	1,680	280	1,960	280

ตารางที่ ข.7 ซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 2 (ต่อ)

ค่ามากที่สุด	1,160	360	1,680	370	2,200	280
ค่าน้อยที่สุด	720	100	1,240	80	1,720	160
ผลรวม	9,920	1,810	14,670	2,040	19,920	2,150
เฉลี่ย	992	181	1,467	204	1,992	215
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	1,000	160	1,495	200	2,000	220

ตารางที่ ข.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	เปอร์เซ็นต์การกำจัด ซีโอดี		
	COD = 1,000 mg/l	COD = 1,500 mg/l	COD = 2,000 mg/l
19/6/2550	85.00	91.61	88.88
21/6/2550	88.04	90.16	90.35
26/6/2550	87.50	93.75	92.23
28/6/2550	76.00	88.88	87.37
3/7/2550	78.26	81.82	87.75
5/7/2550	84.00	90.00	85.71
10/7/2550	84.21	76.28	80.20
12/7/2550	84.00	90.00	84.31
17/7/2550	80.77	82.86	81.91
19/7/2550	68.97	83.33	80.61
ค่ามากที่สุด	88.04	93.75	92.23
ค่าน้อยที่สุด	68.97	76.28	80.20
ผลรวม	816.75	868.69	859.32
เฉลี่ย	81.68	86.87	85.93
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	84.00	89.44	86.54

ตารางที่ ข.9 คลอไรด์ของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณคลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
18/6/2550	595.6410	592.2165	588.6530	591.6285	633.0500	637.8630
20/6/2550	640.0380	638.4510	551.2440	545.9820	626.0620	637.2750
22/6/2550	605.7813	607.2360	614.3455	615.0398	610.8515	614.7458
25/6/2550	1,143.5460	1,222.9050	1,195.7390	1,223.7100	1,151.5150	1,200.7250
27/6/2550	1,099.4300	1,199.9200	1,187.7880	1,245.8900	1,203.6900	1,201.5300
29/6/2550	1,065.8050	1,112.5355	1,165.6950	1,188.8300	1,118.3600	1,145.7603
2/7/2550	1,116.6200	1,149.0419	1,156.6950	1,188.8300	1,132.5800	1,135.9155
4/7/2550	1,041.6900	1,059.6210	1,089.9200	1,165.4500	1,223.4700	1,212.2100
6/7/2550	1,202.8900	1,239.0463	1,179.5333	1,200.7300	1,188.4920	1,205.9800
9/7/2550	2,518.5200	2,385.9350	2,304.5730	2,395.4570	2,472.3750	2,586.3540
11/7/2550	2,642.3750	2,517.0600	2,400.5250	2,141.1300	2,249.4750	2,424.2850
13/6/2550	2,359.9570	2,409.7500	2,513.9130	2,407.8790	2,435.9750	2,510.2520
16/7/2550	2,342.7570	2,457.4750	2,449.3590	2,350.5730	2,448.7560	2,467.2680
18/7/2550	2,359.9500	2,257.3550	2,340.2900	2,320.5450	2,637.2000	2,246.9900
20/7/2550	2,374.3750	2,390.8750	2,408.8670	2,425.7540	2,320.9580	2,430.3750
ค่ามากที่สุด	2,642.3750	2,517.0600	2,513.9130	2,425.7540	2,637.2000	2,586.3540
ค่าน้อยที่สุด	595.6410	592.2165	551.2440	545.9820	610.8515	614.7458
ผลรวม	26,347.3913	26,348.6997	26,212.2968	25,979.1643	26,700.8610	26,858.6284
เฉลี่ย	2,927.4879	2,927.6333	2,912.4774	2,886.5738	2,966.7623	2,984.2920
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	1,143.5460	1,222.9050	1,187.7880	1,223.7100	1,203.6900	1,205.9800

ตารางที่ ข.10 ปริมาณเอทานอลของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณเอทานอล (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ถังปฏิกรณ์ที่ 1		ถังปฏิกรณ์ที่ 2		ถังปฏิกรณ์ที่ 3	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
19/6/2550	948.9373	459.4719	986.6593	141.1353	1,136.6271	471.6165
21/6/2550	948.0173	825.6509	994.0197	576.3180	1,035.4218	948.0173
26/6/2550	554.8809	463.1521	1,004.4898	618.2722	1,356.5185	678.6273
28/6/2550	1,132.9469	910.2953	1,124.6665	419.3394	1,394.1485	274.5423
3/7/2550	1,062.4713	633.3609	1,041.8622	484.9480	1,039.1020	395.9886
5/7/2550	963.6581	874.4135	879.9338	446.8120	1,031.7417	699.6044
10/7/2550	1,894.3417	1,882.3810	1,943.4726	1,899.5859	1,952.6727	1,891.1215
12/7/2550	1,381.1755	590.2320	1,072.7075	319.3336	1,449.7939	530.9111
17/7/2550	972.8586	590.1870	1,029.9016	660.0423	1,044.6223	408.8693
19/7/2550	843.1318	645.3216	1,088.7846	332.5053	2,566.5655	395.9886
ค่ามากที่สุด	1,894.3417	1,882.3810	1,943.4726	1,899.5859	2,566.5655	1,891.1215
ค่าน้อยที่สุด	554.8809	459.4719	879.9338	141.1353	1,031.7417	274.5423
ผลรวม	13,151.6420	10,216.3191	13,989.9040	7,939.0132	17,605.5212	8,860.9507
เฉลี่ย	2,023.3295	1,571.7414	2,152.2929	1,221.3866	2,708.5417	1,363.2232
เปอร์เซ็นต์ไทด์ 50	968.2584	639.3413	1,035.8819	465.8800	1,246.5728	501.2638

ตารางที่ ข.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด(ลิตร/วัน)		
	COD = 1,000 mg/l	COD = 1,500 mg/l	COD = 2,000 mg/l
6/6/2550	2.40	2.40	4.80
13/6/2550	2.08	4.32	3.96
20/6/2550	2.40	2.50	1.60
27/6/2550	2.20	3.20	2.10
4/7/2550	1.65	1.62	1.80

ตารางที่ ข.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดของช่วงการทดลองที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด(ลิตร/วัน)		
	COD = 1,000 mg/l	COD = 1,500 mg/l	COD = 2,000 mg/l
18/7/2550	2.30	2.50	1.90
ค่ามากที่สุด	2.40	4.32	4.80
ค่าน้อยที่สุด	1.65	1.62	1.60
ผลรวม	13.03	16.54	16.16
เฉลี่ย	2.17	2.76	2.69
เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50	2.25	2.50	2.00

ตารางที่ ข.12 ความเข้มข้นของค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (MLVSS) ในระบบทดลองการทดลอง

ระดับความสูงของถังปฏิกรณ์ (เซนติเมตร)	ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหย (MLVSS) (gVSS/L)		
	ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3
	COD = 1,000 mg/l	COD = 1,500mg/l	COD = 2,000 mg/l
0.0	7.538	5.326	2.923
20.0	5.230	4.128	2.155
40.0	0.528	0.698	0.872
60.0	0.479	0.710	0.749



ภาคผนวก ค

การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถานบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

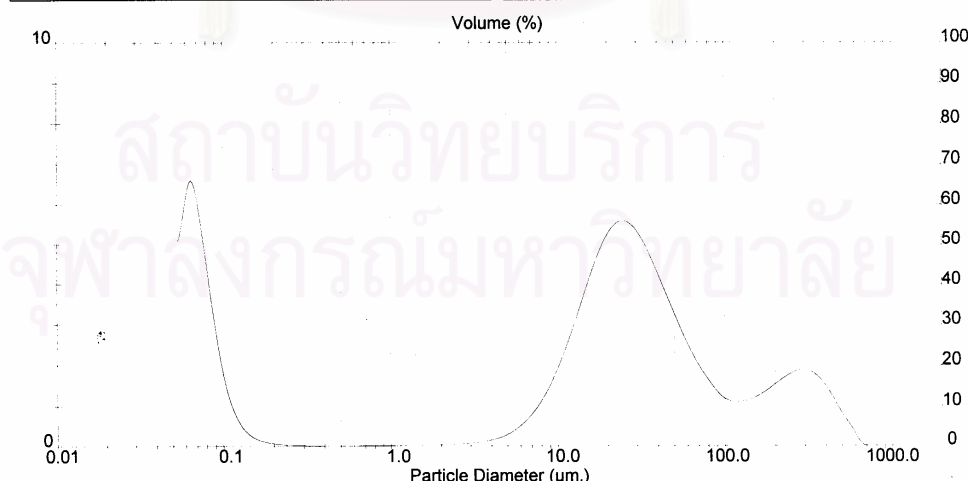
Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Bacteria	Run Number: 19	Measured: 9 Oct 2006 16:19PM
Sample File: CHULA	Record Number: 764	Analysed: 9 Oct 2006 16:19PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 17.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.263 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0139 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 20.9778 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.07 um	D (v, 0.5) = 22.69 um	D (v, 0.9) = 208.70 um
D [4, 3] = 61.33 um	D [3, 2] = 0.29 um	Span = 9.194E+00	Uniformity = 2.367E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	5.01	0.06	5.01	6.63	0.84	7.72	26.76
0.06	6.58	0.07	11.60	7.72	1.24	9.00	28.01
0.07	5.56	0.08	17.15	9.00	1.78	10.48	29.78
0.08	3.56	0.09	20.71	10.48	2.45	12.21	32.23
0.09	1.86	0.11	22.58	12.21	3.23	14.22	35.46
0.11	0.86	0.13	23.44	14.22	4.05	16.57	39.51
0.13	0.39	0.15	23.83	16.57	4.81	19.31	44.33
0.15	0.18	0.17	24.01	19.31	5.35	22.49	49.68
0.17	0.09	0.20	24.10	22.49	5.57	26.20	55.25
0.20	0.05	0.23	24.15	26.20	5.45	30.53	60.71
0.23	0.03	0.27	24.18	30.53	5.04	35.56	65.75
0.27	0.02	0.31	24.20	35.56	4.44	41.43	70.19
0.31	0.01	0.36	24.21	41.43	3.77	48.27	73.96
0.36	0.01	0.42	24.22	48.27	3.10	56.23	77.07
0.42	0.01	0.49	24.23	56.23	2.49	65.51	79.55
0.49	0.01	0.58	24.24	65.51	1.97	76.32	81.52
0.58	0.01	0.67	24.25	76.32	1.56	88.91	83.08
0.67	0.01	0.78	24.27	88.91	1.23	103.58	84.32
0.78	0.02	0.91	24.28	103.58	1.10	120.67	85.42
0.91	0.02	1.06	24.31	120.67	1.11	140.58	86.53
1.06	0.03	1.24	24.33	140.58	1.21	163.77	87.74
1.24	0.03	1.44	24.36	163.77	1.37	190.80	89.10
1.44	0.03	1.68	24.39	190.80	1.57	222.28	90.67
1.68	0.04	1.95	24.42	222.28	1.76	258.95	92.43
1.95	0.04	2.28	24.47	258.95	1.87	301.68	94.30
2.28	0.05	2.65	24.52	301.68	1.84	351.46	96.14
2.65	0.07	3.09	24.59	351.46	1.61	409.45	97.75
3.09	0.10	3.60	24.68	409.45	1.21	477.01	98.96
3.60	0.14	4.19	24.82	477.01	0.73	555.71	99.69
4.19	0.22	4.88	25.04	555.71	0.31	647.41	100.00
4.88	0.34	5.69	25.38	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.55	6.63	25.93	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd. Mastersizer S long bed Ver. 2.19 p. 9  
 Malvern, UK Serial Number: 32734-89 09 Oct 06 16:22  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

ภาพที่ ค.1 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 อ.ตลิ่งชัน ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-9 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

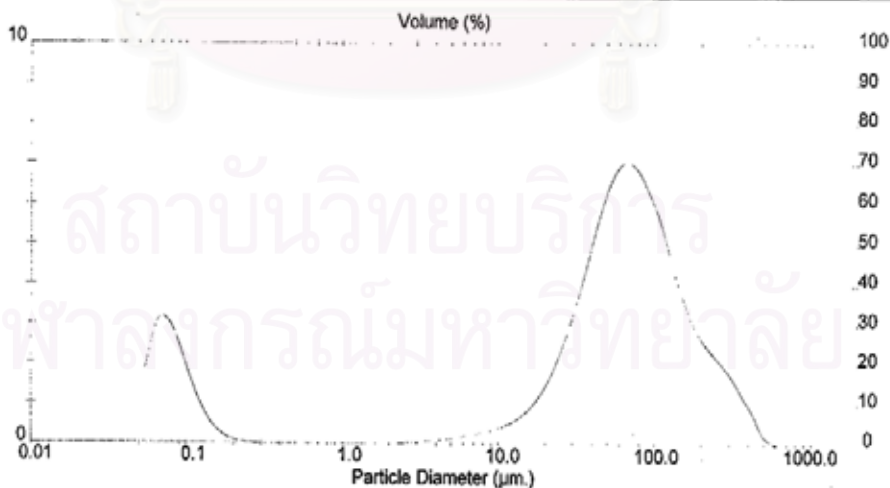
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: 1-2	Run Number: 1	Measured: 8 May 2007 16:05PM
Sample File: CHULAA	Record Number: 153	Analysed: 8 May 2007 16:03PM
Sample Path: C:\SIZER\DATA1		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 17.0 %
Presentation: 3OHD	(Particle R.I. = (1.5295, 0.1000))	Dispersant R.I. = 1.3300	Residual: 0.067 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0218 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 11.7337 sq. m / g
Mean Diameter:	D (v, 0.1) = 0.09 um	D (v, 0.5) = 60.73 um	D (v, 0.9) = 191.42 um
D [4, 3] = 82.96 um	D [3, 2] = 0.51 um	Span = 3.151E+00	Uniformity = 9.322E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	1.81	0.06	1.81	6.63	0.24	7.72	15.37
0.06	2.89	0.07	4.70	7.72	0.30	9.00	16.27
0.07	3.14	0.08	7.85	9.00	0.37	10.48	18.84
0.08	2.73	0.09	10.59	10.48	0.47	12.21	17.11
0.09	1.99	0.11	12.56	12.21	0.61	14.22	17.72
0.11	1.24	0.13	13.81	14.22	0.81	16.57	18.53
0.13	0.69	0.15	14.50	16.57	1.11	19.31	19.64
0.15	0.35	0.17	14.84	19.31	1.53	22.49	21.18
0.17	0.16	0.20	15.00	22.49	2.10	26.20	23.28
0.20	0.06	0.23	15.06	26.20	2.83	30.53	26.11
0.23	0.02	0.27	15.09	30.53	3.71	35.56	29.83
0.27	0.01	0.31	15.10	35.56	4.68	41.43	34.51
0.31	0.01	0.36	15.11	41.43	5.83	48.27	40.14
0.36	0.01	0.42	15.12	48.27	6.42	56.23	45.56
0.42	0.01	0.48	15.12	56.23	6.90	65.51	53.46
0.48	0.00	0.56	15.12	65.51	7.00	76.32	60.46
0.56	0.00	0.67	15.12	76.32	6.72	88.91	67.18
0.67	0.00	0.78	15.12	88.91	6.16	103.58	73.33
0.78	0.00	0.91	15.12	103.58	5.47	120.67	78.80
0.91	0.00	1.06	15.12	120.67	4.50	140.58	83.30
1.06	0.00	1.24	15.12	140.58	3.65	163.77	86.94
1.24	0.00	1.44	15.12	163.77	3.00	190.80	89.94
1.44	0.00	1.68	15.12	190.80	2.55	222.28	92.48
1.68	0.00	1.95	15.12	222.28	2.22	258.95	94.71
1.95	0.00	2.28	15.12	258.95	1.91	301.68	96.62
2.28	0.03	2.65	15.15	301.68	1.54	351.46	98.16
2.65	0.03	3.09	15.18	351.46	1.08	409.45	99.24
3.09	0.06	3.60	15.23	409.45	0.81	477.01	99.85
3.60	0.07	4.19	15.30	477.01	0.15	555.71	100.00
4.19	0.10	4.88	15.41	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.14	5.69	15.55	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.19	6.63	15.73	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 13  
 08 May 07 16:13

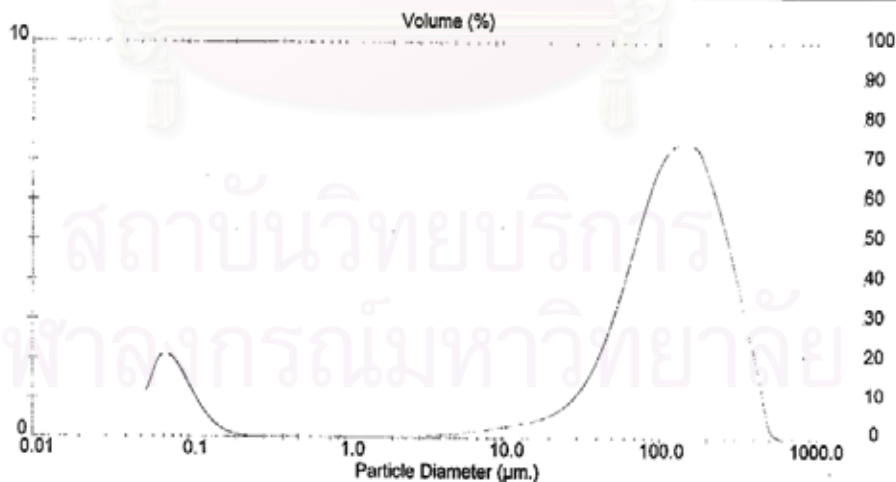
ภาพที่ ค.2 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาบัน 2 ซอยจรัญฯ 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 218829-02, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula' Soi 62 Phaya-Thai Rd. Pathumwan Bangkok 10330 Tel. 218829-02, 2188101 Fax. 2540211

**Analysis Result**

Sample Details							
Sample ID: 2-2		Run Number: 4		Measured: 8 May 2007 17:20PM			
Sample File: CHULA4		Record Number: 192		Analysed: 8 May 2007 17:20PM			
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\				Result Source: Analysed			
Sample Note: Wet Analysis System							
Dispersing Medium : Water							
Ultrasonic : no							
System Details							
Range Lens: 300RF mm		Beam Length: 2.40 mm		Sampler: M617		Obscuration: 17.6 %	
Presentation: 3CHD		[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]				Residual: 0.299 %	
Analysis Model: Polydisperse							
Modifications: None							
Result Statistics							
Distribution Type: Volume		Concentration = 0.0324 NVol		Density = 1.000 g / cub. cm		Specific S.A. = 7.9579 sq. m / g	
Mean Diameters:		D (v, 0.1) = 0.15 um		D (v, 0.5) = 113.04 um		D (v, 0.9) = 278.59 um	
D [4, 3] = 132.58 um		D [3, 2] = 0.75 um		Span = 2.463E+00		Uniformity = 7.054E-01	
Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	1.18	0.06	1.18	6.63	0.19	7.72	11.27
0.06	1.91	0.07	3.09	7.72	0.23	9.00	11.49
0.07	2.10	0.08	5.19	9.00	0.27	10.48	11.77
0.08	1.87	0.09	7.06	10.48	0.32	12.21	12.08
0.09	1.39	0.11	8.45	12.21	0.37	14.22	12.45
0.11	0.90	0.13	9.36	14.22	0.43	16.57	12.88
0.13	0.62	0.15	9.67	16.57	0.50	19.31	13.38
0.15	0.27	0.17	10.14	19.31	0.61	22.49	13.99
0.17	0.13	0.20	10.27	22.49	0.77	26.20	14.75
0.20	0.05	0.23	10.32	26.20	1.00	30.53	15.76
0.23	0.02	0.27	10.34	30.53	1.34	35.66	17.10
0.27	0.01	0.31	10.35	35.66	1.80	41.43	18.90
0.31	0.01	0.36	10.36	41.43	2.41	48.27	21.31
0.36	0.01	0.42	10.37	48.27	3.16	56.23	24.47
0.42	0.01	0.49	10.37	56.23	4.03	65.51	28.50
0.49	0.01	0.58	10.38	65.51	4.98	76.32	33.40
0.58	0.01	0.67	10.39	76.32	5.96	88.91	39.32
0.67	0.01	0.78	10.40	88.91	6.63	103.58	45.95
0.78	0.01	0.91	10.41	103.58	7.16	120.67	53.11
0.91	0.01	1.06	10.42	120.67	7.40	140.58	60.51
1.06	0.02	1.24	10.44	140.58	7.40	163.77	67.81
1.24	0.02	1.44	10.46	163.77	7.27	190.80	75.18
1.44	0.02	1.68	10.48	190.80	6.62	222.28	81.80
1.68	0.02	1.95	10.50	222.28	5.78	258.95	87.59
1.95	0.03	2.29	10.52	258.95	4.78	301.69	92.36
2.29	0.03	2.65	10.56	301.68	3.66	351.48	96.02
2.65	0.04	3.09	10.60	351.46	2.49	409.45	98.51
3.09	0.05	3.60	10.65	409.45	1.33	477.01	99.84
3.60	0.07	4.19	10.72	477.01	0.16	555.71	100.00
4.19	0.09	4.88	10.81	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.12	5.69	10.93	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.15	6.63	11.08	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 26  
 08 May 07 17:21

ภาพที่ ก.3 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสทป 2 ชั้น 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

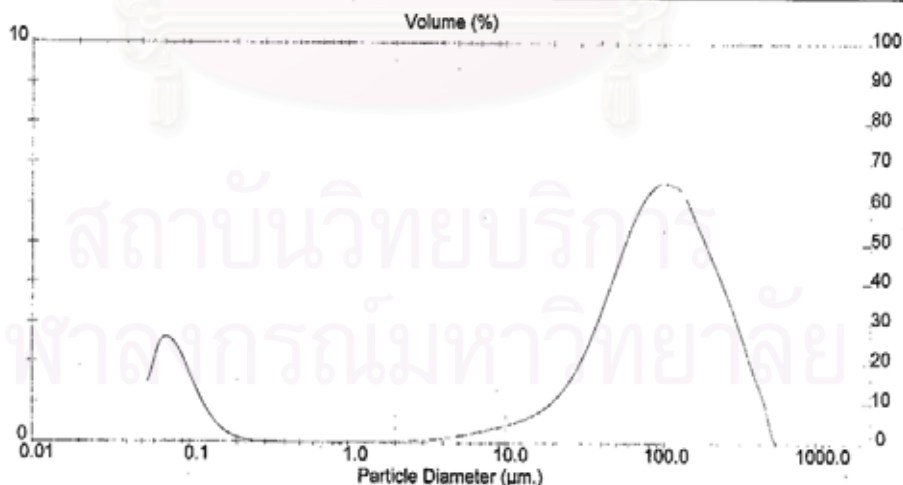
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: 3-2	Run Number: 1	Measured: 8 May 2007 17:54PM
Sample File: CHULA4	Record Number: 219	Analysed: 8 May 2007 17:54PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing Medium: Water Ultrasonic: no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: M&17	Obscuration: 23.6 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = ( 1.6265, 0.1000)]:	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.384 %
Analysis Model: Polydisperse Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0357 WVol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 9.9042 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.10 um	D (v, 0.5) = 81.52 um	D (v, 0.9) = 237.17 um
D [4, 3] = 104.20 um	D [3, 2] = 0.61 um	Span = 2.908E+00	Uniformity = 8.543E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	1.47	0.06	1.47	6.63	0.30	7.72	14.39
0.06	2.36	0.07	3.82	7.72	0.36	9.00	14.75
0.07	2.60	0.08	6.42	8.00	0.43	10.48	15.18
0.08	2.30	0.09	8.72	10.48	0.50	12.21	15.68
0.09	1.73	0.11	10.45	12.21	0.60	14.22	16.27
0.11	1.13	0.13	11.58	14.22	0.72	16.57	16.99
0.13	0.67	0.15	12.25	16.57	0.89	19.31	17.88
0.15	0.37	0.17	12.82	19.31	1.12	22.49	19.00
0.17	0.19	0.20	12.81	22.49	1.44	26.20	20.43
0.20	0.09	0.23	12.90	26.20	1.88	30.53	22.30
0.23	0.04	0.27	12.94	30.53	2.40	35.56	24.70
0.27	0.02	0.31	12.96	35.56	3.05	41.43	27.76
0.31	0.02	0.36	12.98	41.43	3.79	48.27	31.55
0.36	0.01	0.42	12.99	48.27	4.56	56.23	36.11
0.42	0.01	0.49	13.00	56.23	5.30	65.51	41.41
0.49	0.01	0.58	13.01	65.51	5.80	76.32	47.31
0.58	0.01	0.67	13.02	76.32	6.31	88.91	53.02
0.67	0.01	0.78	13.03	88.91	6.49	103.58	60.11
0.78	0.02	0.91	13.05	103.58	6.46	120.67	68.67
0.91	0.02	1.06	13.07	120.67	6.30	140.58	78.87
1.06	0.02	1.24	13.09	140.58	6.75	163.77	89.76
1.24	0.03	1.44	13.12	163.77	5.14	190.80	98.29
1.44	0.03	1.68	13.14	190.80	4.52	222.28	99.28
1.68	0.03	1.95	13.18	222.28	3.87	259.85	92.14
1.95	0.04	2.28	13.21	259.85	3.15	301.68	95.30
2.28	0.05	2.65	13.26	301.68	2.36	351.46	97.66
2.65	0.06	3.09	13.32	351.46	1.57	409.45	99.22
3.09	0.08	3.60	13.40	409.45	0.78	477.01	100.00
3.60	0.11	4.19	13.51	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.15	4.88	13.65	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.19	5.69	13.85	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.24	6.63	14.09	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 35  
 08 May 07 17:57

ภาพที่ ก.4 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารเฉลิม 2 จุฬาลงกรณ์ ๑๐๑ ๕๒ อ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

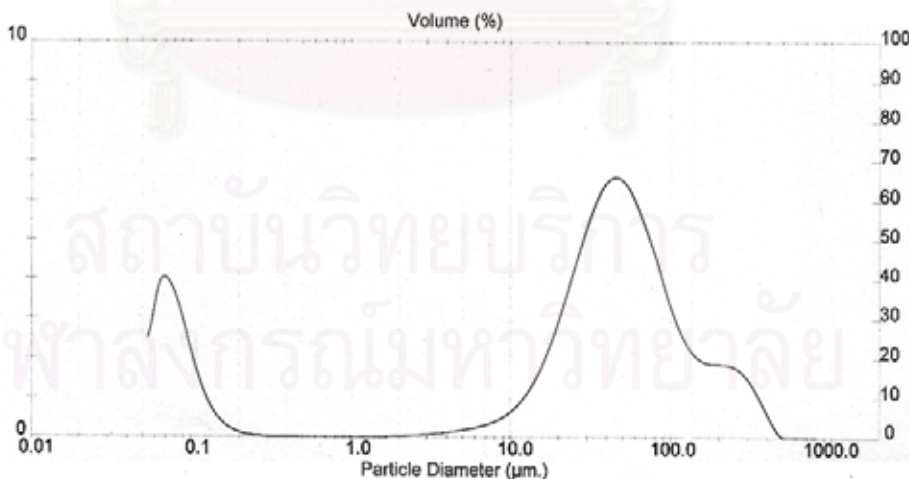
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R1	Run Number: 28	Measured: 25 Jun 2007 14:00PM
Sample File: CHULAS	Record Number: 303	Analysed: 25 Jun 2007 14:00PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium: Water		
Ultrasonic: no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 18.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		Residual: 0.496 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0194 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 14.6686 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.08 um	D (v, 0.5) = 40.19 um	D (v, 0.9) = 156.29 um
D [4, 3] = 62.33 um	D [3, 2] = 0.41 um	Span = 3.887E+00	Uniformity = 1.155E+00

Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%
0.05	2.46	0.06	2.48	6.63	0.33	7.72	19.91
0.06	3.78	0.07	6.24	7.72	0.44	9.00	20.35
0.07	3.96	0.08	10.19	9.00	0.60	10.48	20.95
0.08	3.27	0.09	13.46	10.48	0.85	12.21	21.80
0.09	2.26	0.11	15.72	12.21	1.21	14.22	23.01
0.11	1.36	0.13	17.08	14.22	1.70	16.57	24.71
0.13	0.75	0.15	17.83	16.57	2.35	19.31	27.06
0.15	0.38	0.17	18.21	19.31	3.14	22.49	30.20
0.17	0.19	0.20	18.40	22.49	4.04	26.20	34.24
0.20	0.09	0.23	18.49	26.20	4.95	30.53	39.19
0.23	0.04	0.27	18.53	30.53	5.76	35.56	44.95
0.27	0.02	0.31	18.55	35.56	6.34	41.43	51.29
0.31	0.02	0.36	18.57	41.43	6.57	48.27	57.86
0.36	0.02	0.42	18.58	48.27	6.44	56.23	64.30
0.42	0.02	0.49	18.60	56.23	5.97	65.51	70.28
0.49	0.00	0.58	18.60	65.51	5.28	76.32	76.66
0.58	0.00	0.67	18.60	76.32	4.48	88.91	80.04
0.67	0.00	0.78	18.60	88.91	3.64	103.56	83.58
0.78	0.00	0.91	18.60	103.56	2.78	120.67	86.36
0.91	0.00	1.06	18.60	120.67	2.26	140.58	88.62
1.06	0.00	1.24	18.60	140.58	1.97	163.77	90.68
1.24	0.00	1.44	18.60	163.77	1.86	190.80	92.45
1.44	0.00	1.68	18.60	190.80	1.85	222.28	94.29
1.68	0.03	1.95	18.63	222.28	1.80	258.95	96.10
1.95	0.04	2.28	18.66	258.95	1.63	301.68	97.72
2.28	0.05	2.65	18.71	301.68	1.27	351.46	98.99
2.65	0.06	3.09	18.77	351.46	0.76	409.45	99.75
3.09	0.09	3.60	18.86	409.45	0.25	477.01	100.00
3.60	0.12	4.19	18.98	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.15	4.86	19.13	555.71	0.00	647.41	100.00
4.86	0.20	5.69	19.33	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.25	6.63	19.58	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 8  
 25 Jun 07 14:02

ภาพที่ ก.5 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาปณ 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 อ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

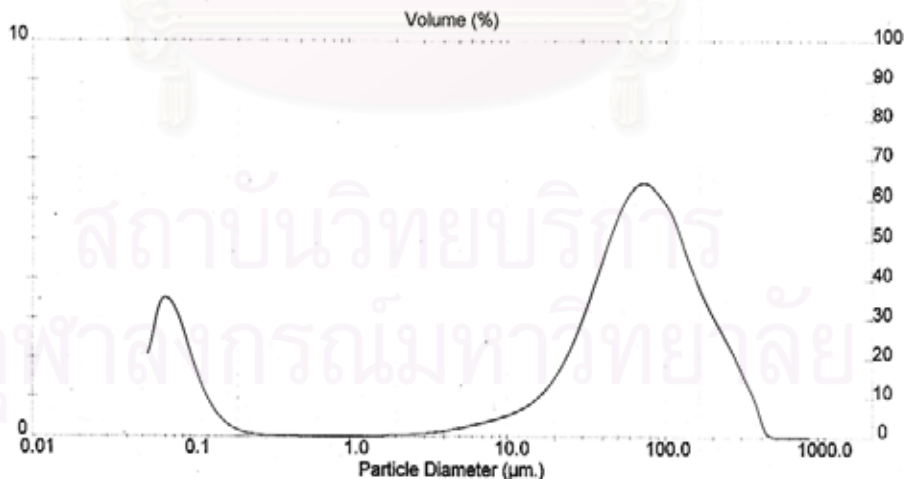
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R2	Run Number: 31	Measured: 25 Jun 2007 14:13PM
Sample File: CHULAS	Record Number: 339	Analyzed: 25 Jun 2007 14:13PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analyzed
Sample Note: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic: no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 21.9 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.497 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0257 %Vol	Density = 1,000 g / cub. cm	Specific S.A. = 13.1219 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.08 um	D (v, 0.5) = 59.41 um	D (v, 0.9) = 185.70 um
D [4, 3] = 78.89 um	D [3, 2] = 6.66 um	Span = 3.124E+00	Uniformity = 9.386E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	2.03	0.05	2.05	6.83	0.36	7.72	18.50
0.06	3.22	0.07	5.27	7.72	0.43	9.00	19.03
0.07	3.47	0.08	8.74	9.00	0.52	10.48	19.55
0.08	3.00	0.09	11.74	10.48	0.62	12.21	20.17
0.09	2.18	0.11	13.82	12.21	0.76	14.22	20.92
0.11	1.39	0.13	15.31	14.22	0.95	16.57	21.87
0.13	0.81	0.15	16.12	16.57	1.22	19.31	23.09
0.15	0.44	0.17	16.56	19.31	1.69	22.49	24.69
0.17	0.23	0.20	16.79	22.49	2.08	26.20	26.77
0.20	0.11	0.23	16.91	26.20	2.70	30.53	29.47
0.23	0.06	0.27	16.96	30.53	3.43	35.56	32.90
0.27	0.03	0.31	17.00	35.56	4.22	41.43	37.12
0.31	0.02	0.38	17.02	41.43	5.01	48.27	42.13
0.38	0.02	0.42	17.04	48.27	5.89	56.23	47.82
0.42	0.02	0.49	17.07	56.23	6.17	65.51	53.99
0.49	0.00	0.58	17.07	65.51	6.37	76.32	60.36
0.58	0.00	0.67	17.07	76.32	6.29	88.91	66.66
0.67	0.00	0.78	17.07	88.91	5.99	103.58	72.84
0.78	0.00	0.91	17.07	103.58	5.56	120.67	78.20
0.91	0.00	1.06	17.07	120.67	4.81	140.58	83.01
1.06	0.00	1.24	17.07	140.58	4.09	163.77	87.11
1.24	0.00	1.44	17.07	163.77	3.47	190.80	90.87
1.44	0.00	1.68	17.07	190.80	2.84	222.28	93.52
1.68	0.05	1.95	17.11	222.28	2.46	258.95	95.97
1.95	0.05	2.28	17.16	258.95	1.93	301.68	97.90
2.28	0.06	2.65	17.22	301.68	1.34	351.46	99.24
2.65	0.08	3.09	17.30	351.46	0.70	408.45	99.94
3.09	0.10	3.60	17.40	408.45	0.06	477.01	100.00
3.60	0.14	4.19	17.53	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.18	4.88	17.71	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.23	5.69	17.95	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.29	6.63	18.24	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 12  
 25 Jun 07 14:15

ภาพที่ ค.6 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

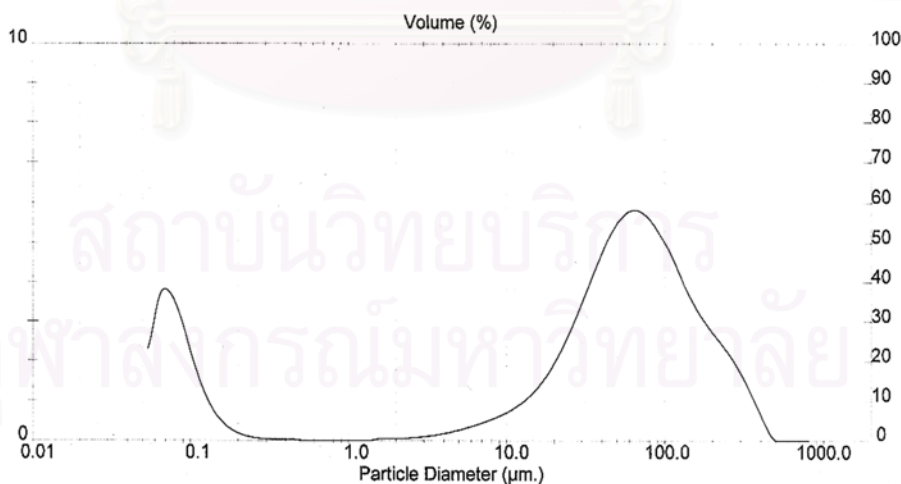
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R3	Run Number: 20	Measured: 25 Jun 2007 14:20PM
Sample File: CHULA5	Record Number: 362	Analysed: 25 Jun 2007 14:20PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 22.9 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.454 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0246 %Vol	Density = 1,000 g / cub. cm	Specific S.A. = 14.2613 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.08 um	D (v, 0.5) = 51.43 um	D (v, 0.9) = 185.08 um
D [4, 3] = 74.55 um	D [3, 2] = 0.42 um	Span = 3.597E+00	Uniformity = 1.087E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	2.26	0.06	2.26	6.63	0.46	7.72	20.57
0.06	3.53	0.07	5.78	7.72	0.56	9.00	21.13
0.07	3.76	0.08	9.54	9.00	0.67	10.48	21.80
0.08	3.21	0.09	12.75	10.48	0.82	12.21	22.62
0.09	2.32	0.11	15.07	12.21	1.01	14.22	23.63
0.11	1.48	0.13	16.55	14.22	1.26	16.57	24.89
0.13	0.87	0.15	17.42	16.57	1.60	19.31	26.49
0.15	0.50	0.17	17.92	19.31	2.03	22.49	28.52
0.17	0.27	0.20	18.19	22.49	2.56	26.20	31.08
0.20	0.15	0.23	18.34	26.20	3.18	30.53	34.26
0.23	0.08	0.27	18.42	30.53	3.85	35.56	38.11
0.27	0.05	0.31	18.48	35.56	4.52	41.43	42.62
0.31	0.04	0.36	18.52	41.43	5.11	48.27	47.74
0.36	0.04	0.42	18.55	48.27	5.55	56.23	53.28
0.42	0.04	0.49	18.59	56.23	5.77	65.51	59.06
0.49	0.00	0.58	18.59	65.51	5.76	76.32	64.81
0.58	0.00	0.67	18.59	76.32	5.52	88.91	70.33
0.67	0.00	0.78	18.59	88.91	5.12	103.58	75.45
0.78	0.00	0.91	18.59	103.58	4.64	120.67	80.09
0.91	0.00	1.06	18.59	120.67	4.01	140.58	84.10
1.06	0.00	1.24	18.59	140.58	3.46	163.77	87.56
1.24	0.00	1.44	18.59	163.77	3.01	190.80	90.57
1.44	0.06	1.68	18.65	190.80	2.65	222.28	93.22
1.68	0.06	1.95	18.70	222.28	2.30	258.95	95.52
1.95	0.06	2.28	18.76	258.95	1.91	301.68	97.43
2.28	0.07	2.65	18.84	301.68	1.42	351.46	98.85
2.65	0.09	3.09	18.93	351.46	0.88	409.45	99.71
3.09	0.13	3.60	19.06	409.45	0.29	477.01	100.00
3.60	0.17	4.19	19.23	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.23	4.88	19.45	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.29	5.69	19.75	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.37	6.63	20.12	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 13  
 25 Jun 07 14:28

ภาพที่ ก.7 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถานัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 อ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

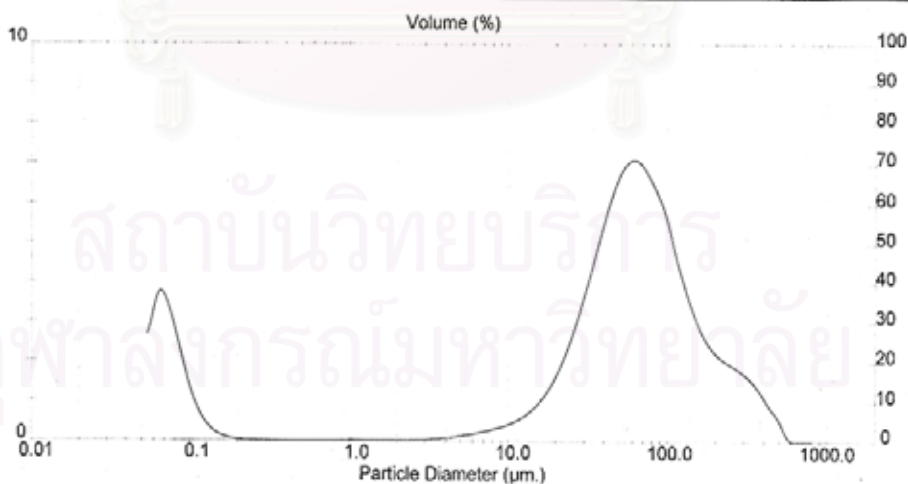
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R1	Run Number: 2	Measured: 11 Jul 2007 10:51PM
Sample File: CHULAS	Record Number: 723	Analysed: 11 Jul 2007 10:51PM
Sample Path: C:\SIZER\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing Medium : Water Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 17.4 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000):	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.261 %
Analysis Model: Polydisperse	Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0226 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 12.4691 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 0.08 um	D [v, 0.5] = 56.47 um	D [v, 0.9] = 189.89 um
D [N, 3] = 81.12 um	D [3, 2] = 0.48 um	Span = 3.361E+00	Uniformity = 1.000E+00

Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	in %	Size High (um)	Under%
0.05	2.63	0.06	2.83	6.83	0.25	7.72	15.86
0.06	3.69	0.07	6.31	7.72	0.32	9.00	16.17
0.07	3.40	0.08	9.71	9.00	0.40	10.48	16.58
0.08	2.41	0.09	12.12	10.48	0.52	12.21	17.09
0.09	1.40	0.11	13.52	12.21	0.69	14.22	17.78
0.11	0.70	0.13	14.22	14.22	0.93	16.57	18.71
0.13	0.32	0.15	14.54	16.57	1.29	19.31	20.00
0.15	0.14	0.17	14.69	19.31	1.78	22.48	21.78
0.17	0.06	0.20	14.74	22.48	2.43	26.20	24.21
0.20	0.02	0.23	14.76	26.20	3.24	30.53	27.45
0.23	0.01	0.27	14.77	30.53	4.20	35.56	31.65
0.27	0.01	0.31	14.78	35.56	5.21	41.43	36.86
0.31	0.00	0.38	14.78	41.43	6.14	48.27	43.00
0.38	0.00	0.42	14.79	48.27	8.80	56.23	49.80
0.42	0.00	0.49	14.79	56.23	7.07	65.51	56.87
0.49	0.00	0.58	14.79	65.51	6.51	76.32	63.79
0.58	0.01	0.67	14.80	76.32	6.43	88.91	70.22
0.67	0.01	0.78	14.81	88.91	5.81	103.58	76.03
0.78	0.02	0.91	14.82	103.58	4.78	120.67	80.80
0.91	0.02	1.06	14.85	120.67	3.78	140.58	84.59
1.06	0.03	1.24	14.88	140.58	3.01	163.77	87.60
1.24	0.03	1.44	14.90	163.77	2.47	190.80	90.07
1.44	0.02	1.68	14.93	190.80	2.15	222.28	92.22
1.68	0.02	1.95	14.95	222.28	1.95	258.95	94.17
1.95	0.02	2.28	14.97	258.95	1.79	301.88	95.96
2.28	0.02	2.65	14.99	301.88	1.57	351.46	97.53
2.65	0.03	3.09	15.03	351.46	1.23	409.45	98.77
3.09	0.05	3.80	15.08	409.45	0.82	477.01	99.59
3.80	0.07	4.18	15.15	477.01	0.41	555.71	100.00
4.18	0.11	4.88	15.26	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.15	5.09	15.41	647.41	0.00	754.23	100.00
5.09	0.20	6.83	15.60	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 1  
 11 Jul 07 10:56

ภาพที่ ค.8 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร





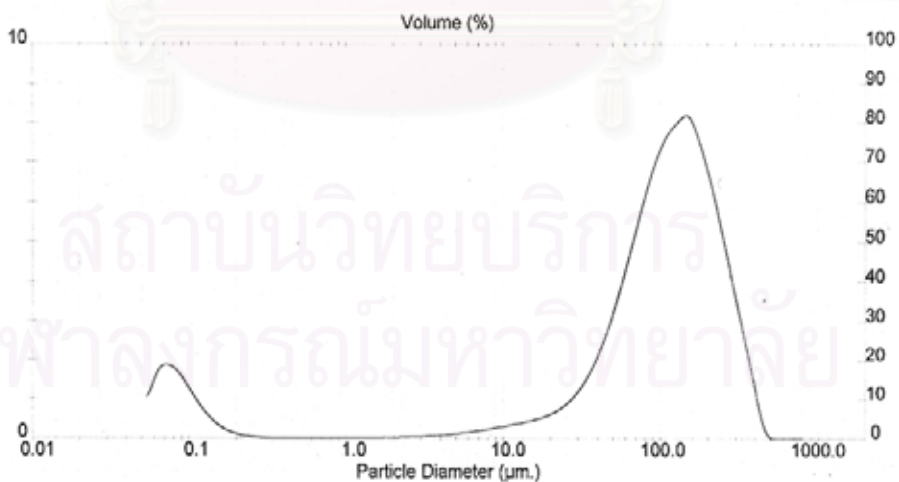
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R2	Run Number: 9	Measured: 11 Jul 2007 13:33PM
Sample File: CHULAS	Record Number: 747	Analysed: 11 Jul 2007 13:33PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Observation: 13.1 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.529 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0246 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 7.2105 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 4.12 um	D [v, 0.5] = 109.09 um	D [v, 0.9] = 252.92 um
D [4, 3] = 124.11 um	D [3, 2] = 0.83 um	Span = 2.281E+00	Uniformity = 6.581E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	1.03	0.06	1.03	6.63	0.20	7.72	10.56
0.06	1.88	0.07	2.69	7.72	0.24	9.00	10.82
0.07	1.88	0.08	4.55	9.00	0.29	10.48	11.11
0.08	1.88	0.09	6.23	10.48	0.33	12.21	11.44
0.09	1.29	0.11	7.53	12.21	0.39	14.22	11.83
0.11	0.87	0.13	9.40	14.22	0.45	16.57	12.27
0.13	0.84	0.15	8.94	16.57	0.52	19.31	12.80
0.15	0.31	0.17	9.24	19.31	0.63	22.49	13.43
0.17	0.16	0.20	9.41	22.49	0.80	26.20	14.23
0.20	0.06	0.23	9.49	26.20	1.05	30.53	15.28
0.23	0.04	0.27	9.53	30.53	1.40	35.56	16.68
0.27	0.02	0.31	9.55	35.56	1.90	41.43	18.58
0.31	0.02	0.36	9.57	41.43	2.56	48.27	21.14
0.36	0.02	0.42	9.59	48.27	3.37	56.23	24.50
0.42	0.02	0.49	9.60	56.23	4.30	65.51	28.81
0.49	0.01	0.58	9.61	65.51	5.30	76.32	34.10
0.58	0.02	0.67	9.63	76.32	6.26	88.91	40.36
0.67	0.02	0.78	9.64	88.91	7.08	103.58	47.44
0.78	0.02	0.91	9.66	103.58	7.67	120.67	55.11
0.91	0.02	1.06	9.68	120.67	7.99	140.58	63.11
1.06	0.02	1.24	9.70	140.58	8.14	163.77	71.24
1.24	0.02	1.44	9.73	163.77	7.51	190.80	78.75
1.44	0.02	1.68	9.75	190.80	6.57	222.28	85.32
1.68	0.03	1.95	9.77	222.28	5.44	258.95	90.76
1.95	0.03	2.28	9.80	258.95	4.19	301.68	94.95
2.28	0.03	2.65	9.84	301.68	2.94	351.46	97.88
2.65	0.04	3.09	9.88	351.46	1.88	409.45	99.57
3.09	0.06	3.60	9.94	409.45	0.43	477.01	100.00
3.60	0.07	4.19	10.01	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.10	4.88	10.10	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.12	5.69	10.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.16	6.63	10.38	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 4  
 11 Jul 07 13:38

ภาพที่ ค.9 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร



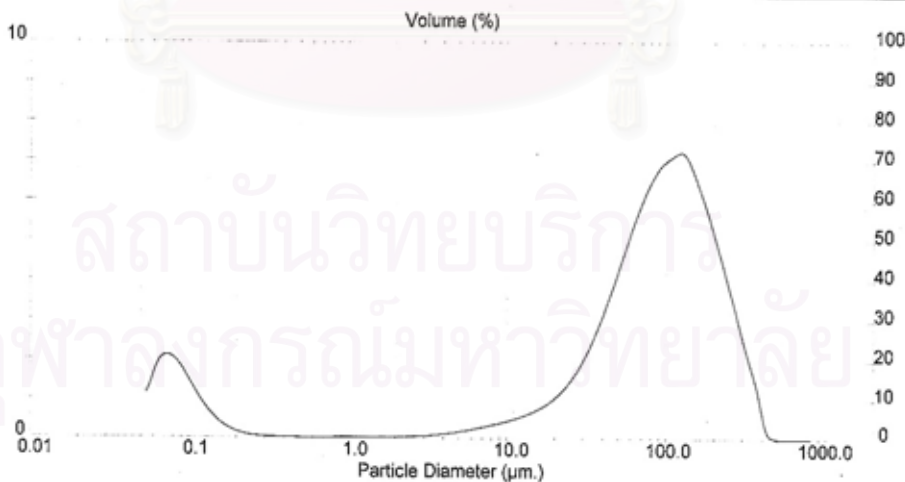
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R3	Run Number: 1	Measured: 11 Jul 2007 13:43PM
Sample File: CHULAS	Record Number: 758	Analysed: 11 Jul 2007 13:43PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing Medium: Water Ultrasonic: no		

System Details			
Range Lens: 30DRF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 10.1 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.529 %
Analysis Model: Polydisperse Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0158 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 8.2742 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 0.14 um	D [v, 0.5] = 86.71 um	D [v, 0.9] = 224.18 um
D [r, 3] = 103.84 um	D [3, 2] = 0.73 um	Span = 2.584E+00	Uniformity = 7.562E-01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	1.13	0.05	1.13	6.63	0.29	7.72	12.58
0.06	1.85	0.07	2.98	7.72	0.36	9.00	12.93
0.07	2.10	0.08	5.07	9.00	0.42	10.48	13.36
0.08	1.93	0.09	7.00	10.48	0.50	12.21	13.86
0.09	1.52	0.11	8.52	12.21	0.60	14.22	14.46
0.11	1.06	0.13	9.59	14.22	0.71	16.57	15.17
0.13	0.68	0.15	10.27	16.57	0.87	19.31	16.04
0.15	0.41	0.17	10.67	19.31	1.09	22.49	17.13
0.17	0.23	0.20	10.91	22.49	1.38	26.20	18.51
0.20	0.13	0.23	11.03	26.20	1.77	30.53	20.28
0.23	0.07	0.27	11.10	30.53	2.27	35.56	22.55
0.27	0.04	0.31	11.15	35.56	2.89	41.43	25.44
0.31	0.03	0.36	11.18	41.43	3.61	48.27	29.05
0.36	0.03	0.42	11.21	48.27	4.40	56.23	33.48
0.42	0.03	0.49	11.23	56.23	5.20	65.51	38.88
0.49	0.00	0.58	11.23	65.51	5.93	76.32	44.58
0.58	0.00	0.67	11.23	76.32	6.52	88.91	51.10
0.67	0.00	0.78	11.23	88.91	6.91	103.68	58.02
0.78	0.03	0.91	11.26	103.58	7.11	120.67	65.13
0.91	0.03	1.06	11.29	120.67	7.17	140.58	72.30
1.06	0.03	1.24	11.32	140.58	6.62	163.77	78.92
1.24	0.03	1.44	11.35	163.77	5.88	190.80	84.76
1.44	0.03	1.68	11.38	190.80	4.97	222.28	89.75
1.68	0.03	1.95	11.41	222.28	4.02	258.95	93.77
1.95	0.04	2.28	11.45	258.95	3.04	301.68	96.81
2.28	0.04	2.65	11.49	301.68	2.05	351.46	98.86
2.65	0.06	3.09	11.55	351.46	1.06	409.45	99.92
3.09	0.08	3.60	11.62	409.45	0.08	477.01	100.00
3.60	0.10	4.19	11.73	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.14	4.88	11.87	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.18	5.69	12.05	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.23	6.63	12.29	754.23	0.00	878.87	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 7  
 11 Jul 07 13:56

ภาพที่ ค.10 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax: 2540211

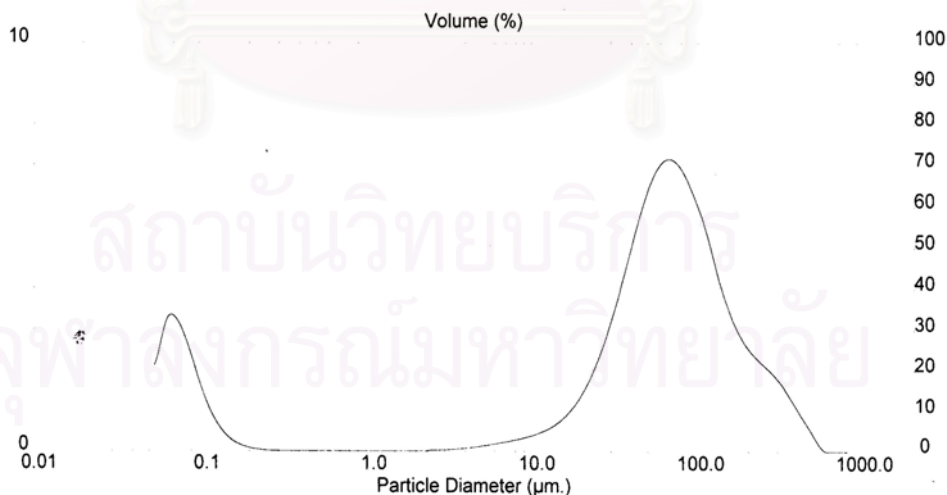
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R=1	Run Number: 2	Measured: 25 Jul 2007 10:28PM
Sample File: CHULA5	Record Number: 807	Analysed: 25 Jul 2007 10:28PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 15.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.381 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0201 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 11.9509 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.09 um	D (v, 0.5) = 60.67 um	D (v, 0.9) = 193.13 um
D [4, 3] = 83.59 um	D [3, 2] = 0.50 um	Span = 3.182E+00	Uniformity = 9.402E-01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	2.07	0.06	2.07	6.63	0.24	7.72	15.86
0.06	3.16	0.07	5.23	7.72	0.30	9.00	16.16
0.07	3.24	0.08	8.47	9.00	0.37	10.48	16.53
0.08	2.63	0.09	11.09	10.48	0.46	12.21	16.99
0.09	1.77	0.11	12.87	12.21	0.59	14.22	17.58
0.11	1.04	0.13	13.91	14.22	0.79	16.57	18.36
0.13	0.55	0.15	14.46	16.57	1.08	19.31	19.45
0.15	0.28	0.17	14.74	19.31	1.50	22.49	20.95
0.17	0.13	0.20	14.87	22.49	2.08	26.20	23.03
0.20	0.06	0.23	14.93	26.20	2.82	30.53	25.85
0.23	0.03	0.27	14.95	30.53	3.72	35.56	29.57
0.27	0.01	0.31	14.97	35.56	4.72	41.43	34.30
0.31	0.01	0.36	14.98	41.43	5.71	48.27	40.01
0.36	0.01	0.42	14.99	48.27	6.53	56.23	46.54
0.42	0.00	0.49	14.99	56.23	7.03	65.51	53.57
0.49	0.00	0.58	14.99	65.51	7.11	76.32	60.67
0.58	0.00	0.67	14.99	76.32	6.79	88.91	67.46
0.67	0.00	0.78	14.99	88.91	6.17	103.58	73.63
0.78	0.00	0.91	14.99	103.58	5.40	120.67	79.03
0.91	0.00	1.06	14.99	120.67	4.38	140.58	83.41
1.06	0.00	1.24	14.99	140.58	3.51	163.77	86.92
1.24	0.00	1.44	14.99	163.77	2.88	190.80	89.79
1.44	0.00	1.68	14.99	190.80	2.46	222.28	92.25
1.68	0.00	1.95	14.99	222.28	2.17	258.95	94.42
1.95	0.00	2.28	14.99	258.95	1.91	301.68	96.33
2.28	0.03	2.65	15.02	301.68	1.58	351.46	97.91
2.65	0.04	3.09	15.05	351.46	1.14	409.45	99.04
3.09	0.05	3.60	15.10	409.45	0.70	477.01	99.74
3.60	0.07	4.19	15.18	477.01	0.26	555.71	100.00
4.19	0.11	4.88	15.28	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.15	5.69	15.43	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.19	6.63	15.62	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 10  
 25 Jul 07 10:36

ภาพที่ ก.11 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถานีน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2546211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

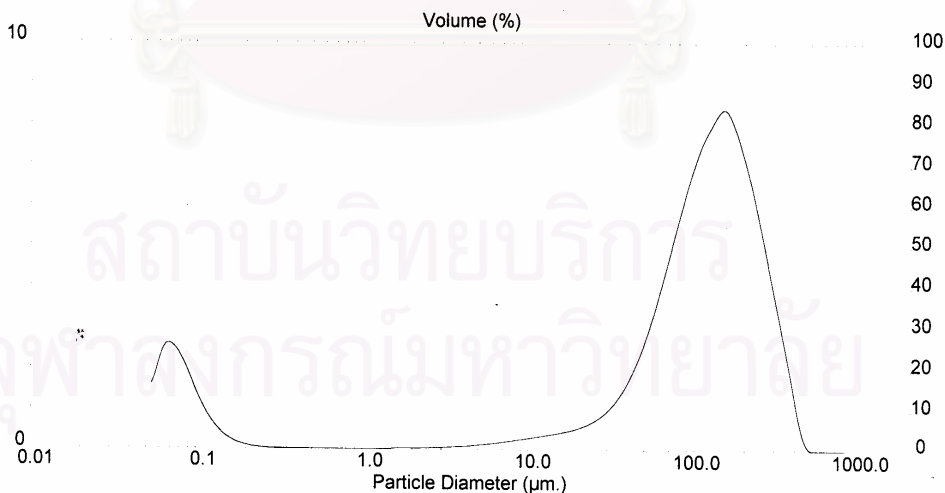
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R=2	Run Number: 13	Measured: 25 Jul 2007 11:12PM
Sample File: CHULA5	Record Number: 830	Analysed: 25 Jul 2007 11:12PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 19.2 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.340 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0315 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 9.4921 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.11 um	D (v, 0.5) = 112.94 um	D (v, 0.9) = 256.60 um
D [4, 3] = 125.58 um	D [3, 2] = 0.63 um	Span = 2.271E+00	Uniformity = 6.569E-01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	1.57	0.06	1.57	6.63	0.19	7.72	13.06
0.06	2.42	0.07	4.00	7.72	0.23	9.00	13.29
0.07	2.54	0.08	6.53	9.00	0.28	10.48	13.57
0.08	2.11	0.09	8.65	10.48	0.32	12.21	13.89
0.09	1.48	0.11	10.13	12.21	0.37	14.22	14.26
0.11	0.91	0.13	11.04	14.22	0.42	16.57	14.68
0.13	0.52	0.15	11.56	16.57	0.48	19.31	15.16
0.15	0.28	0.17	11.84	19.31	0.56	22.49	15.72
0.17	0.14	0.20	11.98	22.49	0.68	26.20	16.40
0.20	0.07	0.23	12.05	26.20	0.86	30.53	17.26
0.23	0.04	0.27	12.09	30.53	1.14	35.56	18.40
0.27	0.02	0.31	12.11	35.56	1.55	41.43	19.95
0.31	0.02	0.36	12.13	41.43	2.10	48.27	22.05
0.36	0.02	0.42	12.14	48.27	2.82	56.23	24.87
0.42	0.01	0.49	12.16	56.23	3.71	65.51	28.58
0.49	0.00	0.58	12.16	65.51	4.72	76.32	33.30
0.58	0.00	0.67	12.16	76.32	5.77	88.91	39.07
0.67	0.00	0.78	12.16	88.91	6.75	103.58	45.81
0.78	0.00	0.91	12.16	103.58	7.52	120.67	53.33
0.91	0.00	1.06	12.16	120.67	8.04	140.58	61.38
1.06	0.00	1.24	12.16	140.58	8.36	163.77	69.74
1.24	0.00	1.44	12.16	163.77	7.84	190.80	77.58
1.44	0.03	1.68	12.18	190.80	6.95	222.28	84.53
1.68	0.03	1.95	12.22	222.28	5.78	258.95	90.31
1.95	0.03	2.28	12.25	258.95	4.44	301.68	94.75
2.28	0.04	2.65	12.29	301.68	3.09	351.46	97.85
2.65	0.05	3.09	12.34	351.46	1.75	409.45	99.60
3.09	0.06	3.60	12.40	409.45	0.40	477.01	100.00
3.60	0.08	4.19	12.48	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.10	4.88	12.58	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.13	5.69	12.71	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.16	6.63	12.86	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 16  
 25 Jul 07 11:13

ภาพที่ ค.12 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

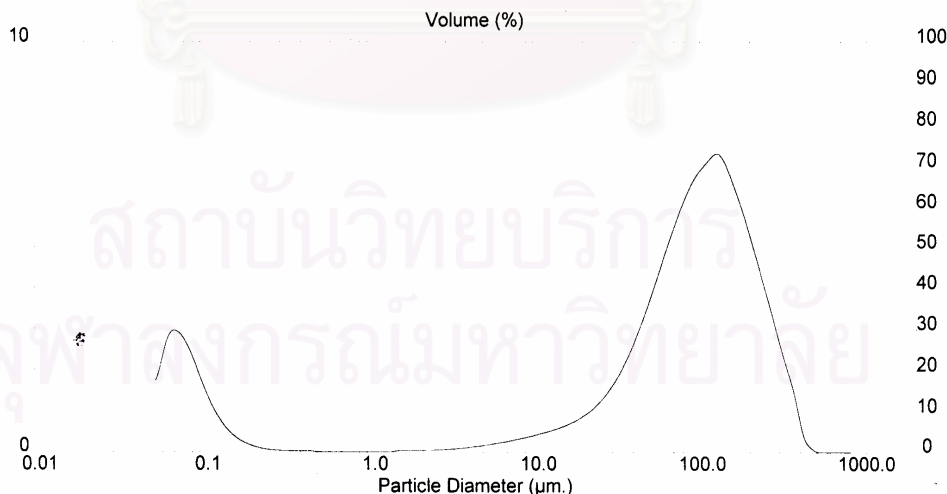
**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: R=3	Run Number: 4	Measured: 26 Jul 2007 8:56PM
Sample File: CHULA5	Record Number: 835	Analysed: 26 Jul 2007 8:56PM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System		
Dispersing Medium : Water		
Ultrasonic : no		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 21.2 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.389 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0290 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 11.1201 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.09 um	D (v, 0.5) = 88.33 um	D (v, 0.9) = 228.02 um
D [4, 3] = 104.33 um	D [3, 2] = 0.54 um	Span = 2.580E+00	Uniformity = 7.746E-01

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	1.71	0.06	1.72	6.63	0.28	7.72	15.91
0.06	2.70	0.07	4.42	7.72	0.33	9.00	16.25
0.07	2.91	0.08	7.32	9.00	0.39	10.48	16.64
0.08	2.52	0.09	9.84	10.48	0.46	12.21	17.10
0.09	1.85	0.11	11.69	12.21	0.54	14.22	17.64
0.11	1.21	0.13	12.90	14.22	0.64	16.57	18.28
0.13	0.73	0.15	13.63	16.57	0.76	19.31	19.04
0.15	0.42	0.17	14.06	19.31	0.93	22.49	19.97
0.17	0.24	0.20	14.30	22.49	1.15	26.20	21.12
0.20	0.13	0.23	14.43	26.20	1.47	30.53	22.59
0.23	0.08	0.27	14.51	30.53	1.89	35.56	24.48
0.27	0.05	0.31	14.56	35.56	2.43	41.43	26.91
0.31	0.04	0.36	14.60	41.43	3.09	48.27	30.00
0.36	0.03	0.42	14.63	48.27	3.86	56.23	33.86
0.42	0.03	0.49	14.66	56.23	4.69	65.51	38.55
0.49	0.00	0.58	14.66	65.51	5.50	76.32	44.06
0.58	0.00	0.67	14.66	76.32	6.22	88.91	50.28
0.67	0.00	0.78	14.66	88.91	6.76	103.58	57.04
0.78	0.00	0.91	14.66	103.58	7.09	120.67	64.13
0.91	0.00	1.06	14.66	120.67	7.27	140.58	71.40
1.06	0.00	1.24	14.66	140.58	6.76	163.77	78.16
1.24	0.00	1.44	14.66	163.77	6.00	190.80	84.15
1.44	0.04	1.68	14.70	190.80	5.09	222.28	89.25
1.68	0.04	1.95	14.75	222.28	4.11	258.95	93.36
1.95	0.05	2.28	14.79	258.95	3.13	301.68	96.49
2.28	0.05	2.65	14.84	301.68	2.15	351.46	98.64
2.65	0.06	3.09	14.91	351.46	1.17	409.45	99.81
3.09	0.08	3.60	14.99	409.45	0.19	477.01	100.00
3.60	0.11	4.19	15.10	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.14	4.88	15.24	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.18	5.69	15.42	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.22	6.63	15.64	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19  
 Serial Number: 32734-89

p. 1  
 26 Jul 07 09:00

ภาพที่ ก.13 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2 เติม NaCl เท่ากับ 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร

## ภาคผนวก ง

### การหาค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA)

การศึกษาความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทนจากเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ โดยใช้แบบจำลองแบบ Batch ซึ่งใส่เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์และสารอาหารเพียงครั้งเดียว ไม่มีการเติมเข้าไปอีก ทำการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 35 องศาเซลเซียส

#### อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในการทดลองการหาค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA) จะใช้อุปกรณ์ทดลอง แสดงดังภาพที่ ง.1



ภาพที่ ง.1 อุปกรณ์ที่ใช้หาค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity; SMA)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 1 ชุด ประกอบด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร สำหรับใส่ เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ มีจุกยางสำหรับปิดปากขวดซึ่งสอดท่อนำก๊าซต่อกับสายยางซิลิโคนเพื่อนำ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นผ่านไปยังขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรอีกใบหนึ่ง มีจุกยางสำหรับปิดปาก ขวดเจาะรูสองรู สอดท่อนำก๊าซ 2 ท่อ โดยท่อยาวจะจุ่มลงไปในสารละลายในขวด ซึ่งก็คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นประมาณ 1 นอร์มัล เพื่อดักก๊าซชนิดอื่นๆ

นอกเหนือจากก๊าซมีเทน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ละลายลงไป ส่วนก๊าซมีเทนจะแยกตัวออกมาเข้าสู่ท่อส่งก๊าซอีกท่อหนึ่งที่ต่อกับสายยางซิลิโคน เพื่อนำก๊าซมีเทนไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น โดยอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซมีเทนจะใช้บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน บรรจุน้ำที่ทราบระดับแน่นอนและใช้สายยางซิลิโคนเชื่อมต่อบิวเรตทั้ง 2 อัน เข้าด้วยกันที่บริเวณด้านล่างของบิวเรตให้มีลักษณะคล้ายกับตัวอักษรตัวยู (U) โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะผ่านสายยางซิลิโคนเข้าสู่ด้านบนของบิวเรตเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ภายในบิวเรตทำให้ระดับน้ำด้านบนของบิวเรตลดลง อ่านระดับน้ำที่ลดลงเทียบกับระดับน้ำเริ่มต้นก็จะทำให้สามารถวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้

สารอาหารที่ใช้ คือ กรดอะซิติก โดยทำการผสมกับน้ำกลั่นให้มีค่าซีโอดีประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร นำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบีมาประมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วเติมสารอาหารให้ได้ปริมาณรวมเท่ากับ 150 มิลลิลิตร หลังจากผสมสารอาหารกับตะกอนจุลินทรีย์แล้วให้ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>) ให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.2-7.5 นำขวดรูปชมพู่ที่ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ไปวางบนชุดควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าประมาณ 35 องศาเซลเซียส บันทึกปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลอง นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อหาค่าความชันของกราฟในช่วงที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งช่วงที่กราฟมีความชันมากที่สุดจะเป็นค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน

### สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Specific Methanogenic Activity (SMA)

การหาค่า Specific Methanogenic Activity (SMA) จะหาในช่วงที่อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดในระหว่างการทดลอง โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$SMA = R/CF \times V \times VSS$$

เมื่อ	SMA	=	ค่า Specific Methanogenic Activity (SMA) หรือ ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (g COD-CH <sub>4</sub> /g VSS-day)
	R	=	อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (mL- CH <sub>4</sub> /day) หาได้จากค่าความชันของกราฟปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นกับเวลา
	CF	=	Conversion Factor (mL- CH <sub>4</sub> /g COD) ซึ่งหาได้จากตาราง ง.1
	V	=	Effective volume ของ Reactor (L)
	VSS	=	ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid) ของตะกอนจุลินทรีย์ (g VSS/L)

ตารางที่ ง.1 ค่า Conversion Factor (CF) ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่า Conversion Factor (CF) (mL- CH <sub>4</sub> /g COD)
10	363
15	369
20	376
25	382
30	388
35	395
40	401
45	408

#### ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Specific Methanogenic Activity (SMA)

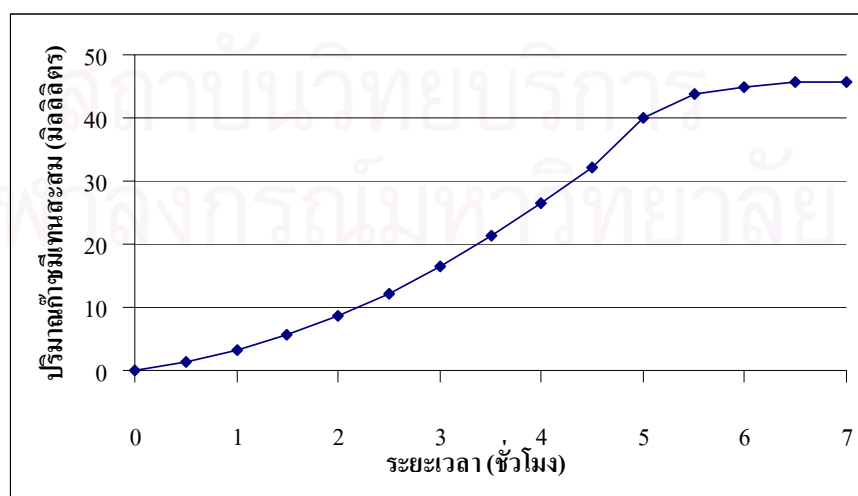
ในที่นี้จะขอคำนวณการหาค่า Specific Methanogenic Activity (SMA) ของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นระบบเป็นตัวอย่าง โดยเมื่อนำตะกอนจุลินทรีย์ไปดำเนินการตามขั้นตอนวิธีการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นจะได้ข้อมูลของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ตลอดการทดลอง แสดงดังตารางที่ ง.2 ภาพที่ ง.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



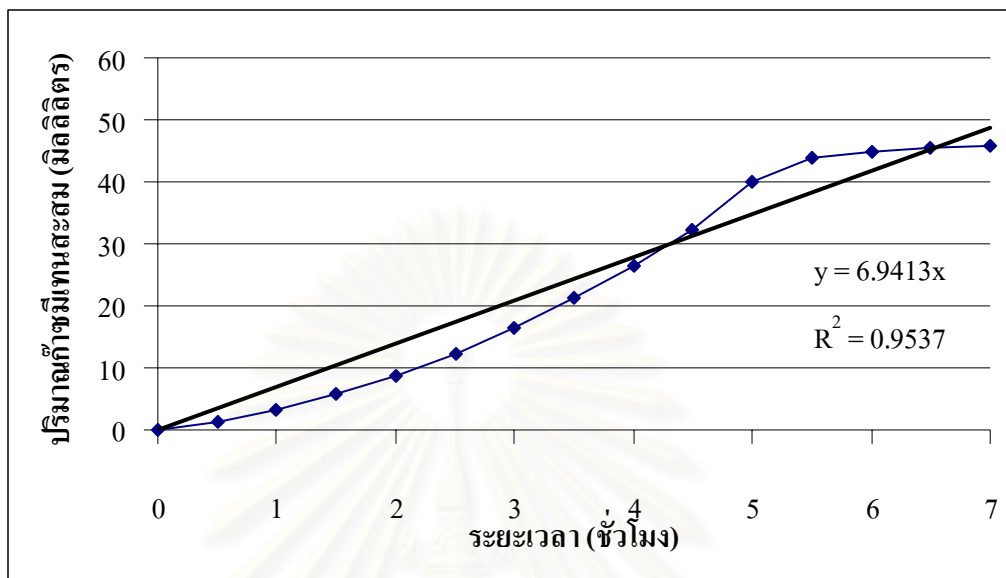
ตารางที่ ง.2 ข้อมูลดิบของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลองของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร)	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)
0.0	0.00	0.00
0.5	1.30	1.30
1.0	2.00	3.30
1.5	2.50	5.80
2.0	2.80	8.60
2.5	3.60	12.20
3.0	4.30	16.50
3.5	4.90	21.40
4.0	5.00	26.40
4.5	5.70	32.10
5.0	5.90	40.00
5.5	5.90	43.90
6.0	5.90	44.80
6.5	5.90	45.60
7.0	5.90	45.70



ภาพที่ ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

นํากราฟที่มีความชันมากที่สุดไปหาค่าความชัน จะได้ดังรูปที่ ง.3 ซึ่งค่าความชันที่ได้ คือ ค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน



ภาพที่ ง.3 ค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทน

จากกราฟจะได้

อัตราการเกิดก๊าซมีเทน(ความชันของกราฟ)	=	6.9413 mL-CH <sub>4</sub> /day
ค่า Conversion Factor ที่อุณหภูมิ 35°C	=	395 mL- CH <sub>4</sub> /g COD
ค่า Effective volume ของ Reactor (L)	=	0.225 L
ค่า Volatile Suspended Solid	=	6.245 gVSS/L

จากสูตร  $SMA = R/CF \times V \times VSS$

แทนค่า  $SMA = (6.9413 \times 24) / (395 \times 0.225 \times 6.245)$

$SMA = 0.30 \text{ g COD-CH}_4/\text{g VSS-day}$

ผลการทดลอง หาค่า Specific Methanogenic Activity (SMA)

ตารางที่ ง.3 ค่า Specific Methanogenic Activity (SMA) ตลอดการทดลอง

ถังปฏิกรณ์ที่	อัตราการเกิดก๊าซมีเทน (R) (mL-CH <sub>4</sub> /day)	VSS (g VSS/L)	Specific Methanogenic Activity (SMA) (g COD-CH <sub>4</sub> /g VSS-day)
1	1.1894	7.5380	0.276
2	2.2294	5.3256	0.357
3	3.3146	2.9230	0.444


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก จ

### การวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซ

ความดันพาร์เชียลก๊าซชีวภาพ คือสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้งหมด โดยก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้กำหนดให้ประกอบด้วยก๊าซ 3 ชนิด คือ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซไนโตรเจน แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงทำให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซไนโตรเจนในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นปริมาตรของก๊าซที่ได้จึงเป็นก๊าซมีเทนเท่านั้น

ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography เมื่อนำมาคำนวณสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิด จะได้ผลดังภาพที่ จ.1



ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Ploya Thai Rd., Patumwan, Bangkok 10330, THAILAND  
Tel: (662) 2185324, 2185328-30 Fax: (662) 2555931 E-mail: chemtech@sc.chula.ac.th

25 มิถุนายน 2550

**รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ**

เรื่อง รายงานผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในตัวอย่าง GAS

ชนิดตัวอย่าง : GAS

หน่วยงาน : ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ส่งตัวอย่าง : นางสาวณัฐริกา ดันดีวงศ์

วิธีการเตรียมตัวอย่าง และทดสอบ :

ทดสอบตามเครื่องมือและสภาวะดังนี้

**Instrument** : GAS CHROMATOGRAPH MODEL GC-2014 จาก Shimadzu

**Carrier gas** : Helium flow rate: 23 ml/min

**Injector Temperature** : 90 °C

**Column** : Porapak Q 80/100  
Temperature program set at 40 °C for 4.00 min, 5 °C/min From 40 °C to 60 °C for 2 min.

**Detector** : TCD at 250 °C


**Injection Volume** : 1 ml

ลำดับ	Sample	% Hydrogen	% Nitrogen	% Methane
1	R1	0.0	6.8	93.5
2	R2	0.0	3.4	96.7
3	R3	0.0	3.5	88.3

(นางสาวดารใจ นามาน)

ผู้วิเคราะห์

ขอรับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง



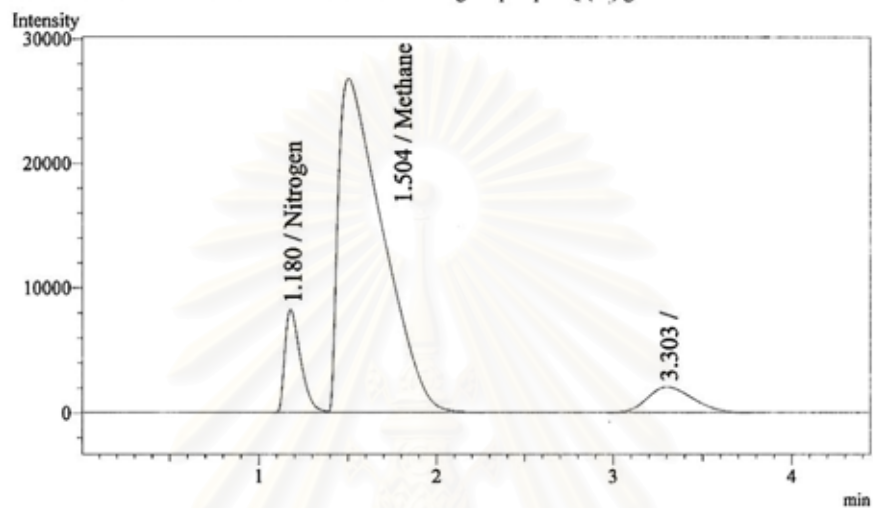
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสินธุ์)

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ EXTRACTION

25 มิถุนายน 2550

ภาพที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ช่วงการทดลองที่ 1

Analysis Date & Time : 21/6/2550 10:30:47  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : R1 20-06-0706  
 Sample ID : C-10-11  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :  
 Data Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\AO<sub>2</sub>OACO<sub>2</sub>O<sub>1</sub>O<sub>1</sub>\R1 20-06-0706.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\porapak Q (03).gcm



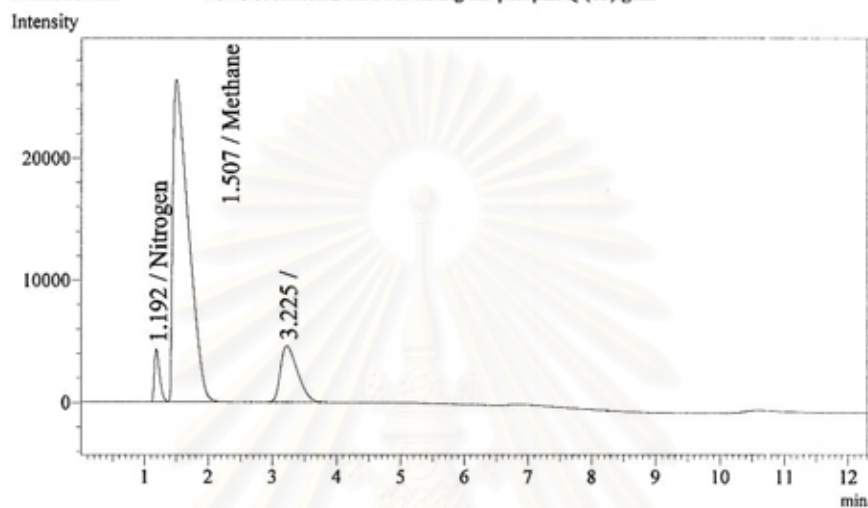
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.180	50579	8180	6.800	%		1	Nitrogen
2	1.504	462812	26781	93.500	%	V	2	Methane
3	3.303	36385	2048	0.000				
Total		549776	37009					

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี  
 เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1

Analysis Date & Time : 21/6/2550 10:37:30  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : R2 20-06-0705  
 Sample ID : C-10-11  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\AO;OACO;O\A\R2 20-06-0705.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\porapak Q (03).gcm



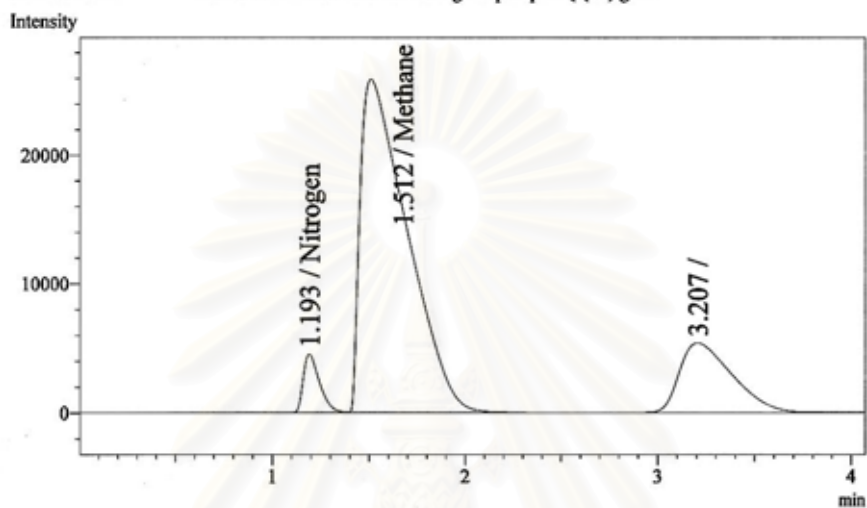
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.192	24860	4266	3.342 %			1	Nitrogen
2	1.507	449009	26335	90.711 %	V		2	Methane
3	3.225	84594	4599	0.000				
Total		558463	35200					

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1

Analysis Date & Time : 21/6/2550 10:52:45  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : R3 20-06-0702  
 Sample ID : C-10-11  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\O<sub>2</sub>O<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>O<sub>2</sub>\R3 20-06-0702.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\porapak Q (03).gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.193	26305	4464	3.537 %		1	Nitrogen
2	1.512	437090	25803	88.304 %	V	2	Methane
3	3.207	100747	5384	0.000			
Total		564142	35651				

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ จ.4 ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 1

ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography เมื่อนำมาคำนวณสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิด จะได้ผลดังภาพที่ จ.5

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Phya Thai Rd., Patumwan, Bangkok 10330, THAILAND  
Tel: (662) 2185324, 2185328-30 Fax: (662) 2555831 E-mail: chemtech@sc.chula.ac.th

23 กรกฎาคม 2550

### รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการประกอบในตัวอย่าง GAS

ชนิดตัวอย่าง : GAS  
หน่วยงาน : ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ผู้ส่งตัวอย่าง : นางสาวณัฐริกา ตันติวงศ์  
วิธีการเตรียมตัวอย่าง และทดสอบ :

ทดสอบตามเครื่องมือและสภาวะดังนี้

Instrument : GAS CHROMATOGRAPH MODEL GC-2014 ชื่อ Shimadzu  
Carrier gas : Helium flow rate: 25 ml/min  
Injector Temperature : 90 °C  
Column : Porapak Q 80/100  
Temperature program set at 40 °C for 4.00 min, 5 °C/ min From 40 °C to 60 °C for 2 min.  
Detector : TCD at 200 °C  
Injection Volume : 1 ml

ลำดับ	Sample	%Hydrogen	% Nitrogen	% Methane
1	R1	0.0	8.0	85.6
2	R2	0.0	6.5	84.4
3	R3	0.0	14.4	77.1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
(นางสาวดาใจ นานาน)  
ผู้วิเคราะห์  
ขอรับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ EXTRACTION

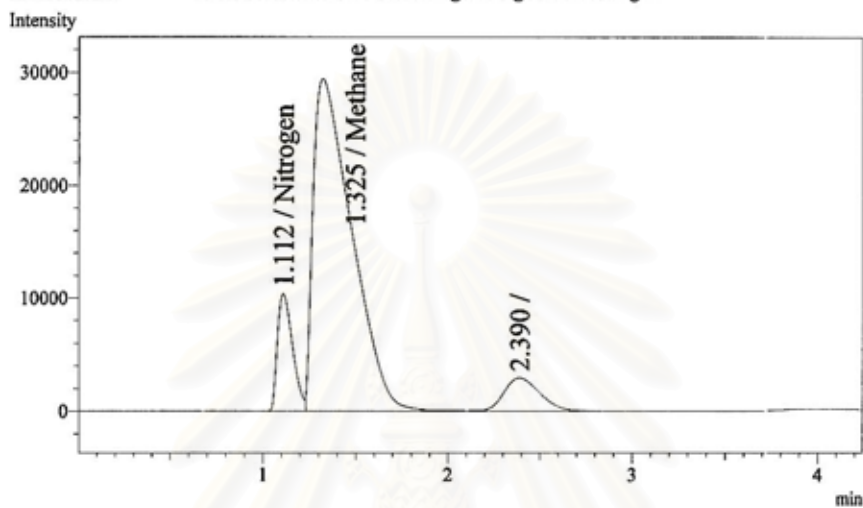
23 กรกฎาคม 2550

ภาพที่ จ.5 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ช่วงการทดลองที่ 2



Analysis Date & Time : 20/7/2550 11:18:25  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : R1 20-07-0702  
 Sample ID : sample0719  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\AO<sub>1</sub>OÄÇO<sup>o</sup>O<sub>1</sub>OÄ\R1 20-07-0702.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\50gr1\Cooldown.gcm

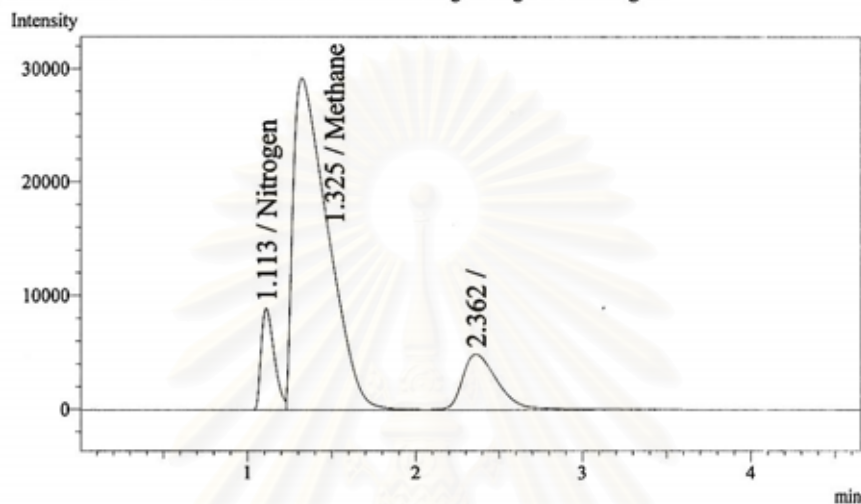


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.112	59065	10283	8.000 %		1	Nitrogen
2	1.325	423832	29367	85.600 %	V	2	Methane
3	2.390	39206	2902	0.000	V		
Total		522103	42552				

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ จ.6 ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2

Analysis Date & Time : 20/7/2550 11:23:34  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : R2 20-07-07  
 Sample ID : sample0719  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :  
 Data Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\ÁO<sub>2</sub>OÁÇO\*O<sub>2</sub>OÁ\R2 20-07-07.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\50gr\Cooldown.gcm



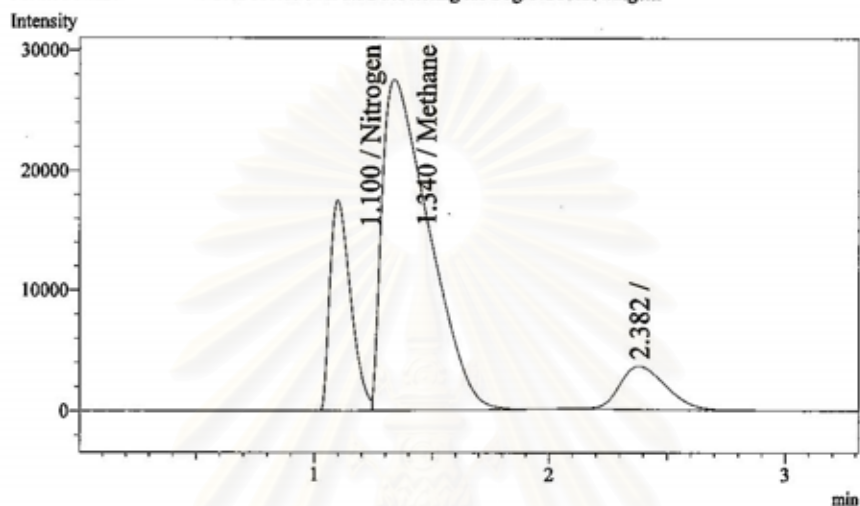
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.113	48447	8794	6.562 %				1 Nitrogen
2	1.325	417761	29172	84.374 %	V			2 Methane
3	2.362	70324	4867	0.000				
Total		536532	42833					

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ จ.7 ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2

Analysis Date & Time : 20/7/2550 11:29:00  
 User Name : Admin  
 Vial# : 1  
 Sample Name : R3 20-07-07  
 Sample ID : sample0719  
 Sample Type : Unknown  
 Injection Volume :  
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\AO<sub>1</sub>OACO<sub>1</sub>O<sub>1</sub>\R3 20-07-07.gcd  
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Fuel testing lab\50gr1\Cooldown.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	1.100	106555	17251	14.432	%	1	Nitrogen
2	1.340	381534	27484	77.057	%	V	Methane
3	2.382	47672	3545	0.000			
Total		535761	48280				

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ จ.8 ผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่อง Gas Chromatography ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าซีไอดี เท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงการทดลองที่ 2

## ภาคผนวก จ

### การคำนวณสมมูลมวลซีโอดี

#### ตัวอย่าง การคำนวณสมมูลมวลซีโอดี

ซีโอดีในรูปก๊าซมีเทน มีอยู่ด้วยกัน 2 รูป คือ มีเทนในสถานะก๊าซและมีเทนละลายน้ำ ซึ่งทั้ง 2 รูปไม่สามารถวัดโดยตรงได้ แต่สามารถคำนวณได้ ดังนี้

#### ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน จะหาได้จาก

$$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} = (\text{Total gas volume} \times \% \text{CH}_4 \times 16,000 \times 4) / (24.86 \times Q)$$

เมื่อ

$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Total gas volume	=	ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)
$\% \text{CH}_4$	=	ร้อยละของก๊าซมีเทน
24.86	=	ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 30°C (ลิตร) (ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 0°C เท่ากับ 22.4 ลิตร)
Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสียต่อวัน (ลิตรต่อวัน)
16,000	=	น้ำหนักของมีเทน 1 โมล (มิลลิกรัม)
4	=	ซีโอดีของก๊าซมีเทน 1 กรัม (กรัม)

#### ซีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำในน้ำออกจากระบบ หาได้จาก

$$\text{Soluble CH}_4\text{-COD} = K_{\text{hCH}_4} \times \text{Partial Pressure of CH}_4 \times 16,000 \times 4$$

เมื่อ

$K_{\text{h}}$	=	ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับก๊าซมีเทนที่ 30°C (โมลต่อลิตร) เท่ากับ $12.4 \times 10^{-4}$
Partial Pressure of $\text{CH}_4$	=	ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน (สัดส่วนก๊าซมีเทน)

$$\text{COD}_{\text{inf}} = \text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD} + \text{COD}_{\text{acc}} + \text{Oxidize ในรูป CO}_2\text{-COD}$$

เมื่อ

$\text{COD}_{\text{inf}}$	=	ซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ
soluble $\text{COD}_{\text{eff}}$	=	ซีโอดีละลายในน้ำออกจากระบบ
$\text{CH}_{4\text{gas}} - \text{COD}$	=	ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน

$COD_{acc}$  = ซีโอดีที่สะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ในระบบและส่วนที่หลุดออกมา

Oxidize ในรูป  $CO_2$ -COD = ซีโอดีในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลจะใช้ซีโอดีที่เปลี่ยนไปและตรวจสอบได้เปรียบเทียบกับซีโอดีในน้ำเข้า ซึ่งจะเรียกว่า % COD recovery พิจารณาค่า Oxidize ในรูป  $CO_2$  และค่า  $COD_{acc}$  เป็นส่วนที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ จึงคิดเป็นส่วนที่เหลือที่หายไปจาก % COD recovery เทียบค่า % COD ที่ถูกกำจัด

$$\% \text{ COD recovery} = \frac{\text{soluble } COD_{eff} + CH_{4gas}\text{-COD}}{COD_{inf}}$$

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 ตลอดช่วงการทดลองที่ 2 ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เดิมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 600, 1,200, 2,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 5 ลิตรต่อวัน

ค่าซีโอดีน้ำเข้า	1,495	มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าซีโอดีน้ำออก	200	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวัน	2.76	ลิตรต่อวัน
สัดส่วนของก๊าซมีเทน	84.4	เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิ	35	องศาเซลเซียส

แทนค่า ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน

$$\begin{aligned} CH_{4gas}\text{-COD} &= (2.76 \times 0.844 \times 16,000 \times 4) / (24.86 \times 5) \\ &= 1,199.39 \quad \text{มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

แทนค่า ซีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำในน้ำออกจากระบบ

$$\begin{aligned} \text{Soluble } CH_4\text{-COD} &= K_{hCH_4} \times \text{Partial Pressure of } CH_4 \times 16,000 \times 4 \\ &= 12.4 \times 0.844 \times 16,000 \times 4 \\ &= 66.98 \quad \text{มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CH_{4gas}\text{-COD} &= 1,199.39 + 66.98 \\ &= 1,266.37 \quad \text{มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \% \text{ COD recovery} &= \frac{\text{soluble } COD_{eff} + CH_{4gas}\text{-COD}}{COD_{inf}} \\ &= \frac{(200 + 1,266.37)}{1,495} \times 100 \\ &= 98.08 \quad \% \end{aligned}$$

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐริกา ตันตวงค์ เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524 ที่ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์ – คณิต จากโรงเรียนกาญจนาอนุเคราะห์ จังหวัดกาญจนบุรี ในปีการศึกษา 2543 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ในปีการศึกษา 2546 และปัจจุบันได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย