

ผลของการเติมพอลิเมอร์ประจุบวกต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์
ในระบบยูเอเอสพีสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารทะเล



นายสุทธิศักดิ์ พุกษานุศักดิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF CATIONIC POLYMER ADDITION ON GRANULATION OF SLUDGE IN
UASB SYSTEM FOR TREATMENT OF SEAFOOD INDUSTRIAL WASTEWATER



Mr. Suttisak Pruksanusak

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการเติมพอลิเมอร์ประจุบวกต่อการสร้างเม็ดตะกอน
จุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
อาหารทะเล

โดย

นาย สุทธิศักดิ์ พุกษานุศักดิ์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

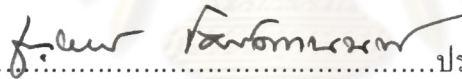
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

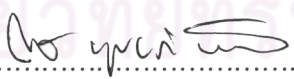
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)


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


.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข)

ศุทธิศักดิ์ พฤษานาศักดิ์ : ผลของการเติมพอลิเมอร์ ประจุบวกต่อการสร้างเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารทะเล. (EFFECT OF CATIONIC POLYMER ADDITION ON GRANULATION OF SLUDGE IN UASB SYSTEM FOR TREATMENT OF SEAFOOD INDUSTRIAL WASTEWATER) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 148 หน้า.

การศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ ประจุบวกต่อการสร้างเม็ดตะกอนของระบบยูเอเอสบี โดยเป็นการศึกษาถึงความเข้มข้นของพอลิเมอร์ ที่เหมาะสม จากการเติมพอลิเมอร์ ความเข้มข้น 6 และ 8 มก./ก.วีเอสเอส และศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ ต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี โดยใช้ถังปฏิกรณ์ 3 ถัง ถังที่ 1 ไม่เติมพอลิเมอร์ ถังที่ 2 และ 3 เติมพอลิเมอร์ 6 และ 8 มก./ก.วีเอสเอส ส่วนน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำการเดินระบบในช่วงค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1 - 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

จากการทดลองการเติมพอลิเมอร์ ที่ความเข้มข้น 6 และ 8 มก./ก.วีเอสเอส สามารถสร้างเม็ดตะกอนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบ และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนของผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดยูเอเอสบี มีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการบำบัดค่าซีโอดีและบีโอดีเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และเกิดการหลุดของของแข็งแขวนลอยที่ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ในทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมพอลิเมอร์ ส่วนการสร้างแก๊สชีวภาพขึ้นสูงที่สุดในถังปฏิกรณ์ที่ 2

ผลการทดลองสรุปได้ว่าการเติมพอลิเมอร์ ประจุบวกที่ความเข้มข้น 6มก./ก.วีเอสเอส ลงในระบบยูเอเอสบี เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยทำให้ตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเสถียรของระบบสูง

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... ศุทธิศักดิ์ พฤษานาศักดิ์.....

ปีการศึกษา 2552..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4989208020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : CATIONIC POLYMER / UASB / SLUDGE GRANULATION

SUTTISAK PRUKSANUSAK : EFFECT OF CATIONIC POLYMER ADDITION ON GRANULATION OF SLUDGE IN UASB SYSTEM FOR TREATMENT OF SEAFOOD INDUSTRIAL WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 148 pp.

This research aims to study the effect of cationic polymer addition on sludge granulation of UASB with polymer concentrations at 6 and 8 mg/g-VSS, and also studied the efficiency of cationic polymer adding in the UASB system by 3 operating reactors. The first reactor was control without polymer addition while the second and the third were added at 6 and 8 mg/g-VSS, respectively. The raw industrial wastewater was used in the experiment with organics loading rate 1 – 6 kg-COD/m³/d.

The results showed that the addition of polymer dosage 6 and 8 mg/g-VSS. produced large size of sludge granule during the start up of system. Density of sludge granule in the second reactor had higher density than the other reactors at the end of experiment. The COD and BOD treatment efficiencies for both of polymer-added reactors were higher than 90 percent and also found that solid wash out at organics loading rate 6 kg-COD/m³/d. The second reactor produced the highest biogas volume in this experiment

From the overall results, indicate that the optimum dosage of cationic polymer addition of UASB system was 6 mg/g-VSS to help the sludge granules increase its size and enhance stability of the system.

Field of Study : Environmental Science

Student's Signature *Suttisak Pruksanusak*

Academic Year : 2009

Advisor's Signature *Chawalit Ratanatamskul*

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุน ส่งเสริมการศึกษา ตลอดจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา ในโอกาสนี้คุณงามความดีที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้ท่านทั้งสอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงได้ถ้าปราศจากบุคคลสำคัญ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาเสนอแนะหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าอย่างยิ่งในเชิงวิชาการและการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ อาจารย์ ดร. ศาโรช บุญยกิจสมบัติ และ ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเห็นคุณค่าและสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้ จนกระทั่งสำเร็จล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้มาตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารทะเล.....	3
2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	6
2.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	12
2.4 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	22
2.5 กระบวนการตกตะกอนหรือโคแอกกูเลชัน.....	27
2.6 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	34
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน.....	39
2.8 พอลิเมอร์ (Polymer) ที่ใช้ในงานทดลองนี้.....	40
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	44
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	44
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.3 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ.....	45
3.4 ขั้นตอนและวิธีทดลอง.....	46
3.5 การเดินและการควบคุมระบบ.....	50

3.6 การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	51
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	52
4.1 การศึกษาหาความเข้มข้นพอลิเมอร์ ที่เหมาะสม โดยวิธี Jar Test.....	52
4.2 ผลของการเติมพอลิเมอร์ ต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี.....	56
4.3 ผลของการศึกษาการเติมพอลิเมอร์ ต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	79
4.4 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน.....	99
4.5 ปริมาณแก๊สชีวภาพ.....	100
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	103
รายการอ้างอิง.....	104
ภาคผนวก.....	107
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	108
ภาคผนวก ข ขนาดและการกระจายตัวของตะกอน.....	115
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทำ Jar Test.....	137
ภาคผนวก ง การหาค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน.....	138
ภาคผนวก จ เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน.....	142
ภาคผนวก ฉ วิธีวิเคราะห์ในเตรตแบบ Brucine Method.....	146
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	148

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอออนบวค..... 18
ตารางที่ 2.2	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในการ ยับยั้งประสิทธิภาพ..... 18
ตารางที่ 2.3	ผลของแอมโมเนียใน ไตรเจนที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.... 19
ตารางที่ 3.1	ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลเบื้องต้น..... 47
ตารางที่ 3.2	การศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอสบี..... 49
ตารางที่ 3.3	แสดงพารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่าง วิเคราะห์และ ความถี่ในการวิเคราะห์..... 51
ตารางที่ 4.1	ขนาดของเม็ดตะกอนที่ปริมาณพอลิเมอร์ต่างๆ..... 52
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นตลอดช่วงระยะเวลาทำการทดลอง..... 71
ตารางที่ 4.3	ค่าไนเตรตและประสิทธิภาพการบำบัดตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง..... 72
ตารางที่ 4.4	ค่าสภาพต่างเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง..... 73
ตารางที่ 4.5	กรดไขมันระเหยเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง..... 73
ตารางที่ 4.6	ค่าปริมาณแก๊สในแต่ละช่วงค่าการะบรรทุกสารอินทรีย์..... 101
ตารางที่ 4.7	เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนจากถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 101

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	กระบวนการผลิตปลาบรรจุการปิ้ง..... 4
รูปที่ 2.2	ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย..... 6
รูปที่ 2.3	การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ..... 9
รูปที่ 2.4	ส่วนประกอบของระบบยูเอสบี..... 14
รูปที่ 2.5	ลักษณะการทำงานของระบบยูเอสบี..... 15
รูปที่ 2.6	โครงสร้างโดยทั่วไปของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์..... 23
รูปที่ 2.7	การเกิดตะกอนเม็ดแบบ inert nuclei model..... 26
รูปที่ 2.8	การเกิดตะกอนเม็ดแบบ multi-valence positive ion-bonding model..... 26
รูปที่ 2.9	การเกิดตะกอนเม็ดแบบ polymer or filamentous bonding model..... 26
รูปที่ 2.10	การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ..... 28
รูปที่ 2.11	ผลของการเติมอ็อกซิเจนที่มีประจุตรงข้ามให้กับคอลลอยด์..... 29
รูปที่ 2.12	แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ..... 30
รูปที่ 2.13	การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของ คอลลอยด์..... 31
รูปที่ 2.14	กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยพอลิเมอร์..... 32
รูปที่ 2.15	กลไกการทำงานของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)..... 36
รูปที่ 3.1	ถังปฏิกรณ์ยูเอสบี..... 45
รูปที่ 3.2	ลักษณะการติดตั้งระบบยูเอสบี..... 46
รูปที่ 3.3	พอลิเมอร์ Praestol 852 BC..... 47
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1..... 48
รูปที่ 4.1	การศึกษาความเข้มข้นพอลิเมอร์ที่เหมาะสมโดยวิธี Jar Test..... 53
รูปที่ 4.2	ค่า SV30 ที่ปริมาณพอลิเมอร์ต่างๆ..... 53
รูปที่ 4.3	ขนาดของเม็ดตะกอนเมื่อเติมพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 54
รูปที่ 4.4	ลักษณะของตะกอนหลังจากการทำ Jar Test..... 56
รูปที่ 4.5	การเปลี่ยนแปลงค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ต่อระยะเวลาการทดลอง..... 57
รูปที่ 4.6	พีเอชการเดินระบบตลอดช่วงระยะการทดลอง..... 59

รูปที่ 4.7	อุณหภูมิของการเดินระบบตลอดช่วงเวลาการทดลอง.....	61
รูปที่ 4.8	ค่าโออาร์พีตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	63
รูปที่ 4.9	ค่าซีไอตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	65
รูปที่ 4.10	ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	66
รูปที่ 4.11	ค่าบีไอตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	69
รูปที่ 4.12	ประสิทธิภาพการบำบัดบีไอตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	70
รูปที่ 4.13	ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็น.....	72
รูปที่ 4.14	ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	74
รูปที่ 4.15	ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง.....	76
รูปที่ 4.16	ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย.....	77
รูปที่ 4.17	ค่าความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีและบีไอดี.....	79
รูปที่ 4.18	การเปลี่ยนแปลงของค่า D_{10} , D_{50} และ D_{90} ของเม็ดตะกอนในทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ตลอดการทดลอง.....	80
รูปที่ 4.19	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3.....	85
รูปที่ 4.20	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 5 ของการทดลอง.....	86
รูปที่ 4.21	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 5 ของการทดลอง.....	87
รูปที่ 4.22	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 5 ของการทดลอง.....	88
รูปที่ 4.23	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง.....	89
รูปที่ 4.24	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง.....	90
รูปที่ 4.25	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง.....	91
รูปที่ 4.26	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง.....	92
รูปที่ 4.27	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง.....	93
รูปที่ 4.28	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถึงปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง.....	94
รูปที่ 4.29	ความเร็วในการตกตะกอนของแต่ละถึงปฏิกรณ์.....	96
รูปที่ 4.30	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง.....	97
รูปที่ 4.31	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3.....	98
รูปที่ 4.32	แสดงค่า SMA ของถึงปฏิกรณ์ทั้ง 3 ตลอดการทดลอง.....	99
รูปที่ 4.33	ปริมาณแก๊สตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

เนื่องจากในปัจจุบันมีการเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมขึ้นทุก ๆ ปี และจากการที่มีทรัพยากรทางทะเลที่อุดมสมบูรณ์ ทำให้อุตสาหกรรมอาหารทะเล เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และผลิตอาหารทะเลหลายล้านตันต่อปี ซึ่งในการผลิตก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมา จากน้ำเสียโรงงานที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเค็ม ในปริมาณสูง ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในบริเวณนั้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและคุณภาพของแหล่งน้ำ เช่น เกิดปัญหาความต้องการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำสูงขึ้น ปัญหามาจากไนโตรเจนทำให้สาหร่ายและพืชน้ำอื่น ๆ เติบโตอย่างรวดเร็วเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ระบบบำบัดน้ำเสียที่นำมาใช้มีความจำเป็นที่จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดี และน้ำเสียจากแหล่งนี้สามารถนำมาใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน มาทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และความเค็มสูง ระบบยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง จะต้องทำให้จุลินทรีย์ภายในถังปฏิกริยารวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอน และเกิดเป็นชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการจมตัวสูง จึงสามารถกักเก็บแบคทีเรียจำนวนมากไว้ในระบบได้ แต่ข้อเสียของระบบนี้คือ การเริ่มต้นระบบโดยการเลี้ยงแบคทีเรียให้เป็นเม็คนั้นใช้เวลานาน และเกิดเป็นตะกอนเม็คได้ยากในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และเพิ่มประสิทธิภาพ จากการเติมสารที่ใช้ในการจับตะกอนแขวนลอยในน้ำให้เป็นกลุ่มใหญ่ขึ้นจนเกิดการตกตะกอน นำมาประยุกต์ใช้กับการจับอนุภาคแบคทีเรียที่แขวนลอยในน้ำให้ตกตะกอนและไม่ไหลหลุดออกนอกระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งในการที่เกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบได้ช้า ในงานวิจัยนี้ใช้การเติมพอลิเมอร์ไอออนที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นสาร Flocculent ลงในระบบเพื่อช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและเกิดการเชื่อมต่อกัน จนรวมตัวเกิดเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

1.2 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกสร้างขึ้นในระบบยูเอเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล โดยใช้พอลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่าง ๆ

2) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สร้างขึ้น และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ประจุบวกชื่อ Praestol 852 BC มี เพื่อช่วยส่งเสริมและเร่งการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

1) ช่วงที่ 1 เติมพอลิเมอร์ประจุบวกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อส่งเสริมการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี โดยการใช้ น้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล และใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการเริ่มต้นระบบและเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 45 วัน ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ ได้แก่ ลักษณะของตะกอน ขนาดและ โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน และลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำ

2) ช่วงที่ 2 ใช้ น้ำเสียจริงเช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 ทำการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยเพิ่มเป็น 2, 4 และ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำเข้าและน้ำออกทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการ ปริมาณแก๊สทั้งหมด ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน ขนาดและ โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ การกระจายของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และเลือกอัตราส่วนค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงปริมาณที่ใช้ในการเติมพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการสร้างเม็ดตะกอน
- 2) สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับ การสร้างเม็ดตะกอนด้วยวิธีอื่น ๆ
- 3) สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารทะเล

2.1.1 อุตสาหกรรมอาหารทะเล

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความพร้อมทางด้วยวัตถุดิบทางการเกษตรอีกทั้งศักยภาพในการพัฒนารูปแบบ ได้ตรงตามความต้องการของตลาดโลก ส่งผลให้อุตสาหกรรมขยายตัวเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 การผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารประมง

ปี พ.ศ.	ปริมาณการผลิต (ตัน)			
	ไตรมาสที่1	ไตรมาสที่2	ไตรมาสที่3	ไตรมาสที่4
2551	153,781.98	153,952.36	161,114.82	162,246.67
2552	147,731.02	163,617.18	166,180.81	161,171.11

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2552

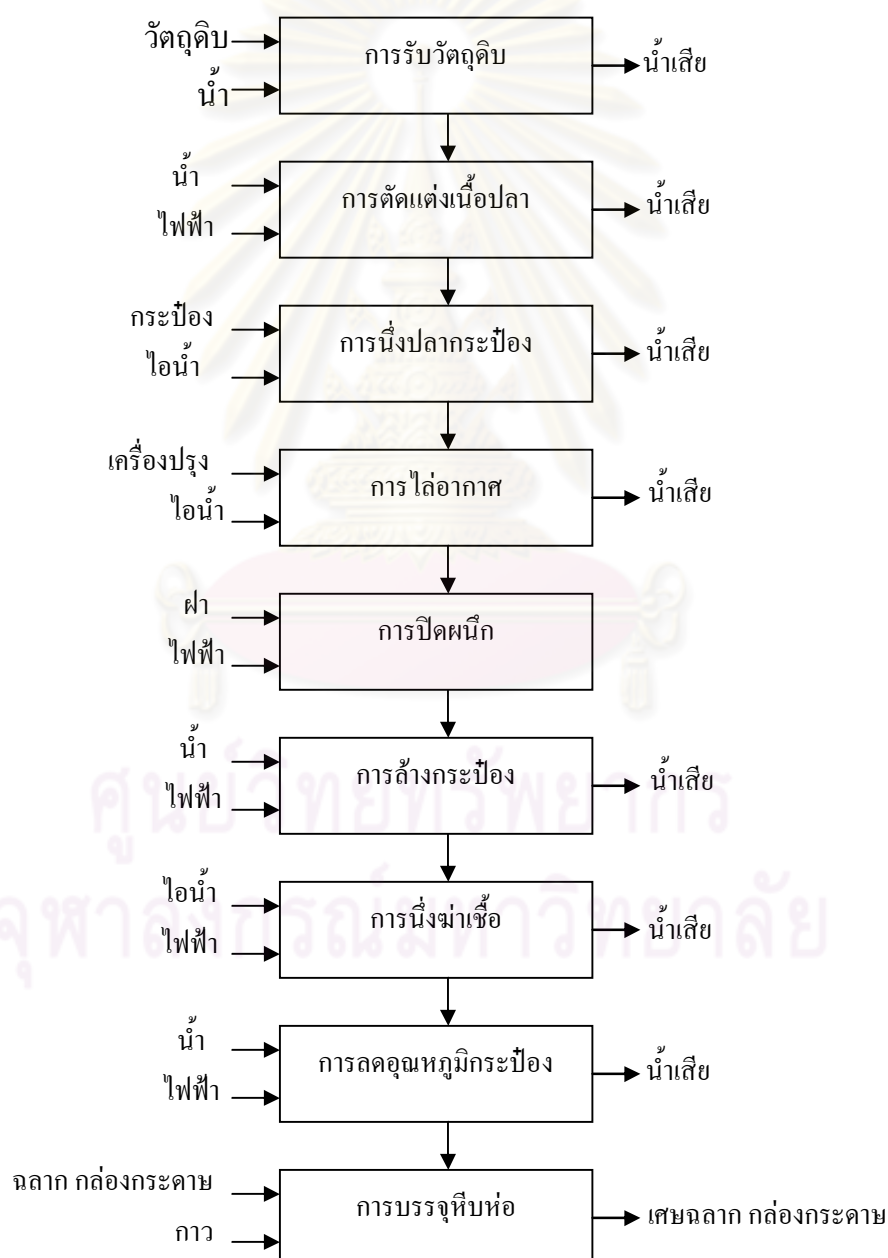
การผลิตอาหารกระป๋องที่มีคุณภาพ และได้มาตรฐานนั้นต้องมีการหลายด้านประกอบกัน ไม่ว่าจะเป็นการจัดการกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน ตลอดจนการควบคุมคุณภาพอย่างเคร่งครัดในทุกขั้นตอนการผลิต และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพิ่มซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่ง เป็นการยกระดับอุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋องของประเทศสู่ระดับสากล

2.1.2 กระบวนการผลิต การใช้ทรัพยากร และปัญหาจากกระบวนการผลิต

2.1.2.1 กระบวนการผลิต

- 1) การตรวจสอบและคัดคุณภาพของวัตถุดิบ
- 2) การตกแต่งชิ้นวัตถุดิบ
- 3) การล้างวัตถุดิบ
- 4) การซั่งน้ำหนัก
- 5) การบรรจุกระป๋อง
- 6) การนึ่งให้ความร้อน
- 7) การเติมเครื่องปรุงรส
- 8) การไล่อากาศ

- 9) การปิดผนึก
- 10) การล้างทำความสะอาดกระป๋อง
- 11) การนึ่งฆ่าเชื้อ
- 12) การลดอุณหภูมิของกระป๋อง
- 13) การปิดฉลากและบรรจุกล่อง
- 14) การผสมเครื่องปรุงรส



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตปลาบรรจุกระป๋อง

2.1.2.2 การใช้ทรัพยากรและพลังงาน

ขั้นตอนการผลิตอาหารทะเลมีความคล้ายคลึงกัน ทั้งนี้รายละเอียดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต

1) การใช้วัตถุดิบ

2) การใช้น้ำในกระบวนการผลิต และการล้างทำความสะอาดบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน และเครื่องจักรกล

3) การใช้พลังงาน การใช้พลังงานส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกัน คือการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า โดยสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานความร้อนนั้นจะใช้ในกระบวนการสร้างไอน้ำร้อนเป็นส่วนใหญ่อันเป็นหัวใจหลักของอุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋อง ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจะใช้ในอาคารสำนักงานและเครื่องจักรกลในสายการผลิตต่างๆ

4) ปัญหาจากกระบวนการผลิต

4.1) น้ำเสีย การใช้น้ำในกระบวนการผลิตอาหารทะเลกระป๋องนั้น ทำให้เกิดน้ำเสียจากหลายขั้นตอนการผลิต ได้แก่ การล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ การล้างกระป๋องที่ปิดผนึกแล้ว การล้างอุปกรณ์และพื้นที่ในสายการผลิต น้ำเสียจากการนึ่งอาหารและฆ่าเชื้อ น้ำเสียจากการลดอุณหภูมิ น้ำเสียรวมของโรงงานผลิตอาหารทะเลกระป๋องมีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูงมาก โดยเฉพาะการปนเปื้อนไขมันและโปรตีน ซึ่งเป็นผลจากขั้นตอนในกระบวนการผลิต ได้แก่

4.1.1) การเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้จะมีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณมาก รวมทั้งมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ ไขมัน เลือดในปริมาณสูง

4.1.2) การนึ่งอาหาร น้ำเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำเสียในขั้นตอนอื่นๆ แต่จะมีองค์ประกอบของมวลสารต่างๆที่มีความเข้มข้นสูง เช่น โปรตีน ไขมัน เป็นต้น โดยมีค่าการะบรทุกสารอินทรีย์สูงมากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำเสียทั้งหมด ซึ่งหากทิ้งลงสู่ระบบบำบัดรวมของโรงงาน จะมีผลทำให้ค่าบีโอดี (BOD₅) ของน้ำเสียของโรงงานรวมสูงขึ้น

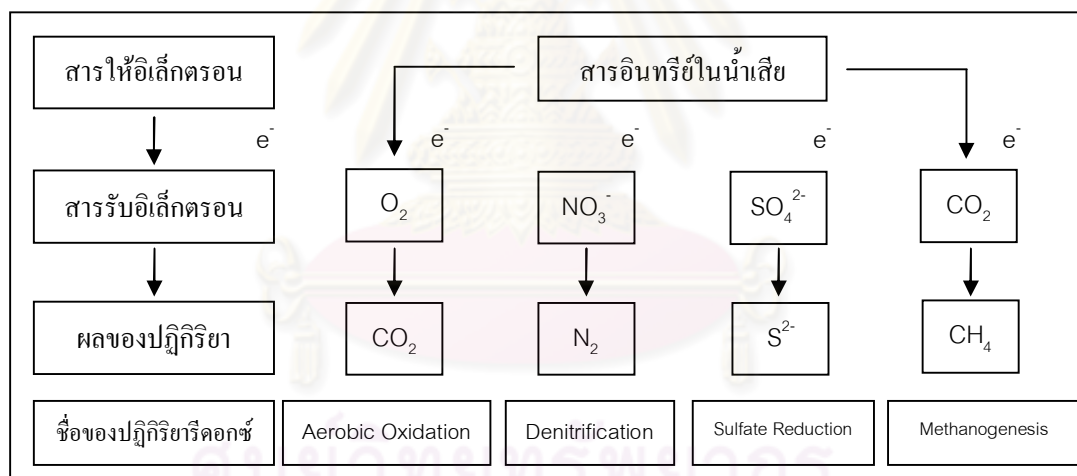
4.1.3) การลดอุณหภูมิกระป๋องหลังจากการนึ่งฆ่าเชื้อ โดยจะมีหล่อเย็นในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ต่ำแม้จะมีอุณหภูมิสูง

4.2) กากของเสีย แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การของเสียอินทรีย์ ได้แก่ กากของเสียที่เกิดจากขั้นตอนการตกแต่งวัตถุดิบและการนึ่ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25-30 ของวัตถุดิบ และของเสียที่เป็นเศษกระป๋อง ผ่ากระป๋อง ฉลากบรรจุภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.2.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้น จะมีพื้นฐานเดียวกับทั้งแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนคือ เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ ออกซิเดชัน – รีดักชัน หรือ รีดอกซ์ ซึ่งมีลักษณะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารให้อิเล็กตรอน (Electron donator) และสารรับอิเล็กตรอน (Electron Receiver) ทั้งนี้พลังงานเคมีที่เป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่สิ่งมีชีวิตนำมาใช้ดำรงชีวิต แหล่งพลังงานเคมีคือสารอินทรีย์ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ออกซิเดชัน – รีดักชัน สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพราะมีพลังงานในตัวสูง และสารอื่นๆในน้ำเสียจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน โดยถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน จะเป็นปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรต หรือ ซัลเฟต จะเป็นปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจน การที่สารรับอิเล็กตรอนมีหลายชนิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงมีความแตกต่างกันการเรียกชื่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงต่างกันไปด้วย (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542)

2.2.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ซับซ้อน มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ร่วมกันหลายกลุ่ม ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์มีทั้งแบบแข่งขันกันและพึ่งพาอาศัยกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปเนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มต่อกัน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เป็นการพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถใช้ได้เหมือนกัน ก็มีความสัมพันธ์แบบแข่งขันกัน จุลชีพที่อาศัยอยู่ร่วมกันนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใดขึ้นกับปัจจัยทาง

สภาวะแวดล้อมของระบบ รูปที่ 2.2 แสดงลำดับขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนจะสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

2.2.2.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาว ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดภายนอกเซลล์จุลินทรีย์จำพวกสร้างกรด โดยอาศัยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลาย

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเกิดค่อนข้างช้า เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ค่าพีเอช ระยะเวลาพักเซลล์ และอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของสารอินทรีย์ โดยถ้าสารอินทรีย์นั้นมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรต่ำ จะต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าจะได้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ดังนั้นจึงพบว่าการย่อยสลายแป้ง โปรตีน และเซลลูโลสจะต้องใช้ระยะเวลาแตกต่างกันไป อันเนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าว

2.2.2.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ในขั้นตอนนี้ผลผลิตของขั้นตอนไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดคูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นอาหาร และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น อะซิติก (CH_3COOH) โพรไพโอนิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) และบิวทิริก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย

ชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสารอาหาร และความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจน ตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวจะเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก และไฮโดรเจนภายใต้ความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนต่ำ และเปลี่ยนเป็นกรดโพรไพโอนิกและบิวทิริกภายใต้สภาวะความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนสูง

ขณะที่น้ำตาลจะถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผ่านวิธี Emden – Meyerhof pathway ที่ภายใต้สภาวะความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ ดังสมการ



แต่จะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนมีค่าสูง ดังสมการ



2.2.2.3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

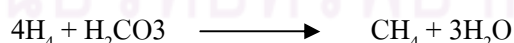
ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะมีบทบาทสำคัญ ในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่อาจใช้เป็นสารอาหารในการผลิตมีเทนได้ แบคทีเรียสร้างอะซิติกมีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน สำหรับการย่อยสลายกรดบิวทิริก และกรดโพรไพโอนิก สามารถกระทำได้ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ ตามลำดับ สมดุลเคมีแสดงดังสมการ



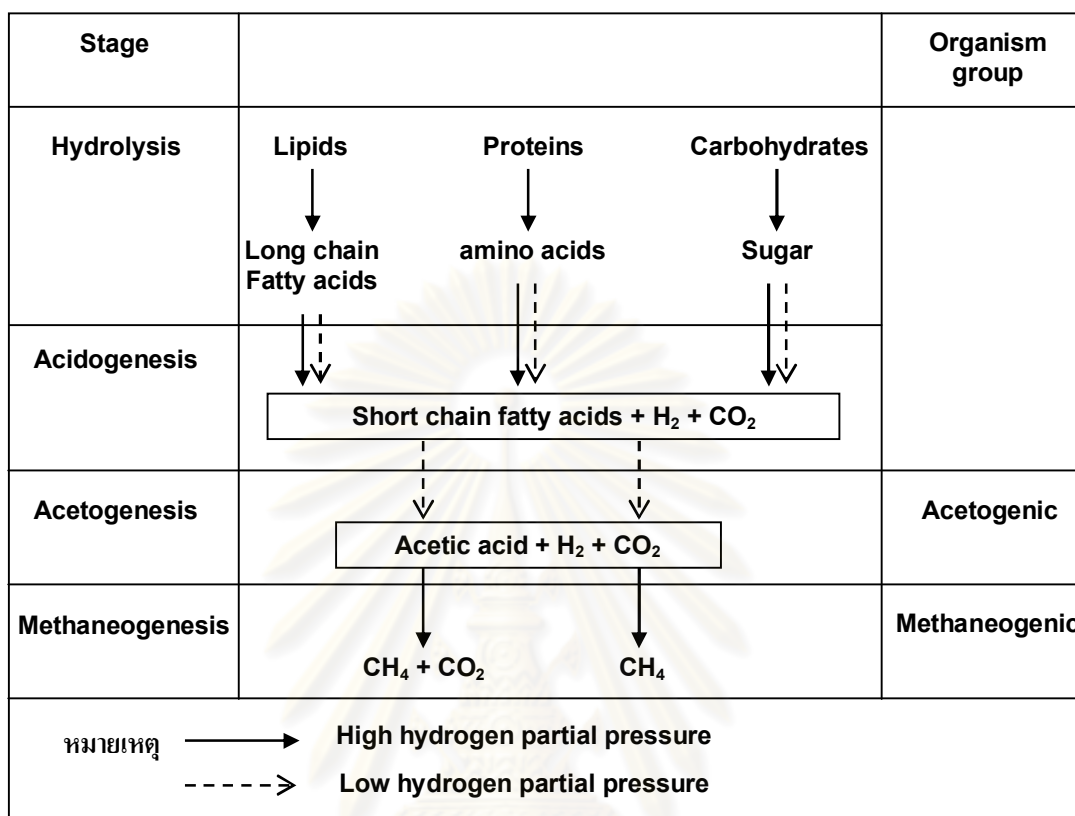
ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะที่ความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยจะไม่สามารถถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงได้

2.2.2.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานในการสร้างก๊าซมีเทนออกมาภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน ดังสมการด้านล่าง



ซึ่งสารอื่นนอกเหนือจากกรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียอาจใช้สารตั้งต้น (Substrate) อย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการสร้างก๊าซมีเทน เช่น เมทานอล และกรดฟอร์มิก



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Sam-soon และคณะ, 1987)

2.2.3 ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.2.3.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (*Acidogenic Bacteria*)

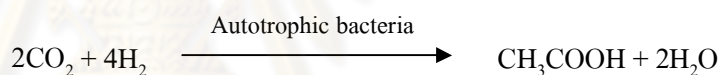
ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิด Obligate Anaerobes มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิด Obligate Anaerobes มีจำนวนมากกว่า แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิด Obligate Anaerobes ที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหย ก็คือ กลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวก polysaccharides หรือ โปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลากหลายชนิดเช่น กรดบิวทิริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซีโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionibacteria ที่ผลิตกรดพรอปิอิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลคติก (Fenchel และ Finlay, 1995; Madigan และคณะ, 1997)

2.2.3.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (*Acetogenic Bacteria*)

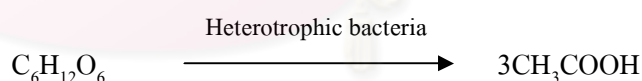
เมื่อผลผลิตแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่เกินไปซึ่งแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทนเพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (*Homoacetogenic Bacteria*)

แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ) ผ่านกระบวนการชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA Pathway ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในแบบออโตโทรฟิก (*Autotrophic*) คือใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (*Heterotrophic*) ก็ได้ โดยการหมักน้ำตาลตั้งสมการข้างล่าง



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส *Clostridium* พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป (*Acidogenic Bacteria*) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (*Acetogenic Bacteria*) แบคทีเรียแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ

2) แบคทีเรียสร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (*H₂-Producing Acetogenic Bacteria*)

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือ แอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียล

ของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้น จะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

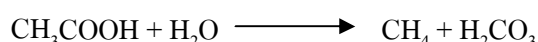
การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือ แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แก่แบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียสร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด

แบคทีเรียชนิดนี้อยู่ในกลุ่ม Syntrophomonas และกลุ่ม Syntrophobacter แบคทีเรีย *Syntrophomonas wolfei* ย่อยกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 8 อะตอม ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแบคทีเรีย *Syntrophobacter wolinii* จะย่อยกรดพอฟิออนิกให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน

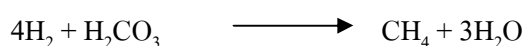
2.2.3.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียสร้างมีเทนจัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรโทรป เป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิด Obligate Anaerobes ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้ปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่มีประสิทธิภาพ คือ ไม่มีการสร้างก๊าซมีเทนแทนกรดไขมันระเหย แบคทีเรียกลุ่มนี้พบได้ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือที่อับอากาศ เช่น ดินเลนจากก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ได้แก่ สกุล Methanobacterium, Methanosarcina และ Methanococcus โดยจะทำหน้าที่ย่อยกรดไขมันระเหยและแอลกอฮอล์จากการย่อยในขั้นตอนแรก เพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียสร้างมีเทนจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) Obligate Acetoclastic Methanogen สามารถใช้กรดอะซิติกได้เพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการด้านล่าง



2) Obligate Hydrogenotrophic Methanogen (H_2 – utilizer) เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้ โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ดังสมการด้านล่าง



3) Hydrogenotrophic / Acetoclastic Methanogen เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างมีเทนได้จากกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจน แต่จะชอบใช้ไฮโดรเจนมากกว่า

แบคทีเรียพวกสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงที่มีพีเอชแคบประมาณ 6.8 – 7.2 และอุณหภูมิก็มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งมักจะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำ (Specific Growth Rate) ทำให้ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้ช้าและมักเป็นขั้นตอนในการจำกัดอัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.2.3.4 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria)

สิ่งมีชีวิตหลายชนิดในธรรมชาติทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นพืชชั้นสูง สหรัย รา และเซลล์ของพวกโพรคาริโอตหลายชนิดสามารถใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งซัลเฟอร์ที่ใช้ในการสร้างเซลล์ แต่ความสามารถในการใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจำกัดอยู่ในแต่แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเท่านั้น แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรโทรป ดำรงชีพและเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ลักษณะเด่นของแบคทีเรียในกลุ่มนี้คือ ความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟต ทำให้ซัลเฟตเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ เนื่องจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในการออกซิไดซ์ออกซิเจน โมเลกุลหรือสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ในกรณีที่สารให้อิเล็กตรอน คือไฮโดรเจนโมเลกุลหรือ อะซิเตด ขั้นตอนดังกล่าวนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เช่นเดียวกับขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทนตามปกติ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีซัลเฟต จึงมักพบแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอยู่ร่วมกับแบคทีเรียสร้างกรดแบบแบคทีเรียสร้างมีเทนเสมอ

2.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

2.3.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี

โครงการพัฒนาถึงปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เริ่มต้นในปี 1970 โดยได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ ซึ่งดำเนินการวิจัยร่วมกับกลุ่มวิจัยของ Centrale Suiker Maat-chappij (CSM) และ Delf University of Technology รวมถึงมหาวิทยาลัย Wageningm และ Amsterdam ผลการวิจัยและพัฒนาในช่วงปี 1974 และ 1977 นำมาซึ่งการเริ่มต้นก่อสร้างถึงปฏิกรณ์ในชั้นโรงงานต้นแบบ และในปี 1978 ถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ก็เริ่มถูกนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยถูกใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียโรงงาน

น้ำตาล ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 88 ที่อัตราการรับภาระ 16.25 กก.บีโอดี/ลบ.ม./วัน ปัจจุบันถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลก

2.3.2 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีมีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

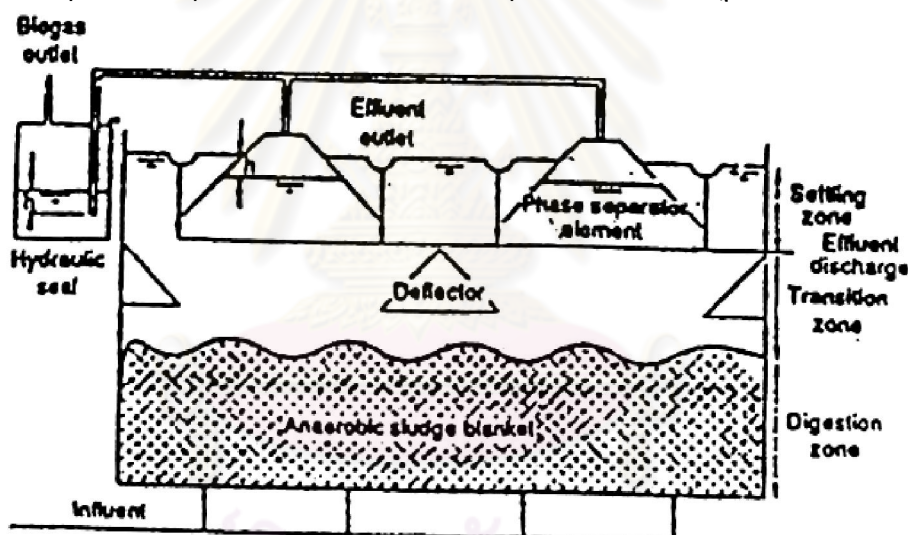
ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีต้องการพลังงานในการเดินระบบต่ำเนื่องจากไม่มีการเติมอากาศ	1. ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบนานมากเนื่องจากต้องเลี้ยงจุลินทรีย์ให้จับตัวกันเป็นเม็ด ระบบจึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี
2. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการยึดเกาะของจุลินทรีย์จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลง	2. ต้องควบคุมปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ และควบคุมอัตราการไหลออกของตะกอนจุลินทรีย์ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด
3. มีความเหมาะสมในการใช้ระบบบำบัดนี้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่และในพื้นที่เขตชุมชนนอกเมือง	3. ระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ
4. ใช้สารอาหารน้อยและต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน	4. จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการเจริญเติบโตในช่วงพีเอชที่ค่อนข้างแคบประมาณ 6.5-7.2
5. ปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดจากระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและตะกอนที่ได้มีความคงตัวสูง ลดภาระในการกำจัดตะกอนต่อไป	5. การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ผลผลิตต่างๆที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น
6. ได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้	6. ระบบต้องการการดูแลและควบคุมอย่างใกล้ชิด การเดินระบบต้องอาศัยผู้ควบคุมที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างมาก
7. สามารถป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบอื่น	7. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถเป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้ เนื่องจากยังคงมีสารตัวกลาง (intermediate) ต่างๆ เหลืออยู่ทำให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีสูงประสิทธิภาพในการลด BOD ต่ำ
8. สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่มีปัญหาและการเริ่มต้นระบบใหม่ สามารถกระทำได้ง่าย ระบบฟื้นตัวได้เร็วจึงเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู	

2.3.3 ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีและไหลขึ้นสู่ด้านบนของถัง โดยไม่มีตัวกลางใดๆมาช่วยพยุงมวลจุลินทรีย์ ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจะเป็นถังรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงกระบอก (รูปที่ 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



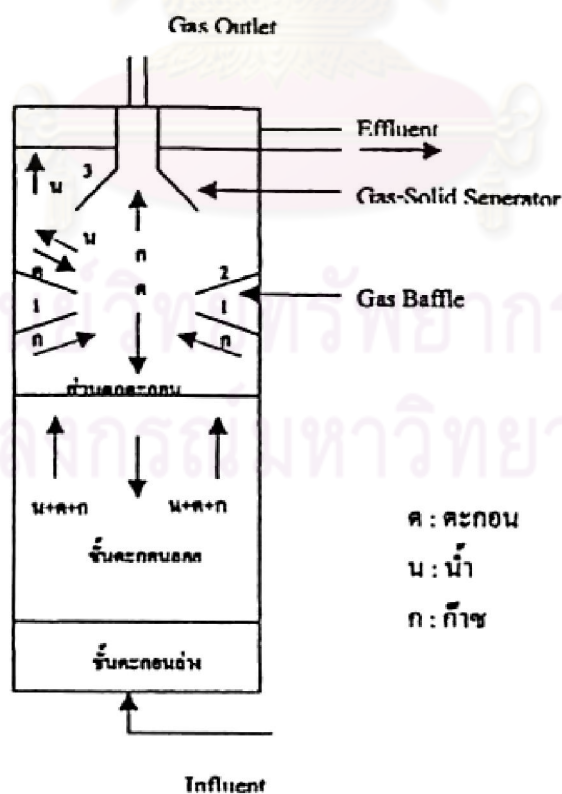
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี (Van Haandel และ Lettinga, 1994)

น้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้เกิดเซลล์และก๊าซขึ้น โดยก๊าซที่เกิดขึ้น (ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์) และความเร็วของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ลอยสู่ด้านบน ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแขวนลอย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่จนถึงส่วนบนของถัง ซึ่งมีอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสีย และตะกอนแขวนลอย ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกแยกเก็บไปยังส่วนบน และไหลไปตามท่อสู่ที่เก็บก๊าซ ตะกอนจุลินทรีย์จะตกลงสู่ก้นถังปฏิกรณ์ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะไหลออกทางด้านบน

จะเห็นได้ว่า ปัจจัยสำคัญของระบบยูเอเอสบี คือ การเลี้ยงจุลินทรีย์ให้เกาะเป็นเกล็ดหรือเม็ด ซึ่งมีความหนาแน่น และน้ำหนักมาก เพื่อที่จะตกตะกอนได้ดี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของระบบนี้ เพราะถ้าไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอน จะทำให้หลุดออก (Wash Out) ของตะกอนจุลินทรีย์ได้เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง หรืออาจล้มเหลวได้ นอกจากนี้การป้องกันน้ำเสียที่เข้าระบบไม่ให้เกิดช่อง (Channeling) ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพราะมีฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบลดลงได้

วัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยก 3 สถานะ คือ ก๊าซ, น้ำเสีย และตะกอน จุลินทรีย์ (GSS Device) สำหรับระบบยูเอเอสบีโดย Lettinga และ Hulshoff Pol (1991) มีดังนี้

- 1) เพื่อแยก และนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นออกจากถังปฏิกรณ์
- 2) เพื่อป้องกันการหลุดออก (Wash Out) ของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น
- 3) เพื่อให้สลัดจັตตะกอนกลับไปด้านล่างของถังปฏิกรณ์
- 4) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket) ขยายตัวฟุ้งกระจายไปอย่างรวดเร็วเข้าไปในส่วนตกตะกอน
- 5) เพื่อเป็นการทำให้น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมีคุณภาพที่ดี



รูปที่ 2.5 ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี (สุเมธ ชวเดช, 2540)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

2.3.4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวกับสถานะแวดล้อมจุลินทรีย์

1) อุณหภูมิ

ระบบยูเอเอสบีสามารถแบ่งการทำงานในช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 3 ช่วง คือ

1.1) ช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50-65 องศาเซลเซียส

1.2) ช่วงการทำงานของมีโซฟิลิก (Mesophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส

1.3) ช่วงการทำงานของไซโคฟิลิก (psychrophilic) จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

แม้ว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิกจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิก แต่นิยมให้แบคทีเรียอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เนื่องจากพบว่าพวกเทอร์โมฟิลิกจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า ส่วนช่วงไซโคฟิลิกก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยมากและในส่วนของกระบวนการย่อยสลาย (Hydrolysis) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอจึงมีความสำคัญมากกว่าให้ระบบมีอุณหภูมิที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด

2) พีเอช, สภาพความเป็นด่าง, กรดอินทรีย์ระเหย

ค่าของพีเอช, สภาพความเป็นด่าง และกรดอินทรีย์ระเหย มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนต้องการพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 6.5-7.5 ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนแบคทีเรียสร้างกรดมักสามารถปรับตัวในช่วงพีเอชกว้างกว่าคือประมาณ 5-8.5 ดังนั้น ค่าของพีเอชจึงมีความสำคัญต่อแบคทีเรียผลิตมีเทนมากกว่า กรดอินทรีย์ระเหยที่ผลิตโดยพวกแบคทีเรียที่สร้างกรด (Acidogenesis) ปกติควรมีค่าอยู่ในระบบประมาณ 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวแสดงให้ทราบถึงกำลังของบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) ของระบบ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำไม่เพียงพอ ปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสภาพดังกล่าวของระบบจะไม่เกิดขึ้น ถ้ามีกำลังบัฟเฟอร์มากพอ โดยทั่วไปในการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าสภาพความเป็นด่าง ประมาณ 2,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราส่วนของความเข้มข้นกรดอินทรีย์ระเหย (มิลลิกรัม/ลิตร ของกรดอะซิติก) ต่อสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (มิลลิกรัม/ลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งเป็นการแสดงค่าของบัฟเฟอร์ทางหนึ่ง

โดยถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่ามีกำลังของบัฟเฟอร์ต่ำ อาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้ สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมพีเอช ได้แก่ การเติมไบคาร์บอเนต หรือการเติมคาร์บอเนตให้แก่ระบบ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้เติมให้ระบบ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี เป็นการเติมไบคาร์บอเนตให้แก่ระบบโดยตรง แต่ราคาจะสูงกว่าสารอื่น

3) ความเค็มในน้ำเสีย (Salinity)

จากการศึกษาที่ผ่านมาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ที่ความเค็มหรือความเข้มข้นของเกลือโซเดียมได้แตกต่างกัน ซึ่งวัดเป็นหน่วย ppt (part per thousand) ผลของความเค็มมีดังต่อไปนี้

3.1) ทำให้เกิดแรงดันออสโมซิส (Osmotic pressure) ทำให้เซลล์แบคทีเรียตายหรือหยุดการเจริญเติบโตเนื่องจากเกิดพลาสโมไลซิส (Plasmolysis)

3.2) การแตกตัวของโซเดียมคลอไรด์ทำให้ได้โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่มีความไวต่อไอออนชนิดนั้นๆ

3.3) ขัดขวางต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ภายในเซลล์แบคทีเรีย

3.4) ทำให้เซลล์แบคทีเรียไวต่อคาร์บอนไดออกไซด์

4) ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) ซึ่งเป็นผลรวมของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ให้อิเล็กตรอน) และปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) ความสามารถในการให้และรับอิเล็กตรอนระหว่างปฏิกิริยาทั้งสอง อาจวัดได้ด้วยค่าออกซิเดชัน – รีดักชันโพเทนเชียล หรือเรียกสั้นๆว่า โออาร์พี (ORP)

5) สารพิษ (Toxic Substance)

น้ำเสียที่จะบำบัดด้วยกรรมวิธีทางชีววิทยาไม่ควรมีสารที่เป็นพิษอยู่ เพราะจะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบ หรือยับยั้งการเจริญเติบโต โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ความรุนแรงของพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้นๆ ด้วย สารที่เป็นพิษต่อระบบ ได้แก่

5.1) พิษของไอออนบวกและโลหะหนัก

ไอออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โปตัสเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะ จะเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปเกินความ

จำเป็น จะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียปรกติ อีออนที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอีออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอีออนบวก (McCarty, 1964)

ชนิดอีออนบวก	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	กระตุ้น	ยับยั้งปานกลาง	ยับยั้งมาก
Na ⁺	100-200	3500-5500	8000
K ⁺	200-400	2500-4500	12000
Ca ²⁺	100-200	2500-4500	8000
Mg ²⁺	75-150	1000-1500	3000

พิษของอีออนสามารถลดความเป็นพิษลงได้ (Antagonism) เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พิษของ Na⁺ มีความเข้มข้น 3,500 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามี Mg²⁺ และ Ca²⁺ ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในทางตรงข้ามอีออนบางชนิดจะไปเพิ่มความเข้มข้นพิษให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน (Synergism)

การยับยั้งโดยโลหะหนัก (Heavy Metal) มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน Mosey และ Hughes (1975) ศึกษาพบว่า Cu²⁺ มีผลต่อระบบมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์พอเหมาะเพราะว่าซัลไฟด์ สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่อย่างไรก็ดีโลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับแบคทีเรีย แม้จะมีในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในการยับยั้งประสิทธิภาพ 50% (Mosey และ Hughes, 1975)

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
Fe ⁺	1-10
Zn ²⁺	10 ⁻⁴
Cd ²⁺	10 ⁻⁷
Cu ⁺	10 ⁻¹²
Cu ²⁺	10 ⁻¹⁶

5.2) พิษของกรดอินทรีย์ระเหย

กรดอินทรีย์ระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมามากเกินไป เช่น ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์หรืออาหารเข้ามามาก แบคทีเรียที่ผลิตกรดจะผลิตกรดอินทรีย์ระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดผลิตมีเทนได้



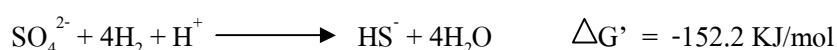
โดยปริมาณของแอมโมเนียมไอออนนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช คือ ที่พีเอชประมาณ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1% ของแอมโมเนียทั้งหมด โดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน 99% แต่ถ้าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ปฏิกิริยาจะไปทางขวามือมากขึ้น ทำให้เกิดแอมโมเนียมาก ซึ่งแอมโมเนียจะเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียมไอออน โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียคือมากกว่า 150 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นการรักษาพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 หรือต่ำกว่า จะทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน ซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า ตารางที่ 2.3 แสดงผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนซึ่งรวมทั้งแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

ตารางที่ 2.3 ผลของแอมโมเนียในโตรเจนที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (Kugelmann และ McCarty, 1965)

แอมโมเนียในโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1000	ยังไม่เกิดผลชัด
1500-3000	เริ่มยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูง
>3000	เป็นพิษโดยตรง

5.3) ผลของซัลเฟต

การที่น้ำเสียมีปริมาณซัลเฟตมากจะทำให้มีแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ได้ โดยกลุ่มของ Sulfate – Reducing Bacteria (SRB) เช่น Desulfovibrio, Desulfotomaculum จะสามารถใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้ โดยซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ได้ดังสมการ



โดยแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะแย่งอาหารกันกับพวกผลิตมีเทน (Methanogenic Bacteria) โดยสามารถใช้อะซิเตทและไฮโดรเจนเป็นสารอาหาร และจากค่า G' แสดงให้เห็นว่าสามารถชนะแบคทีเรียผลิตมีเทนได้ ทำให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนลดน้อยลงนอกจากนี้การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไป อย่างไรก็ตาม ถ้าจะพิจารณาในแง่การใช้ไฮโดรเจนเป็นสารอาหารของแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะทำงานสัมพันธ์กันกับแบคทีเรียที่ผลิตไฮโดรเจน โดยจะช่วยให้ Hydrogen Partial Pressure มีค่าต่ำเสมอ ทำให้เป็นการลดการสะสมตัวของก๊าซไฮโดรเจนทางหนึ่ง ดังนั้นแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตได้จึงมีบทบาทต่อการสร้างกรดอินทรีย์ระเหย และมีผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไพรูโวนิกด้วย

2.3.4.2 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงาน

1) การเก็บรักษาปริมาณจุลินทรีย์ไว้ให้สูงสุดและจมน้ำได้ดี โดยให้ชุดแยกสามสถานะทำงานได้ปกติ นั่นคือต้องทำให้จุลินทรีย์รวมกันเป็นก้อน (Granular) (สุภาภรณ์ สันทัด เสรีอนันต์, 2545 อ้างถึง Wiegant และคณะ 1986) ได้ให้ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดภาวะรวมกันเป็นก้อนเมื่อดังนี้

- 1.1) ปริมาณอ็อกซิเจนประจุบวกสอง
- 1.2) HRT หรือ ความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสีย
- 1.3) ความเข้มข้นของน้ำเสียขาเข้า
- 1.4) แรงกดดันที่มีต่อกลุ่มสลัดจ์ในถัง
- 1.5) อัตราการผลิตก๊าซที่กั้นถัง (Sludge Bed)
- 1.6) การคัดพันธุ์จุลินทรีย์ที่จมน้ำได้ดีเอาไว้
- 1.7) ใช้ตะกอนเริ่มต้นที่ดี เพื่อให้มี Methanogenic Activity สูงเพียงพอ

โดยปริมาณอินเนอทด้า

2) การกระจายน้ำเสียเข้าอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันการไหลลัดวงจรของน้ำเสียผ่านชั้นฐาน (Bed) ซึ่งถึงทดลอง จุดเข้าจุดหนึ่ง อาจครอบคลุมได้ถึง 5-10 ตารางเมตร ส่วนถึงขนาดใช้จริงต้องเพิ่มจุดเข้าเป็นหนึ่งจุดต่อพื้นที่ 1-2 ตารางเมตร

3) การควบคุมภาระบรรทุกขาเข้า โดยการควบคุมการสูบน้ำเข้าให้ความเร็วไหลขึ้นไม่เกิน 1 เมตร / ชั่วโมง โดยรักษาซีโอดีหรือค่าเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ให้เกือบคงที่

4) การรักษาสภาพ Bed – Blanket ไว้ให้ได้ เพื่อมิให้ชุดแยกสามสถานะต้องทำงานเกินกำลัง (Overload) โดยอาจคอยรักษาระดับผิวบนของ Bed จนถึงจุดต่ำสุดของชุดแยกสามสถานะไว้อย่างน้อย 1 เมตร (Buijs และ Heertjes. 1982)

2.3.5 ข้อกำหนดและวิธีการเริ่มต้นเดินระบบยูเอเอสบี

ข้อกำหนดและมีความสำคัญที่สุดในการเริ่มต้นเดินระบบยูเอเอสบีคือ จำเป็นต้องเพาะเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีลักษณะเป็นเม็ดขึ้นมาให้ได้เสียก่อน (Hulshoff Pol และคณะ, 1983) โดยข้อกำหนดและวิธีการมีดังนี้

2.3.5.1 ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์

ปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบ ต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของระบบยูเอเอสบี สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นพวก thick type (> 40 กก./ลบ.ม.) ค่าที่เหมาะสม คือ 12-15 กก. วีเอสเอส/ลบ.ม. ของถังหมัก สำหรับอุณหภูมิระยะมีโซฟิลิก แต่โดยทั่วไปแล้วตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้จะเท่ากับ 10 – 15 กก. วีเอสเอส/ลบ.ม. ของถังหมัก

2.3.5.2 ค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ขณะเริ่มต้นเดินระบบควรเลือกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนต่ำมาใช้ในการเดินระบบ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ค่าความสามารถจำเพาะที่เหมาะสม คือ 0.05-0.1 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส/วัน โดยทั่วไปแล้วจะเริ่มต้นที่ 0.05 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส/วัน

2.3.5.3 การเพิ่มค่าภาระบรรทุksารอินทรีย์

ในการพิจารณาเพิ่มค่าบรรทุksารอินทรีย์ในแต่ละช่วง ให้ถือหลักเกณฑ์ดังนี้คือ จะต้องมีภาระย่อยสลายกรดไขมันระเหยและกำจัดซีโอดีได้ตั้งแต่ 80 % ขึ้นไป ซึ่งจะอยู่ในช่วง steady stage ของแต่ละช่วงภาระบรรทุksารอินทรีย์ จึงจะพิจารณาเพิ่มได้

2.2.5.4 การหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์

ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาจะหลุดออกมากับน้ำทิ้งจากระบบเป็นจำนวนมาก ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ที่ลอยออกมานี้จะหลุดออกไปตลอดเวลา จนเหลือแต่ตะกอนที่มีความเร็วในการจมตัวสูง ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเป็นเม็ดต่อไป

2.2.5.5 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่นำมาบำบัด

เพื่อให้กระบวนการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปแบบซีโอดีควรมีความเข้มข้นต่ำหรือปานกลาง (Low or Medium Waste Strength) โดยทั่วไปแล้วถ้า น้ำเสียมีความเข้มข้นที่สูง จำเป็นที่จะต้องนำมาเจือจาง (Dilution) ให้มีความเข้มข้นน้อยลงก่อน

2.2.5.6 สภาวะแวดล้อมของระบบ

สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อระบบยูเอเอสบีต้องมีความเหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนดังนี้

- 1) ปริมาณอาหารเสริมที่จำเป็นต้องมีย่างเพียงพอสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์
- 2) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดมี 2 ระยะ ได้แก่ ระยะมิโซฟิลิก อุณหภูมิ 20-38 องศาเซลเซียส และระยะเทอร์โมฟิลิก อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (Wiegent และ Lettinga, 1985) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและมีช่วงกว้างย่อมมีผลต่อลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์
- 3) พีเอชของน้ำเสียต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 6.5-7.8 (Hulshoff และคณะ, 1983)
- 4) ชนิดของน้ำเสียมีผลต่อระบบบำบัด โดยเฉพาะองค์ประกอบที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ สารประกอบที่เป็นตัวยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น เมื่อมีแอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่า 1,000 มก./ลิตร

2.4 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

2.4.1 ประเภทเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากการที่แบคทีเรียในถังหมักยูเอเอสบีแบ่งเป็น 2 ชั้น คือชั้นบน แบคทีเรียมีลักษณะเป็นตะกอนเบา ส่วนชั้นล่างมีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งเกิดจากแบคทีเรียเกาะติดกันแน่น จึงมีความหนาแน่นของจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อปริมาตรในชั้นล่างนี้ สูงกว่าในชั้นบนซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนเบามาก ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นมีเทนในชั้นของตะกอนเม็ดเป็นส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีจึงขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ด

ลักษณะของเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อ ส่วนประกอบของน้ำเสีย สิ่งแวดล้อมในระบบ และการเริ่มต้นเดินระบบ โดยเม็ดตะกอนอาจมีหลายชนิดดังนี้

2.4.1.1 Sarcina Granules เป็นตะกอนที่มีรูปร่างกลมเกาะกันเป็นกลุ่มเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย methanosarcina เกิดขึ้นเมื่อระบบรับปริมาณสารอินทรีย์สูงเกินไป (Over Loading) เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก จึงถูกล้างออกจากระบบได้ง่ายและยังมีความสามารถในการผลิตมีเทนต่ำมาก

2.4.1.2 Rod-type Granules เป็นเม็ดตะกอนที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นท่อนสั้นๆเป็นส่วนใหญ่ โดยมีขนาดประมาณ 3 มม. และมีของแข็งระเหยสูงถึง 90% ซึ่งตรวจพบ

ในถังยูเอสบีที่รับน้ำเสียบางประเภท เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน เป็นต้น แบคทีเรียพวกนี้จัดเป็นพวก *Methanothrix Soehgenii*

2.4.1.3 Filamentous Granules เป็นเม็ดตะกอนซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีเส้นยาว (Filamentous Bacteria) เป็นส่วนใหญ่ เม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดใหญ่ถึง 5 มม. ภายในมักเป็นพวก Inert Carrier Material จึงมีค่าของแข็งระเหยต่ำกว่าเม็ดตะกอนสองพวกแรก

2.4.1.4 Spinky Granules ในน้ำเสียที่มีสารแคลเซียมสูง เม็ดแบคทีเรียในระบบยูเอสบีจะประกอบด้วย CaCO_3 มากกว่าร้อยละ 60 โดยมีลักษณะเป็นหนามแหลม เม็ดแบคทีเรียพวกนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มม. และหนา 0.5 มม. แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกเส้นใยยาว เม็ดตะกอนพวกนี้มี Activity ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากประกอบด้วย CaCO_3 ที่จะพอกบนเม็ดผิวแบคทีเรีย

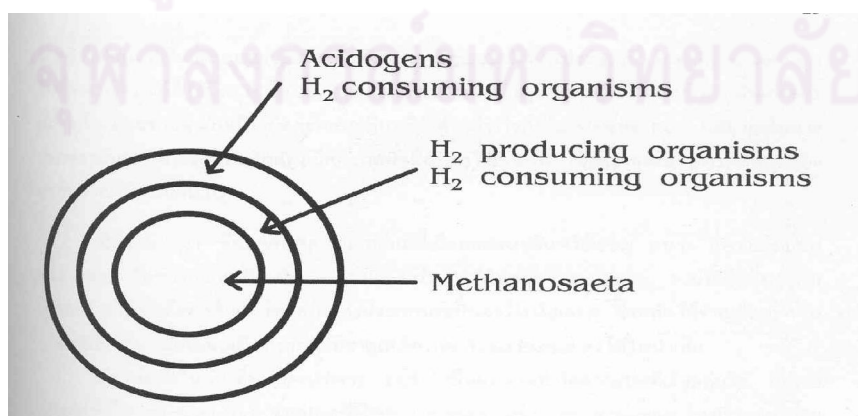
2.4.2 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากที่มีการศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอสบี โดย McLeod และคณะ (1990) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 พบว่ามีโครงสร้างภายในเม็ดตะกอนแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

2.4.2.1 โครงสร้างชั้นนอก ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก Acidogens, H_2 consuming organisms

2.4.2.2 โครงสร้างชั้นกลาง ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก H_2 Producing organisms และ H_2 consuming organisms

2.4.2.3 โครงสร้างชั้นใน ประกอบด้วยแบคทีเรียประเภท Acetoclastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Methanosaeta



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโดยทั่วไปของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (McLeod และคณะ, 1990)

โครงสร้างและขนาดของชั้นในเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์แต่ละชั้น ขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายสารอาหาร และการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตจะพบจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogenesis ที่บริเวณผิวนอกสุดของตะกอนจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะนอกจากการที่สารอาหารมีค่าความเข้มข้นสูงบริเวณรอบนอกเมื่อดตะกอนแล้ว ยังมีสาเหตุมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยา Acidogenesis ที่บริเวณรอบนอกเมื่อดตะกอนมีค่าสูงกว่าปฏิกิริยา Acetogenesis และปฏิกิริยา Methanogenesis ด้วยเช่นกัน อะซิเตทที่ถูกผลิตขึ้นมาจะแพร่กระจายไปยังโครงสร้างชั้นกลางและชั้นในของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ต่อไป

2.4.3 Extracellular Polymers

Extracellular Polymers (ECP) เป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ และเป็นสารพื้นฐานของโครงสร้างเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ ECP ที่ห่อหุ้มอยู่รอบเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีส่วนประกอบหลักเป็น polysaccharide โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก โดยที่ ECP มีหน้าที่ในการดักจับสารอาหารละลาย และยังเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะกับเซลล์อื่นๆอีกด้วย

จากรายงานการวิจัยพบว่า แบคทีเรียที่อยู่ภายในเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์จะถูกล้อมรอบด้วย ECP โดยที่ปริมาณของ ECP อยู่ในเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ระหว่างร้อยละ 0.6-20 ของวิเอสเอส โดยทั่วไปแบคทีเรียที่กระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย มักมีคุณสมบัติเป็นประจุลบและเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์ แต่ ECP ที่ห่อหุ้มอยู่รอบผิวเซลล์เป็นประจุบวก ส่งผลให้เซลล์เหล่านั้นเกิดการดึงดูดติดกัน และรวมตัวกันเป็นเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตามปริมาณ ECP ที่มีมากเกินไปส่งผลกระทบท่อการรวมตัวกันเป็นเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ได้เช่นกัน เนื่องจากจะเกิดการผลักกันของประจุบวกที่มีมากเกินไป

ปริมาณ ECP ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เมื่อดตะกอนจุลินทรีย์เจริญ พบว่าที่ความเข้มข้นของ ECP ในช่วงอุณหภูมิ Thermophilic มีค่าต่ำกว่าในช่วง Mesophilic รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับการกระจายตัวในน้ำเสียอีกด้วย โดยพบส่วนประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสกัดได้จากเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมธาตุเหล็กและ Yeast Extract ลงไปในน้ำเสีย

ปัจจุบันยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่า ECP เป็นผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มใด แต่พบผลผลิตที่เป็น polysaccharide จากแบคทีเรียกลุ่ม methanogenic และ acetogenic ในปริมาณที่น้อยมาก โดยที่แบคทีเรียกลุ่ม acidogenic เป็นแบคทีเรียที่มีอิทธิพลต่อการสร้าง ECP

2.4.4 กระบวนการรวมเป็นเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์

การเริ่มต้นเดินระบบยูเอเอสพีต้องใช้เวลาอันยาวนาน ดังนั้น Yu และคณะ (2003) ได้รวบรวมกลไกและแบบจำลองในการเกิดเมื่อดตะกอนของระบบยูเอเอสพี ดังรูปที่ 2.7 ถึง 2.9 เพื่อให้

เกิดความเข้าใจและมีการพัฒนา เพื่อให้การเริ่มต้นเดินระบบใช้ระยะเวลาสั้นลง ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นขั้นตอนดังนี้

2.4.4.1 ขั้นตอนที่ 1 การเคลื่อนย้ายทางฟิสิกส์ ทำให้การชนกันสัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียหรือการดึงดูดของแบคทีเรียบนผิวนิวคลีโอ (nuclei) แรงที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนนี้ ได้แก่

- 1.) Hydrodynamic Force (แรงดันของน้ำ)
- 2) Diffusion Force (แรงจากการแพร่)
- 3) Gravity Force (แรงโน้มถ่วงของโลก)
- 4) Thermodynamic Force เช่น การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน
- 5) Cell Mobility การเคลื่อนที่ของเซลล์

2.4.4.2 ขั้นตอนที่ 2 แรงดึงดูดที่ทำให้รักษาเสถียรภาพและเซลล์สัมผัสกัน แรงดึงดูดเหล่านี้ ได้แก่

- 1) Physical Forces
 - 1.1) Van Der Waals Forces
 - 1.2) แรงดึงดูดระหว่างประจุตรงข้ามกัน
 - 1.3) Thermodynamic Forces รวมถึงพลังงานอิสระของฟิวด้วย เช่น แรงดึงผิว
 - 1.4) Hydrophobicity
 - 1.5) สายใยแบคทีเรียที่สามารถเชื่อมเซลล์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน
- 2) Chemical Forces
 - 2.1) การประสานงานของ Hydrogen
 - 2.2) การก่อดัวของ Ionic Pairs
 - 2.3) การก่อดัวของ Ionic Triplet
 - 2.4) อนุภาคของการเชื่อมระหว่างกันและอื่นๆ
- 3) Biochemical Forces
 - 3.1) การทำให้พื้นเซลล์แห้ง
 - 3.2) การละลายเยื่อหุ้มเซลล์
 - 3.3) การให้สัญญาณและการรวมกลุ่มในแบคทีเรีย

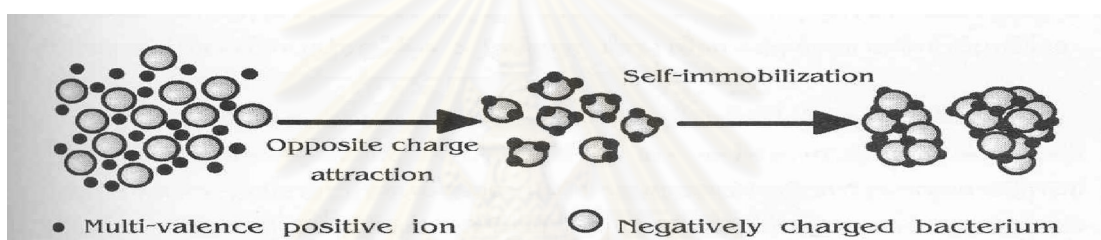
2.4.4.3 ขั้นตอนที่ 3 Microbial force ในการทำให้การรวมตัวใหญ่ขึ้นเต็มที่ ได้แก่

- 1) ผลผลิตของ extracellular polymer โดยแบคทีเรีย เช่น exopolysaccharides
- 2) การเติบโตจากการรวมตัวของเซลล์

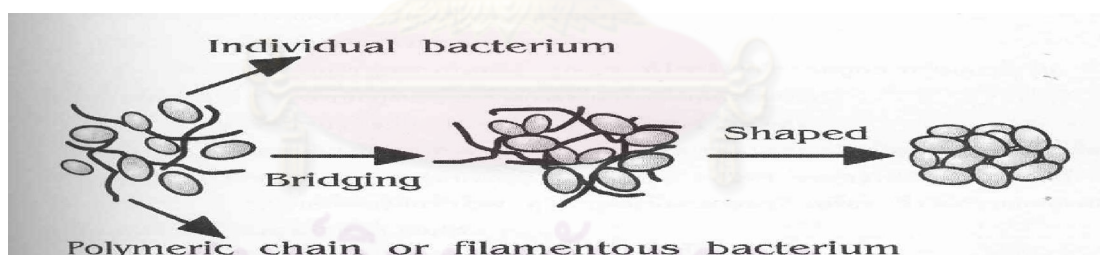
3) การเปลี่ยนแปลง metabolic และความสามารถทางพันธุกรรมที่ลดลง โดยสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เซลล์มีปฏิสัมพันธ์กันสะดวกขึ้น และเป็นผลให้โครงสร้าง microbial เรียงตัวกันสูง



รูปที่ 2.7 การเกิดตะกอนเม็ดแบบ inert nuclei model (Yu และคณะ, 2003)



รูปที่ 2.8 การเกิดตะกอนเม็ดแบบ multi-valence positive ion-bonding model (Yu และคณะ, 2003)



รูปที่ 2.9 การเกิดตะกอนเม็ดแบบ polymer or filamentous bonding model (Yu และคณะ, 2003)

2.4.5 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

Hulshoff Pol และคณะ (1983) ได้ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยได้สรุปขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้ 3 ขั้นตอนดังนี้

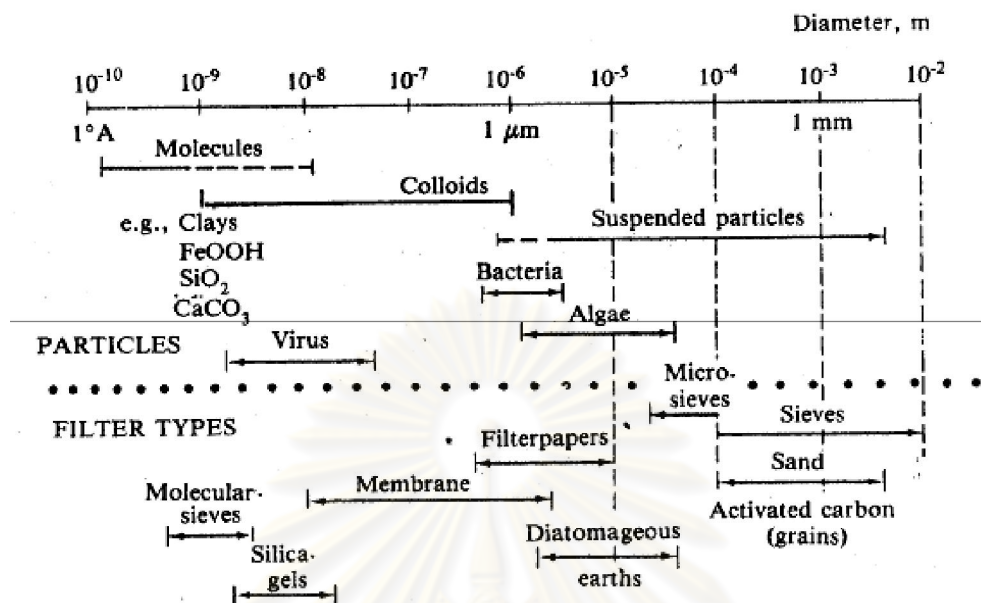
2.4.5.1 อัตรารับภาระบรรทุกสารอินทรีย์น้อยกว่า 2 กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็นขั้นตอนการเริ่มต้นของระบบ เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นแล้ว ชั้นตะกอนด้านล่างจะเกิดการขยายตัว เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสียและก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบรวมทั้งจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้น้อยลง

2.4.5.2 อัตราบำบัดระบบรุกรานอินทรีย์ 2-5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขั้นตอนนี้จะมีการสูญเสียตะกอนแขวนลอย เนื่องจากการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ทั้งนี้เพราะการเพิ่มภาระระบบรุกรานอินทรีย์ทำให้เกิดปริมาณก๊าซที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากยังคงอยู่ในระบบ และรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนที่อาจมีขนาดใหญ่ได้ถึง 5 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ของระบบ

2.4.5.3 อัตราบำบัดระบบรุกรานอินทรีย์มากกว่า 3-5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขั้นตอนนี้อัตราการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมากกว่าอัตราการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งเมื่อระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้ไปแล้ว ระบบจะรับภาระระบบรุกรานอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดของระบบที่สามารถรับได้ จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่าระบบอาจมีความสามารถในการบำบัดระบบรุกรานอินทรีย์ได้ถึง 50 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

2.5 กระบวนการตกตะกอนหรือโคแอกกูเลชัน

อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} มิลลิเมตร จนถึง 10^{-3} มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งแบคทีเรียก็จัดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้มีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองได้ ภายในเวลาที่จำกัด จึงต้องทำให้การรวมกลุ่มของอนุภาคจนเป็นก้อนขนาดใหญ่เรียกว่าฟล็อก (floc) โดยใช้สารเคมีบางอย่างทำลายเสถียรภาพ (destabilization) และสารเคมีที่ใช้เติม เรียกว่า สารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) เมื่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็น floc ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (flocculation) ฟล็อกที่เกิดขึ้นจะสามารถทำให้ตกตะกอนได้ง่าย การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ รวมตัวกันเป็นฟล็อก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่คือการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (destabilization) เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่งเป็นต้น และการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ เคลื่อนที่มากระทบกันหรือสัมผัสกันมากที่สุด (transport of colloidal particles) (อุคมศักดิ์ เจริญวิษญู, 2541)



รูปที่ 2.10 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ (มันลีน ตันทูลเวศม์, 2537)

2.5.1 การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (destabilization)

เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงผลักรวมและแรงดูดระหว่างอนุภาค แรงผลักรวมระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพเทนเชียล ส่วนแรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ถ้าแรงดูดสูงกว่าแรงผลักรวมคอลลอยด์จะไม่มีเสถียรภาพ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยหลักการกลไก 4 แบบ คือ

2.5.1.1 การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2546)

เป็นการเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ทำให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย เนื่องจากมีประจุเข้าไปอัดกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจประจุของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปไกลเท่าเดิม (รูปที่ 2.11)

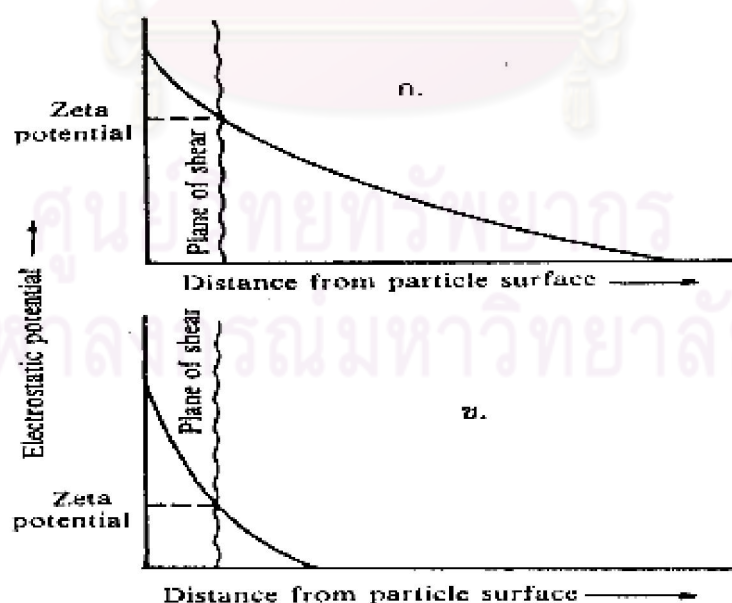
2.5.1.2 การทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

อนุภาคคอลลอยด์สามารถดูดติด (adsorb) สารเคมีบางชนิดไว้ที่ผิวได้ ถ้าสารเคมีนั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนี้นี้แตกต่างจากกลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ 3 ประการ ดังนี้

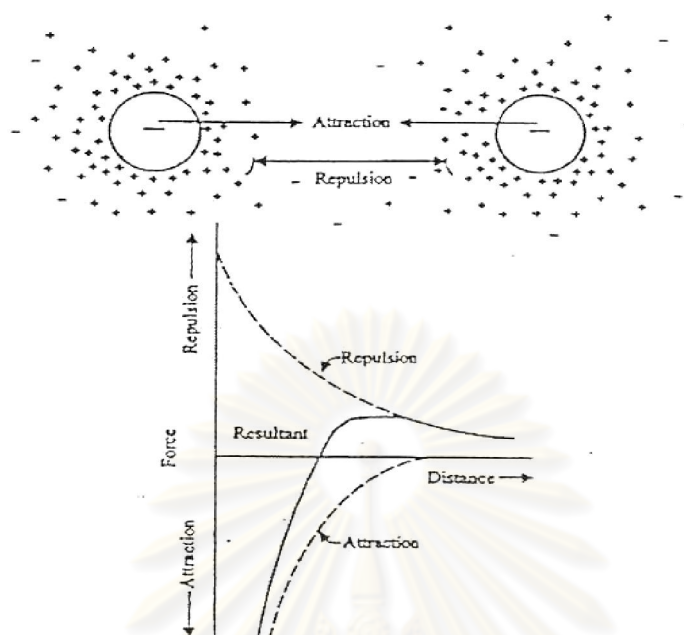
1) กลไกแบบจุดติดผิวต้องการอ้อนที่ต่างชนิดน้อยกว่าแบบแรก เนื่องจากอ้อนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวอนุภาคของคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าอ้อนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้

2) ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบจุดติดผิวนั้นเป็นแบบสโตยชิโอเมตริก (stoichiometric) ปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้จะมากหรือน้อยตามปริมาณของอนุภาคคอลลอยด์ (ที่ถูกควรเป็นพื้นที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์) แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่เป็นไปตามสโตยชิโอเมตริก

3) กลไกแบบจุดติดผิวสามารถเปลี่ยนประจุอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิมโดยการใช้สารสร้างตะกอนที่มากเกินไป โดยกลไกแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นประจุตรงกันข้าม อาจเป็นเพราะจำนวนอ้อนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกกำจัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ อ้อนต่างประจุ (สารสร้างตะกอน) ส่วนที่เดิมที่เกินพอจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้นไม่ว่าจะใช้สารสร้างตะกอนมากเท่าใดก็ไม่สามารถเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามได้ ข้อควรสังเกตเกี่ยวกับการเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ของกลไกแบบจุดติดผิว คือ การที่อ้อนต่างประจุสามารถจุดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนเป็นตรงกันข้ามย่อมแสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างอ้อนต่างกับประจุกับอนุภาคคอลลอยด์จนเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้ (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.11 ผลของการเติมอ้อนที่มีประจุตรงข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมอ้อน (ข) หลังจากเติมอ้อนแล้ว (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2537)



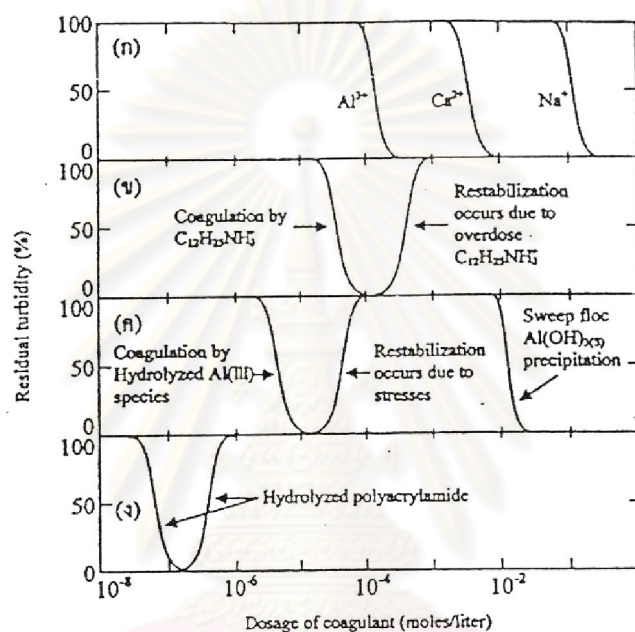
รูปที่ 2.12 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ (Samuel และ Osman, 1983)

2.5.1.3 การใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอ จะเกิดการตกผลึกลงอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนได้ สารสร้างตะกอนดังกล่าว เช่น ปูนขาว สารส้ม เฟริกคลอไรด์ และแมกนีเซียมคาร์บอเนต สามารถทำให้เกิดการโคแอกกูเลชันได้โดยการสร้าง CaCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ซึ่งล้วนแต่เป็นผลึกสาร (precipitation) ที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้มักเรียกว่าเป็น Sweep Flocc Coagulation หรือ Sweep Coagulation

กลไกที่ใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือน้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยต้องใช้สารสร้างตะกอนจำนวนมาก จึงจะเกิดการกระบวนกรโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีปริมาณสารมากอาจใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนน้อยกว่า เพราะน้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยจะมีโอกาสที่จะสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้วแต่กระบวนการโคแอกกูเลชันอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควรจึงใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนสูงเพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีปริมาณมลสารอยู่มากโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก (รูปที่ 2.13)

เนื่องจากกลไกแบบที่สามนี้ไม่จำเป็นต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาค คอลลอยด์กระบวนการ โคแอกกูเลชันจึงไม่จำเป็นต้องเกิดในขณะที่ค่าซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุดแต่ค่าที่มีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกนี้คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากความสามารถในการตกผลึกของสารต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

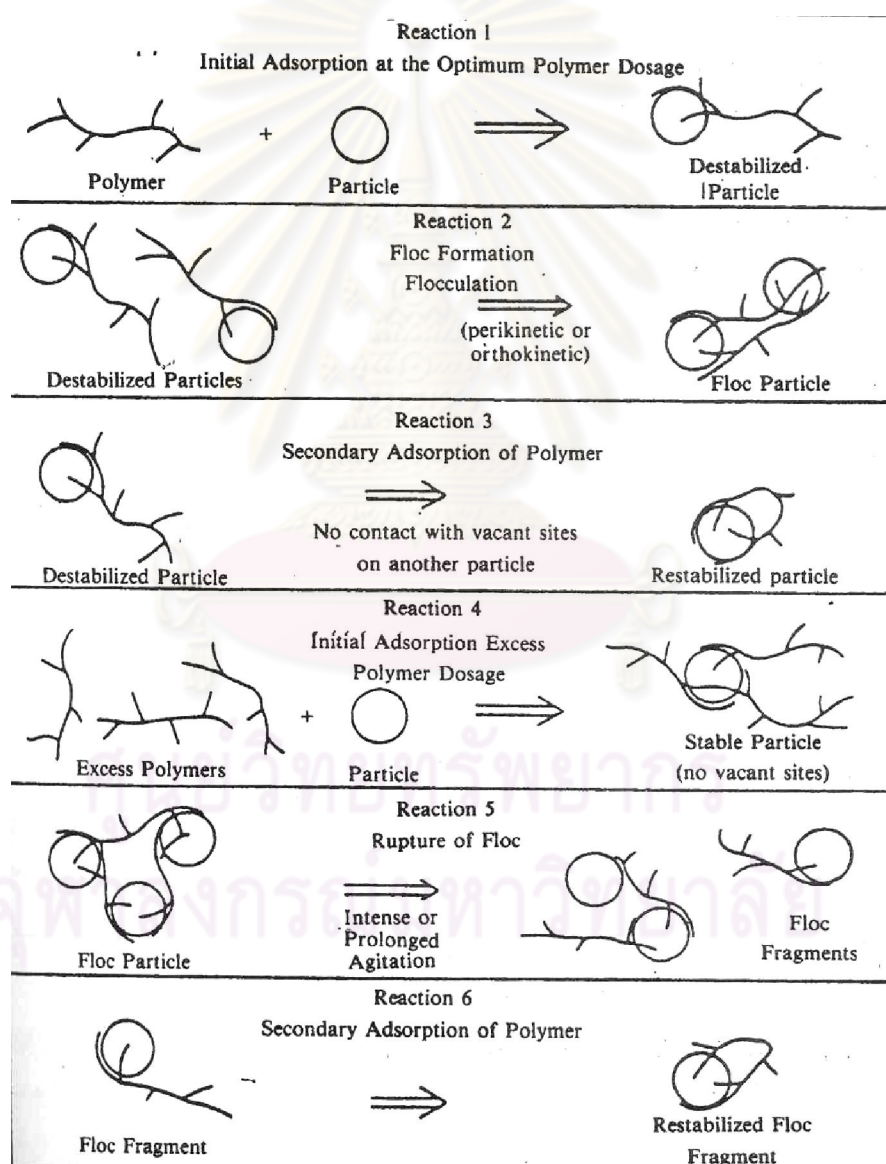


รูปที่ 2.13 การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ (Samuel และ Osman, 1983)

2.5.1.4 การใช้สารอินทรีย์พอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging)

อธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging Model (รูปที่ 2.14) โมเลกุลของสารพอลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของพอลิเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีพอลิเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับกับอนุภาคตัวอื่น ๆ โดยมีพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (ปฏิกิริยาที่ 2) การเชื่อมต่อดังกล่าวนี้สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งที่มีพอลิเมอร์และตำแหน่งว่างที่ผิวอนุภาคถ้าปลายอิสระของพอลิเมอร์ไม่มีที่สำหรับเกาะจับอนุภาคอื่น (ไม่ว่าจะเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม (ปฏิกิริยาที่ 3) ซึ่งทำให้เสียประโยชน์ 2 ประการ คือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับกับ

อนุภาคอื่น และทำให้ตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะมีน้อยลง อนุภาคที่ถูกสารพอลิเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่าง เรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) การใช้สารพอลิเมอร์มากเกินไปทำให้พอลิเมอร์หลายโมเลกุลไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของพอลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น (ปฏิกิริยาที่ 4) การกวนน้ำที่แรงเกินไปหรือนานเกินไปทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมาแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ (ปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้ปลายอิสระของพอลิเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม (ปฏิกิริยาที่ 6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่ (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2543)



รูปที่ 2.14 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยพอลิเมอร์ (Samuel และ Osman, 1983)

2.5.2 การสร้างสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Transport of Colloidal Particles) (เกียรติ พงศ์ เจริญสุข, 2546)

ขั้นตอนแรกของการทำโคแอกกูเลชัน คือ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ส่วนขั้นตอนต่อไป คือ การทำฟล็อกคูเลชัน เป็นการทำให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสหรือกระทบกัน อนุภาคที่สัมผัสกันแล้วจะต้องเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกจึงจะถือว่าเกิดฟล็อกคูเลชัน ถ้ามีการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคแต่ไม่จับตัวกันไม่ถือว่าเกิดฟล็อกคูเลชัน วิธีสร้างสัมพัทธ์ให้กับอนุภาคต่าง ๆ มีหลายวิธี ดังนี้

2.5.2.1 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้น การกวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่าง ๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น วิธีสร้างสัมพัทธ์แบบนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า ฟล็อกคูเลชันแบบออร์โธไคเนติก (Orthokinetic Flocculation) อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกคูเลชันแบบออร์โธไคเนติกควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

2.5.2.2 การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเป็นการเคลื่อนที่แบบอาศัยความร้อน การสัมผัสระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนหรืออาศัยความร้อนนี้เรียกว่า ฟล็อกคูเลชันแบบเพอริไคเนติก (Perikinetic Flocculation) การเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลดังกล่าว สามารถสร้างสัมพัทธ์ให้กับคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 0.1-1 ไมครอนเท่านั้น

2.5.2.3 การสัมผัสระหว่างอนุภาคเนื่องจากการตกตะกอน เกิดขึ้นจากการตกตะกอนที่มีอัตราความเร็วในการตกตะกอนไม่เท่ากันของอนุภาคนขนาดต่าง ๆ ฟล็อกคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูเลชันแบบนี้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

2.5.2.4 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟล็อกคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมพัทธ์แบบออร์โธไคเนติก แต่อาจเกิดช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสมีน้อย การใช้เครื่องกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมพัทธ์และบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกัน แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีขีดจำกัดวิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล.

2.5.2.5 ในกรณีที่คอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอน แต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสน้ำใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

ความสำคัญของทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเท่าเทียมกัน และต้องมีทั้ง 2 ขั้นตอนจึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันจะเกิดเกือบสมบูรณ์เมื่อสารเคมีละลายน้ำได้หมด โดยในขั้นแรกจะเกิดตะกอนขนาดเล็กและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น เนื่องจากการลดประจุไฟฟ้าของอนุภาค และการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) จากนั้นจึงส่งเข้ากระบวนการฟล็อกกูเลชัน เพื่อกวนช้า ๆ ให้อนุภาคมาชนกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถแยกออกได้ง่าย (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

การที่จะแยกอนุภาคออกจากของเหลวได้นั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้การแยกโดยตกตะกอน แต่ถ้าแยกอนุภาคออกโดยการตกตะกอนและอาศัยแรงดึงดูดของโลกแล้ว ขนาดของอนุภาคที่จะแยกต้องมีขนาดใหญ่พอและตกตะกอนได้ง่าย จึงทำให้ต้องอาศัยกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันร่วมกัน

แรงที่กระทำต่ออนุภาค นอกจากแรงดึงดูดของโลกแล้วยังมีแรง electrostatic และ interionic ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาคจนไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้นจึงต้องใส่สารเคมี (coagulant) ลงไปเพื่อลดแรงที่กระทำที่ผิวโดยประจุไฟฟ้า ทำให้อนุภาคสามารถมาสัมผัสและรวมตัวกันให้ใหญ่ขึ้นได้ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

2.6 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันเรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) หรืออาจเรียกว่า ฟล็อกกูแลนต์ (Flocculant) สารเคมีซึ่งช่วยทำให้โคแอกกูแลนต์มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant Aid) หรือฟล็อกกูแลนต์เอ็ด (Flocculant Aid) (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2546) สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ เช่น โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) เป็นสารตัวใหม่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสะดวกในการใช้งานมีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตัวตะกอนสูง ตกตะกอนเร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็วและละลายน้ำได้ดีแต่ราคาค่อนข้างสูง การใช้ปูนขาว (Lime) เพื่อให้เกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งวิธีนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อลดค่าซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอยได้ด้วย ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าซีโอดีควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการเลือกใช้สารเคมีเพื่อลดต้นทุนและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543) ในปัจจุบันสารสร้างตะกอนจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

2.6.1 กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

เมื่อเติมสารสร้างตะกอนในกลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ลงในน้ำโมเลกุลของมันจะแตกตัวออกเป็นอลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และสารประกอบเชิงซ้อนจำนวนมาก (Complexion) อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ที่ใช้อยู่มีหลายชนิด เช่น

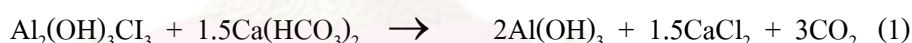
2.6.1.1 Aluminium Sulphate ($Al(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) หรือสารส้ม (Alum) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Filter alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) ซึ่งละลายน้ำก็ได้

2.6.1.2 Liquid Alum จะมี Water-Soluble Alumina (Al_2O_3) อยู่ 5.8-8.5% ราคาถูกกว่าชนิดแรก

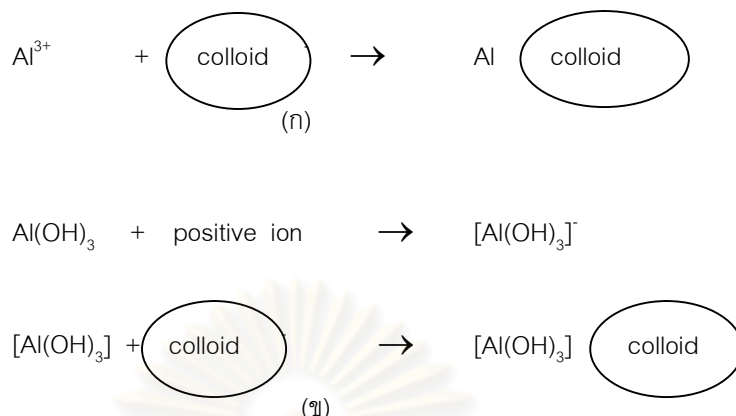
2.6.1.3 Sodium Aluminate ประกอบด้วย Al_2O_3 ซึ่งทำให้อยู่ตัวด้วย NaOH สารตัวนี้ไม่ใช่โคค ๑ มักใช้คู่กับสารส้มเพื่อให้ได้ผลที่ดี

2.6.1.4 Activated Silica มักใช้ร่วมกับ Alum ทำให้การตกตะกอนเกิดได้เร็วขึ้น

2.6.1.5 Polyaluminium Chloride (PAC) เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าโคแอกกูแลนต์ตัวอื่น ๆ สร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็วขึ้นน้อยกว่า เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีสูตรโมเลกุลเป็น $[Al_n(OH)_mCl_{3-n-m}]$ ($n=2, 2.7, m=3.9, 1.0$) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



$Al(OH)_3$ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำเหมือนกับสารส้มคือ แตกตัวให้ Al^{3+} ซึ่งจะรวมกับอนุภาคคอลลอยด์และทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ได้ นอกจากนี้ Al^{3+} ยังทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็น $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นตะกอนเล็กสามารถรวมตัวกับอนุภาคอื่นที่มีประจุบวก เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวก เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกไปจับกันกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นตะกอนใหญ่ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กลไกการทำงานของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2532)

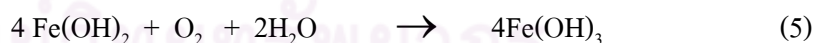
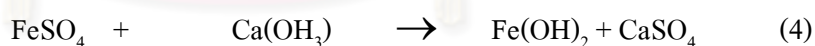
(ก) Al^{3+} รวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่

(ข) Al(OH)_3 รวมกับอนุภาคที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนใหญ่

2.6.2 กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหรือไอออนโคแอกกูแลนต์ (สวีณา เกตุสุวรรณ, 2543)

ไอออนโคแอกกูแลนต์จะทำงานในสภาวะที่มีพีเอชต่ำกว่าอลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ และสามารถทำงานในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า คือ 4-11 นอกจากนี้ Fe(OH)_3 floc ยังหนักกว่า Al(OH)_3 floc ทำให้ตกตะกอนได้เร็วกว่าไอออนโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่

2.6.2.1 Ferrous sulphate (FeSO_4) FeSO_4 จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็น Fe(OH)_3 ในสภาวะที่เป็นพีเอชสูงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ถ้าพีเอชต่ำกว่า 8.5 ดังนั้นจึงมักเติมปูนขาวลงไปดังสมการ

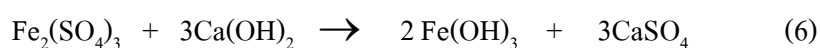


โดยทั่วไป FeSO_4 มักใช้คู่กับปูนขาวในการกำจัดน้ำกระด้างและตกตะกอนเหล็กและแมงกานีส

2.6.2.2 Ferric Sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ละลายได้ดีในน้ำอุ่น และจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือปูนขาวที่เติมลงไป เกิดเป็น Fe(OH)_3 floc ในกรณีของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อออกซิไดส์ตามทฤษฎี



ดังสมการที่ 6



โดยทั่วไป Ferric coagulation จะทำงานที่พีเอชต่ำกว่าเกลือของอลูมิเนียม และสามารถใช้ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าคือตั้งแต่ 4-11 ที่พีเอชต่ำ Ferric coagulant ใช้ได้ดีในการกำจัดสีและที่พีเอชสูง ๆ Ferric coagulant ก็ใช้ได้ดีในการกำจัดเหล็ก แมงกานีสซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี นอกจากนี้ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ flocc ยังหนักกว่า $\text{Al}(\text{OH})_3$ flocc และตกตะกอนได้เร็วกว่า

ข้อดีของ Ferric coagulant เปรียบเทียบกับ Aluminium coagulant คือ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ flocc จะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูง ๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องใช้เวลาที่พีเอชสูงทำให้เปลืองค่าจึงมักใช้กับน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวเท่านั้น

2.6.2.3 Ferric chloride (FeCl_3) มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้ามีความเข้มข้นอยู่ด้วย FeCl_3 จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ในน้ำเกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$

การที่เกลือของเหล็กและอลูมิเนียมเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตกตะกอน เพราะมีคุณสมบัติในการตกตะกอนคอลลอยด์ได้มากกว่าตัวอื่น ทั้งนี้เพราะการตกตะกอนของคอลลอยด์มีผลโดยอ้อม ของอิเล็กโตรไลต์ที่เติมลงไปมีประจุตรงกันข้ามของอนุภาคคอลลอยด์และผลที่เกิดขึ้นจากอออนเหล่านั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุบนตัวของมัน

2.6.3 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือปูนขาวผลึกน้ำ เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอน ผลึกความสามารถละลายน้ำได้น้อยทำให้เกิดตกตะกอนผลึกในรูปหินปูน การเก็บรักษาจึงค่อนข้างยุ่งยาก การป้อนปูนขาวผลึกน้ำ จะต้องให้ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) ข้อดีในการใช้ปูนขาวผลึกน้ำ คือ มีราคาถูก เมื่อเติมลงไปน้ำ จะทำปฏิกิริยากับด่างและฟอสฟอรัสที่มีอยู่กลายเป็นสารตัวใหม่ตกตะกอนชะพาเอาสารแขวนลอยตกลงมาด้วย ดังสมการ



จากสมการ 8 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียได้ด้วย

2.6.3.1 พอลิเมอร์ (Polymer)

สารเคมีที่นำมาใช้เป็นสารฟล็อกคูแลนต์เอ็ดได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ ในปัจจุบันฟล็อกคูแลนต์เอ็ดที่นิยมใช้กันมากที่สุดเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่างๆ เรียกว่า พอลิเมอร์ (Polymer) หรือ โพลีอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) สารพอลิเมอร์เป็นลูกโซ่ของสารโมโนเมอร์หลาย ๆ ตัวเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ พอลิเมอร์อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ เช่น อาจมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่เพียงไม่กี่ร้อยไปจนถึงระดับที่สูงกว่าสิบล้าน เป็นต้น (เกียรติพงษ์ เจริญสุข, 2546)

การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ตามประจุมีดังนี้ คือ พอลิเมอร์ประจุบวก (cationic polymer) พอลิเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) และพอลิเมอร์ไม่มีประจุ (nonionic polymer) ประจุของพอลิเมอร์เหล่านี้เกิดขึ้นจาก Functional group ต่าง ๆ หลายชนิด เช่น คาร์บอกซิลซัลโฟเนต เป็นต้น (อุดมศักดิ์ เกียรติวิชัย, 2541)

ชนิดของพอลิเมอร์ (อุดมศักดิ์ เกียรติวิชัย, 2541) การจัดหมวดหมู่สารพอลิเมอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบตามคุณสมบัติและประโยชน์ใช้งานกล่าวคือ อาจแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิด โครงสร้างหรือขนาดของโมเลกุลหรือแบ่งตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล เป็นต้น

1) แบ่งตามประจุที่อยู่บนสายพอลิเมอร์ (Polymer Chain) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1.1) สารพอลิเมอร์ที่ให้ประจุบวก (Cationic Polymer) คือ สารพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีประจุบวกซึ่งมีหลายรูปแบบ ได้แก่

- 1.1.1) โพลีเอมีน
- 1.1.2) โพลีเอทีลีนควอเทอร์นารี
- 1.1.3) แคทไอออนิกไซยานามีน
- 1.1.4) คาโบโมอิลพอลิเมอร์แคทไอออน
- 1.1.5) โพลีแอลฟาไวไนลไมดาโซลีน
- 1.1.6) โพลีไดอัลลิเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์
- 1.1.7) ไดมัทอะมีโนอัลคิลอะครีลิก
- 1.1.8) เมทาไซคลิกเอสเทอร์พอลิเมอร์
- 1.1.9) เอ็นอัลคิลอะมีโนอัลคิลอะครีลาไมน์พอลิเมอร์

1.2) สารพอลิเมอร์ที่ให้ประจุลบ (Anionic Polymer) คือ สารพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีประจุลบโดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงสูง มักใช้เป็นสารรวมตะกอน พอลิเมอร์ที่มีประจุลบมากและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจายตะกอนในสารละลาย (dispersants) รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลทไอออน ได้แก่ พวกพอลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิเลทและพวกพอลิเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟนิคแอซิด

1.3) สารพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ (Nonionic Polymer) คือ สารพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุทำให้เกิดการรวมตะกอนโดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตัวอย่างสารพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน ได้แก่ โพลีเอทีลีนออกไซด์ โพลีอะครีลาไมด์ และโพลีไวนิลไพโรไลโดนอน มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

1.4) สารพอลิเมอร์ที่มีทั้งประจุบวกและลบ (Polyampholytes) คือ สารพอลิเมอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีทั้งกลุ่มที่มีสภาพเป็นกรดและเบส มักจะให้ประจุบวกที่พีเอชต่ำ ให้ประจุลบที่พีเอชสูง และเป็นกลางทางประจุที่บางค่าพีเอช

2) แบ่งตามแหล่งกำเนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1) สารพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น เซลลูโลส (cellulose), เจลาติน (gelatin) และแป้ง (starch) เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุ โดยมีลักษณะโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันในทางปฏิบัตินิยมใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำ

2.2) สารพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เป็นการนำเอาโมโนเมอร์หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกันและสามารถจัดการสังเคราะห์ขึ้นให้ได้ตรงตามที่ต้องการ โดยสามารถทำให้ได้ขนาดที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ที่แตกต่างกันและสามารถกำหนดกลุ่มประจุรวมทั้งจำนวนประจุ (charge density) ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังสามารถจัดการเกี่ยวกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ให้เป็นแบบเส้นตรงหรือกิ่งก้านสาขาได้

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน (มันสิน ตัญญาเวศม์, 2542)

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้

1) ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2) ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

3) พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดพีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดีจึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี

4) ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอนมีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า K_{sp} (หรือค่าคงที่ในการละลาย) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} มันจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้นปริมาณสารที่ช่วยในการ

ตกตะกอนจึงต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่

5) เวลาและความแรงของการผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำได้อย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำอย่างรวดเร็วด้วยเวลาที่สั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ดี ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องให้เกิดการรวมตัวของตะกอนจำเป็นต้องในการกวนอย่างช้า ๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตกแต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสมาสัมผัสกันได้มากที่สุด

2.8 พอลิเมอร์ (Polymer) ที่ใช้ในงานทดลองนี้

สาร polymer Praestol 852 BC เป็น polymer ชนิดประจุบวก ใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน (coagulant aid) ในงานทดลองนี้ โดย Praestol 852 BC ถูกใช้ในกระบวนการ dewatering และ thickening sludge ทั้งสำหรับน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรม Praestol 852 BC นี้มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างเป็น polyacrylamide ลักษณะเป็นเม็ดสีขาว มีประสิทธิภาพในทุกช่วงพีเอช

โดยมีองค์ประกอบดังนี้

1-Propanaminium, N,N,N-trimethyl-3-[(1-oxo-2propenyl)aminol]-, chloride, polymer with 2-propenamode

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียอาหารทะเลโดยระบบยูเอเอสบี

Punal และ Lema (1999) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปลากระป๋องโดยใช้ระบบยูเอเอสบีขนาด 380 m³ โดยการเพิ่มค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ จาก 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ไปจนถึง 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้ระยะเวลาพักน้ำ 2 วันและเพิ่มค่าการะบรทุกสารครั้งละ 50% ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 2 วัน และมีค่าอัตราส่วนสภาพต่างปานกลางต่อสภาพต่างทั้งหมดน้อยกว่า 0.3 และในการปรับเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นจาก 0.5 ถึง 0.8 ม./ชม. พบว่าที่ความความเร็วไหลขึ้นสูงสุดไม่เกิดการหลุดของเม็ดตะกอนออกจากระบบและสามารถเลือกค่าความเร็วไหลขึ้นที่เหมาะสมเท่ากับ 0.7 ม./ชม.

Palenzuela-Rollon และคณะ (2002) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียในระบบยูเอเอสบีโดยการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋อง กำหนดค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ 5-8 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 11-12 ชั่วโมงใน

การบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันสูง (47% ของ ค่า ซีโอดี ทั้งหมด) ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 92% และเปลี่ยนเป็นมีเทน ได้ 47%

กุกา พิมจักร (2546) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดยูเอเอสบี – แอน็อกซิก – แอโรบิกในการบำบัดน้ำเสียจากสะพานปลา โดยศึกษาผลของการเติมเชื้อที่มีการคัดเลือกสายพันธุ์และความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบยูเอเอสบี พบว่าในระบบที่เติมเชื้อที่มีการคัดเลือกสายพันธุ์และระบบไม่มีการเติมเชื้อ มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ 84.2 เปอร์เซ็นต์ และ 77.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในส่วนของการเพิ่มค่าความเร็วไหลขึ้นพบว่าระบบยูเอเอสบีที่มีการเติมเชื้อมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เท่ากับ 90.5 เปอร์เซ็นต์

Babis และคณะ (2004) ศึกษาผลกระทบของแอมโมเนียความเข้มข้นสูงต่อระบบบำบัดยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าการบริสุทธิสารอินทรีย์ 1.2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และมีความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนในช่วง 1000 – 6000 มก./ล. พบว่าระบบบำบัดยูเอเอสบียังมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 78 – 96 เปอร์เซ็นต์ ในการกำจัดซีโอดี และ แอมโมเนีย มีผลกระทบต่อ แบคทีเรียกลุ่ม acetogenic มากกว่ากลุ่ม methanogenic

Ismail และคณะ (2010) ศึกษา Extracellular polymeric substances (EPS) ในระบบบำบัดยูเอเอสบีที่เดินระบบในภาวะที่มีความเค็มสูง โดยการเติม สารตัวกลาง กลุ่มอะซิเตท เจลลาติน และ แป้ง ลงในระบบบำบัดยูเอเอสบี โดยการเติมสารตัวกลาง 3 ชนิดลงในระบบสร้างเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ แข็งแรง และมีการสร้าง EPS มากกว่าระบบที่มีการเติมสารตัวกลางกลุ่มอะซิเตทเพียงอย่างเดียว

2.9.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

Hulshoff Pol และคณะ (1983) ได้ศึกษากระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการและได้รายงานว่า ในการศึกษากระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากเป็นขบวนการทางพลศาสตร์ แต่ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2-5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ของตะกอนจุลินทรีย์ จะเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดและเมื่อมีการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดในถังหมักเล็กน้อย จะมีผลให้ Methanogenic Activity เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดที่เพิ่มให้ จะเป็นตัวนำในการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด และพบว่าแคลเซียมที่ความเข้มข้น 150 มิลลิเมตร ต่อลิตร จะทำให้การตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดดีขึ้น ที่สำคัญเขากล่าวว่า จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่า น้ำเสียที่ได้จากการ กลั่นสุรา (Distillery Waste) Rendering Waste และ Com-starch Waste เมื่อใช้เดินระบบยูเอเอสบี สุดท้ายจะเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดได้แต่ก็มีปัญหา

Schulze และคณะ (1988) ได้รายงานถึงความสำเร็จในการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดของระบบยูเอเอสบี ที่มี Gelatine เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียและเป็นแหล่งของคาร์บอน แต่ในสภาพของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ NH_4^+ สูง จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ขนาดเล็กและมีความหนาแน่นต่ำ

Chen และ Lun (1993) ได้ศึกษากลไกการเกิดตะกอนเม็ดในระบบยูเอเอสบี พวกเขาตั้งนิยามว่า ขั้นตอนแรกของการเกิดตะกอนเม็ดคือ การเกิดนิวเคลียส (Formation of Nuclei) โดยแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในการเกิดนิวเคลียส ได้แก่ Methanosarcina และ Methanothrix หลังจากนั้นความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะทำหน้าที่เป็นตัวคัดเลือกสายพันธุ์ และแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆ จะเข้ามาเจริญเติบโตร่วมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกสายพันธุ์ที่เป็นแบบต้องเจริญร่วมกัน (Syntrophic Microorganisms)

Kato (1994) ได้ศึกษาการหมุนเวียนน้ำกลับในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยระบบยูเอเอสบีกล่าวว่าในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นน้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ด้วยระบบยูเอเอสบี พบว่าระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำจะให้ปริมาณก๊าซน้อย ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียได้ไม่ดี ส่งผลให้อัตราการแพร่ของสารอาหารช้ากว่าอัตราการใช้สารอาหารในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ชั้นนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เท่านั้นที่จะเจริญเติบโต ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงใหญ่ขึ้นแต่มีโพรงอยู่ภายในส่งผลให้การทำงานของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่ำลง และเกิดการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เนื่องจากลอยตัวจากก๊าซที่สะสมในโพรงอากาศนั้น ความเร็วของการไหลขึ้นของถังยูเอเอสบีที่เหมาะสมต้องทำให้เกิดการผสมอย่างเพียงพอ และไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายให้กับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หรือพัฒนาให้ตะกอนเม็ดลอยออกจากระบบ

Mamouni, Leduc และ Guiot (1998) ได้ศึกษาผลของการเติม Percol 763 และไคโตแซนลงในระบบบำบัดยูเอเอสบีเทียบกับถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่ไม่เติมพอลิเมอร์ซึ่งเป็นถังปฏิกรณ์ควบคุมพบว่าถังที่มีการเติมพอลิเมอร์ไคโตแซนจะมีประสิทธิภาพการเกิดเม็ดตะกอนที่ดีกว่า Percol 763 และไม่เติมพอลิเมอร์เลยตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการสร้างเม็ดตะกอนที่เหนือกว่าของไคโตแซนอาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้าง polysaccharide ของไคโตแซน ซึ่งมีหน้าที่เหมือนกับ Extracellular polymeric substance (ECP) ซึ่งเป็นสารพื้นฐานในโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน และยังพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเติมพอลิเมอร์ประจำบวกลคือ 2 มิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งแขวนลอย

Yu และคณะ (1999) ศึกษาผลของการเติมอนุภาคเนื้อเยื่อสองชนิด คือ granular activated carbon (GAC) และ powdered activated carbon (PAC) ขนาด 0.4 และ 0.2 มิลลิเมตร

ตามลำดับ โดยเติมปริมาณ 1500 มิลลิกรัม/ลิตร เพียงครั้งเดียวในช่วงเริ่มต้นระบบ พบว่าใช้ระยะเวลาในการสร้างตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์สั้นกว่าถึงควบคุมที่ไม่ได้เติมอนุภาคเฉื่อย 35 และ 30 วันตามลำดับ

Teo, Xu, และ Tay (2000) ได้ทดลองสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในห้องทดลองเพื่อยืนยันทฤษฎีที่เสนอโดย Tay และคณะ พวกเขาพบว่าความสามารถในการเปลี่ยนถ่ายโปรตอน (Proton Translocating Activity) บนผิวของแบคทีเรียเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ นอกจากนี้พบว่าตะกอนเกิดขึ้นหลังจากทดลอง 45 วัน

Yu และคณะ (2001a) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมในการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี โดยทดลองเติม $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หลายค่า ตั้งแต่ 150 ถึง 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเขาพบว่าการเติมแคลเซียม 150 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด

Yu และคณะ (2001b) ได้ศึกษาผลของการเติม AlCl_3 ในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี ซึ่งเขาทำการทดสอบ โดยถึงปฏิกรณ์ใบแรกไม่เติม AlCl_3 ส่วนถึงปฏิกรณ์ใบที่สองเติมที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการเติม AlCl_3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถพบในถังที่เติม AlCl_3 ได้เร็วกว่า และขนาดเม็ดตะกอนเฉลี่ยมีขนาดใหญ่กว่าถังที่ไม่เติม AlCl_3

Jeong และคณะ (2005) กล่าวว่า การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบให้มีความเข้มข้นสูงเป็นสิ่งสำคัญของการบำบัดสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน การสร้างตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในลักษณะเม็ดเป็นวิธีที่ดี แต่มีข้อจำกัดคือ ใช้เวลามากกว่า 6 เดือน จึงจะเกิดเป็นเม็ดตะกอนที่คงตัว และจากการทดลองเติมพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเมอร์อินทรีย์และอนินทรีย์ลงในตะกอนพบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดตั้งแต่ 1-5 มิลลิเมตรและมีค่าความเร็วในการจมตัวสูงกว่าเม็ดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจริง เมื่อเม็ดตะกอนในการเดินระบบคงตัว ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าสูงถึง 90% ที่อัตราบำบัดขยะอินทรีย์สูงสุด 18 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษา ผลของการเติมพอลิเมอร์ประจุบวกต่อการสร้างเม็ดตะกอนของระบบบำบัดยูเอเอสบีโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล ทำการติดตั้งชุดการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ 1701 ชั้นที่ 17 ตึกมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้อุปกรณ์แบบยูเอเอสบีจำนวน 3 ถังมีลักษณะเหมือนกัน โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1.1 ช่วงเตรียมการทดลอง

- 1) การเตรียมอุปกรณ์และติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 2) การศึกษาลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์และเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 ช่วงดำเนินการทดลอง

- 1) การศึกษาหาความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่เหมาะสม
- 2) ทำการเดินระบบและตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
- 3) ทำการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

การทดลองนี้ใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีความสูงของส่วนย่อยสลาย 2 เมตร จำนวน 3 ถัง มีปริมาตรกักเก็บน้ำทั้งหมด 4 ลิตร ทำจากท่ออะคริลิกใส ด้านบนมีชุดอุปกรณ์แยกสามสถานะ ซึ่งทำจากท่อพีวีซี ด้านข้างของท่ออะคริลิกใสติดตั้งวาล์วเก็บตัวอย่างตะกอนตามความสูงของถัง รายละเอียดดังรูปที่ 3.1

3.2.2 ถังพักน้ำเสีย

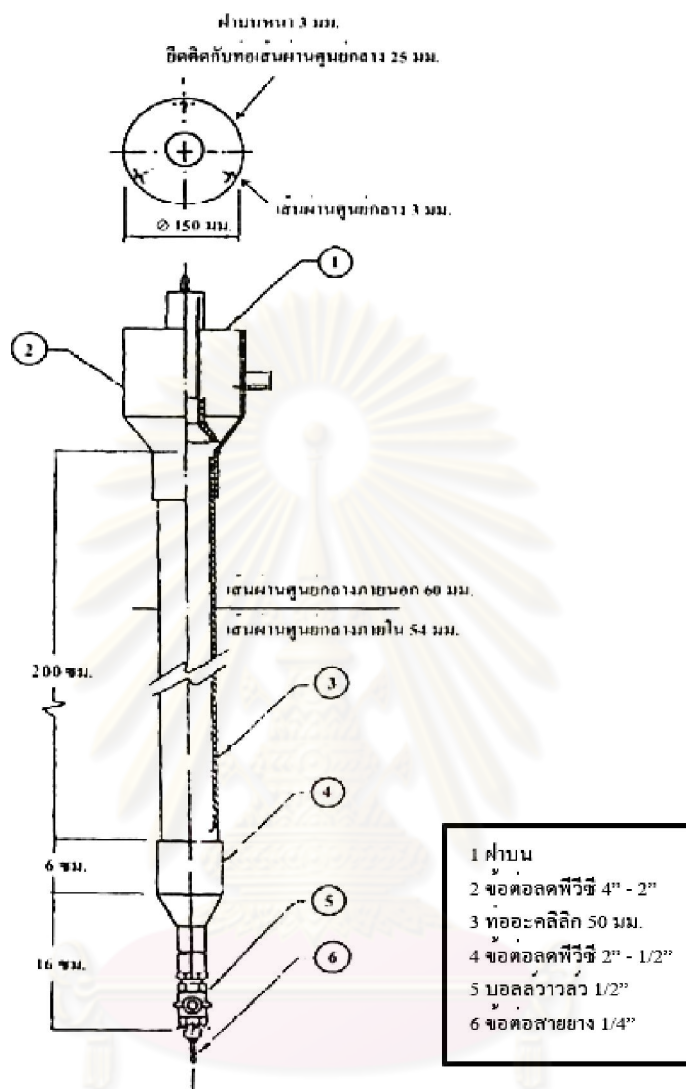
- 1) ถังพักน้ำเสียเข้าสู่ระบบ เป็นถังพลาสติกขนาด 40 ลิตร จำนวน 3 ถัง
- 2) ถังพักน้ำเสียออกจากระบบ เป็นถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร จำนวน 3 ถัง

3.2.3 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์

เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ จะเป็นเครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm Pump สูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง จำนวน 3 เครื่อง โดยต่อเข้ากับถังปฏิกรณ์ชุดละ 1 เครื่อง

3.2.4 อุปกรณ์เก็บและวัดปริมาณก๊าซ

อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากระบบจะต่อเข้ากับท่อนำก๊าซจากระบบยูเอเอสบี โดยใช้หลักแทนที่น้ำ ปรับ pH น้ำให้ต่ำกว่า 3 เพื่อป้องกันการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

3.3 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ

ทำการติดตั้งถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี เนื่องจากแสงแดดมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวซึ่งจะสังเคราะห์แสงและผลิตก๊าซออกซิเจนขึ้นในระบบจึงต้องนำถุงพลาสติกสีดำคลุมส่วนย่อยสลายเพื่อป้องกันแสงส่องผ่าน บริเวณริมระเบียงชั้น 17 อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งทำการติดตั้งระบบยูเอเอสบี ดังรูปที่ 3.2 โดยมีหลักการทำงานดังนี้

- 1) น้ำเสียในถังพักน้ำเสียเข้า จะถูกสูบเข้าทางตอนล่างของถังปฏิกรณ์ แบบไหลต่อเนื่อง
- 2) น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์ จะไหลออกทางตอนบน ไปยังถังพักน้ำทิ้ง
- 3) แก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ จะไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะ ไปยังอุปกรณ์

วัดปริมาณแก๊ส



รูปที่ 3.2 ลักษณะการติดตั้งระบบยูเอเอสบี

3.4 ขั้นตอนและวิธีทดลอง

3.4.1 การศึกษาลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์

ในการทดลองนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge) ชนิดแอนแอโรบิกสลัดจ์ (Anaerobic Sludge) จากระบบยูเอเอสบีของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล นำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและชีวภาพ ได้แก่ ลักษณะของตะกอน ขนาดและโครงสร้างของตะกอน จุลินทรีย์ ค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน และค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหย (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid, MLVSS) เพื่อใช้ในการศึกษาทดลองขั้นต่อไป

3.4.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียจริง โดยนำน้ำเสียมาจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่ผ่านกระบวนการตกเศษปลาและดักไขมันแล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียเบื้องต้นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลเบื้องต้น

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	6.74 ± 0.075
ค่าความเค็ม (ppt)	2.71 ± 0.15
ซีโอดี (mg/l)	4397 ± 761
ทีเคเอ็น (mg/l)	576.78 ± 32.14
ไนเตรต (mg/l)	11.37 ± 1.6
ของแข็งแขวนลอย (mg/l)	4219.1 ± 425

3.4.3 พอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นพอลิเมอร์ประจุบวก เนื่องจาก เซลล์ของผิวแบคทีเรียส่วนใหญ่จะมีประจุลบ ดังนั้นการใช้พอลิเมอร์ประจุบวกน่าจะมีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ โดยพอลิเมอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ Praestol 852 BC คุณสมบัติเป็นประจุบวก นิยมใช้ในกระบวนการรวมตะกอนและทำให้สลัดจ์เข้มข้น ลักษณะทางกายภาพคือเป็นผงสีขาวดังรูปที่ 3.3 มีมวลโมเลกุลสูง สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกช่วงพีเอช



รูปที่ 3.3 พอลิเมอร์ Praestol 852 BC

3.4.4 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่เหมาะสม โดยวิธี Jar Test

การหาความเข้มข้นในการเติมพอลิเมอร์ที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ใช้วิธี Jar Test โดยทำการศึกษาปริมาณพอลิเมอร์ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ไม่เติมพอลิเมอร์, เติมพอลิเมอร์ 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อกรัมวีเอสเอส ตามลำดับ และใช้ความเข้มข้นของตะกอนหัวเชื้อ 10 กรัมวีเอสเอสต่อลิตร จากนั้นทำการละลายพอลิเมอร์ให้มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมกับตะกอนหัวเชื้อ จากนั้นเติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิตร ทำเช่นเดียวกันทุกความเข้มข้นพอลิเมอร์ หลังจากนั้นทำการกวนเร็วด้วยความเร็ว 120 รอบ/นาที นาน 5 นาที ตามด้วยกวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที นาน 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำใสมาวัดความขุ่นและพิจารณา SV30 ของ Flocculated Biomass

แล้วเปรียบเทียบผลและเลือกปริมาณพอลิเมอร์ที่เหมาะสม ค่าความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่เลือก จะถูกนำไปใช้ในการทดลองขั้นถัดไป การทดลองที่ 3.3.1 แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดลองที่ 3.3.1

3.4.3 การศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี

เมื่อได้ความเข้มข้นพอลิเมอร์ที่เหมาะสมแล้ว ทำการผสมพอลิเมอร์เข้ากับตะกอนจุลินทรีย์ตามค่าความเข้มข้นที่เลือกมา 2 ค่า เพื่อนำไปเป็นตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบยูเอเอสบี โดยให้ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เป็นชุดปฏิบัติการควบคุม ไม่มีการเติมพอลิเมอร์ และอีกสองชุดทำการเติมพอลิเมอร์ผสมกับตะกอนจุลินทรีย์ตามค่าที่เลือกมาตามลำดับ โดยเติมตอนเริ่มต้นระบบเพียงครั้งเดียว จากนั้นนำตะกอนไปส่งในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดประมาณ 20 กรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อลิตร และเริ่มทำการสูบน้ำเสียจริงเข้าระบบอย่างต่อเนื่องที่อัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 8 ลิตรต่อวัน ระยะเวลากักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention time, HRT) เท่ากับ 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 15 วันเพื่อปรับสภาพ โดยเริ่มสูบน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่ำก่อนแล้วจึงค่อยเพิ่มค่าซีโอดีให้ได้ตามที่กำหนด หลังจากนั้นเริ่มการทดลองเดินระบบตามค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ที่กำหนดไว้โดยแบ่งการออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง ดังนี้

ช่วงการทดลองที่ 1 ทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 45 วัน โดยทุกถังปฏิบัติการกำหนดค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเท่ากับค่าซีโอดี 500 มก./ล. ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำตลอดช่วงการทดลอง และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางชีวภาพ และการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบเมื่อสิ้นสุดช่วงการทดลอง

ช่วงการทดลองที่ 2 ทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 90 วัน โดยเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 2, 4, 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเท่ากับค่าซีโอดี 1000, 2000 และ 3000 มก./ล. ตามลำดับทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำตลอดช่วงการทดลอง และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางชีวภาพ และการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบเมื่อสิ้นสุดช่วงการทดลองเช่นเดียวกับช่วงการทดลองที่ 1 วิธีการศึกษาสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี

Reactor	ปริมาณพอลิเมอร์ที่	ค่าOLR ช่วงการทดลองที่ 1	ค่าOLR ช่วงการทดลองที่ 2		
	เติม (มก./ก.วีเอสเอส)	(45วัน) (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	(90วัน) (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)		
1	0	1	2	4	6
2	6	1	2	4	6
3	8	1	2	4	6

3.5 การเดินและการควบคุมระบบ

3.5.1 การเดินระบบ

ระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์โดยตรง ซึ่งการป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างโดยตรง มีข้อเสียที่สำคัญคือ ในกรณีที่น้ำเสียในถังพักน้ำเสียหมดลง จะทำให้มีการสูบอากาศเข้าสู่ระบบได้ ซึ่งจะเป็นการนำออกซิเจนเข้าไปในถังปฏิกรณ์ทำให้เกิดผลเสียต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องหาทางป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้น โดยจะต้องมีปริมาณน้ำเสียในถังพักให้เพียงพอต่อการทำงานของระบบ

3.5.2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

ในงานวิจัยนี้เมื่อเริ่มทำการเดินระบบ จะต้องทำการวัดอัตราการสูบน้ำของปั๊มสูบน้ำให้ได้ตามที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ต้องหมั่นสังเกต ปริมาณน้ำในถังพักน้ำเสียเข้าระบบที่หมดในแต่ละวัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินอัตราการสูบน้ำของปั๊มสูบน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อทำการทดลองไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง อัตราการสูบน้ำเสียของเครื่องสูบน้ำจะลดลง เพราะเกิดเมือกสารอินทรีย์หรือแบคทีเรียเกาะติดด้านในของสายยางที่ใช้ จึงต้องทำการล้างหรือเปลี่ยนสายยางเมื่อเกิดการอุดตัน

3.5.3 สภาพแวดล้อมทางกายภาพ

ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่สำคัญ ที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบคือ แสงสว่างและอุณหภูมิ เนื่องจากถ้าแสงสว่างสามารถส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้ จะทำให้เกิดตะไคร่น้ำขึ้นบริเวณผนังด้านในของถังปฏิกรณ์ โดยตะไคร่น้ำนี้จะสังเคราะห์แสงและผลิตออกซิเจนออกมาภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องป้องกันไม่ให้แสงสว่างส่องผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ได้ โดยการใช้ถุงพลาสติกสีดำ คลุมรอบถังปฏิกรณ์ด้านนอกที่ทำจากอะคริลิกใส และจะต้องคลุมในลักษณะที่สามารถแกะหรือเปิดออกได้ง่าย เพื่อให้สามารถตรวจลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ได้โดยง่าย

การควบคุมอุณหภูมิ จะทำในกรณีที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิลดลงกว่า สภาพอากาศปกติทั่วไป ซึ่งอุณหภูมิที่ลดต่ำมากจะมีผลกระทบโดยตรง ต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทมิโซฟิลิก โดยจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส และเนื่องจากสภาพอากาศของกรุงเทพ โดยทั่วไปแล้วจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ต่อการทำงานของแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนประเภทมิโซฟิลิกอยู่แล้ว ดังนั้นปัจจัยด้านอุณหภูมิจึงไม่มีผลกระทบมากนัก

3.6 การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ค่าพารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง คัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก มั่นสิน ตันฑุลเวศน์ (2543) และ จันทิมา สกุลพานิชย์ (2548) แสดงดังตารางที่ 3.3 ตารางที่ 3.3 แสดงพารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
พีเอช	pH Meter	A
อุณหภูมิ	Thermometer	A
โออาร์พี	เครื่องวัด ORP	A
ซีโอดี	Close Reflux	A
บีโอดี	บ่มที่อุณหภูมิ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เวลา 5 วัน	C
ทีเคเอ็น	วิธี Kjeldahl	B
ไนเตรต	Brucine Method	B
สภาพด่างทั้งหมด	Direct Titration Method	C
กรดไขมันระเหย	Direct Titration Method	C
ของแข็งแขวนลอย	กรองด้วยกระดาษ GF/C	C
ปริมาตรแก๊สทั้งหมด	วัดปริมาตรแก๊สแบบแทนที่น้ำ	C
ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน	SMA(Specific Methanogenic Activity)	E
ขนาดและโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	SEM (Scanning Electron Microscope)	E
การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	Particle Size	D
ความเร็วในการตกตะกอน	การจับเวลา	E
เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน	GC (Gas Chromatography)	E

- *หมายเหตุ
- A คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง
 - B คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 2 ครั้ง
 - C คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง
 - D คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์เดือนละ 1 ครั้ง
 - E คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์หลังสิ้นสุดช่วงการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาหาความเข้มข้นพอลิเมอร์ที่เหมาะสมโดยวิธี Jar Test

การศึกษานี้ใช้บีกเกอร์ในการทำ Jar Test ทั้งหมด 7 ใบ โดยมีตัวแปรที่แตกต่างกันคือความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่เติมลงไปในการทำ Jar Test โดยปริมาณพอลิเมอร์มีตั้งแต่ ไม่เติมพอลิเมอร์, เติมพอลิเมอร์ 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 มก./ก.วีเอสเอส ซึ่งเป็นบีกเกอร์ใบที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ หลังจากตกตะกอนในบีกเกอร์นำส่วนน้ำใสในบีกเกอร์ทั้ง 7 ใบ นำไปหาค่าความขุ่นพบว่าบีกเกอร์ใบที่ 1 ซึ่งไม่ได้เติมพอลิเมอร์ มีค่าความขุ่นเท่ากับ 131.5 NTU บีกเกอร์ใบที่ 2 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 82 NTU บีกเกอร์ใบที่ 3 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 63.5 NTU บีกเกอร์ใบที่ 4 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 49.5 NTU บีกเกอร์ใบที่ 5 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 37 NTU บีกเกอร์ใบที่ 6 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 32.5 NTU และบีกเกอร์ใบที่ 7 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 32 NTU แสดงดังรูปที่ 4.1

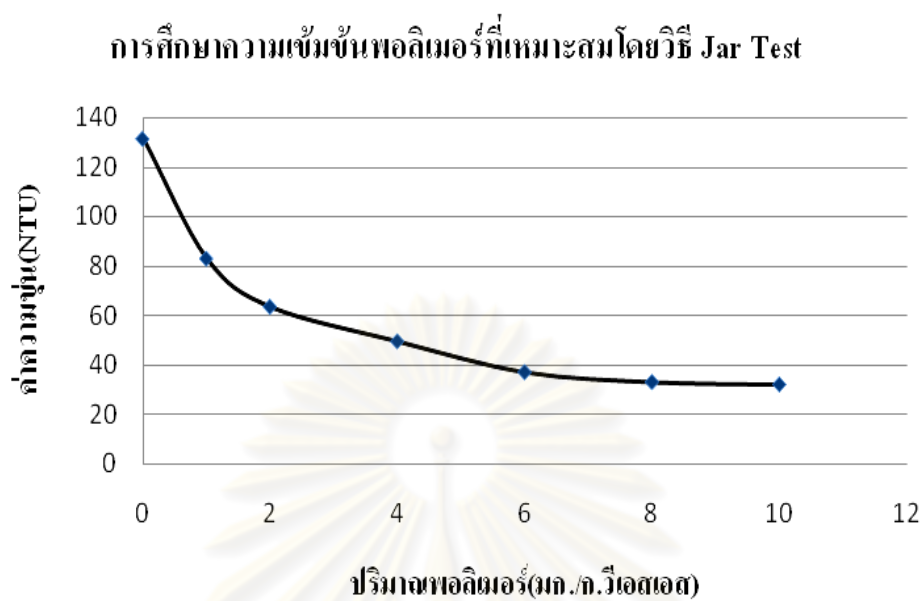
จากนั้นนำไปหาค่า SV30 โดยการเทใส่กรวยกรวยอิมฮอฟฟ์ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่าบีกเกอร์ใบที่ 1 ซึ่งไม่ได้เติมพอลิเมอร์ มีค่า SV30 เท่ากับ 475 มล. บีกเกอร์ใบที่ 2 มีค่า SV30 เท่ากับ 460 มล. บีกเกอร์ใบที่ 3 มีค่า SV30 เท่ากับ 440 มล. บีกเกอร์ใบที่ 4 มีค่า SV30 เท่ากับ 375 มล. บีกเกอร์ใบที่ 5 มีค่า SV30 เท่ากับ 350 มล. บีกเกอร์ใบที่ 6 มีค่า SV30 เท่ากับ 355 มล. และบีกเกอร์ใบที่ 7 มีค่าความขุ่นเท่ากับ 350 มล แสดงดังรูปที่ 4.2

เมื่อได้ค่า SV30 นำตะกอนที่ได้ไปหาขนาดและการกระจายตัวของตะกอนโดยเครื่อง Particle Size Analyzers โดยพิจารณาจากค่าขนาด D_{50} ที่วัดได้ดังตารางที่ 4.1

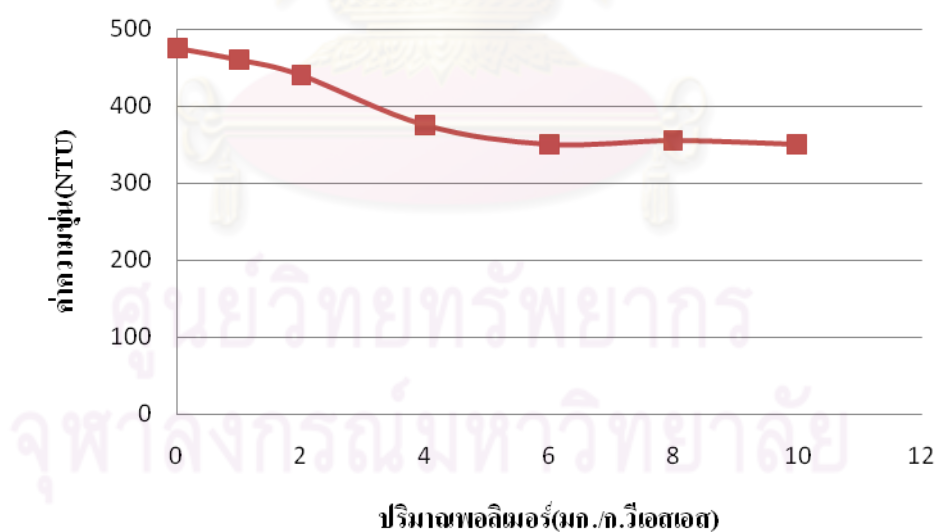
ตารางที่ 4.1 ขนาดของเม็ดตะกอนที่ปริมาณพอลิเมอร์ต่างๆ

ปริมาณพอลิเมอร์ (มก./ก.วีเอสเอส)	0	1	2	4	6	8	10
D_{50} (μm)	61.20	66.96	86.84	165.88	261.03	307.54	277.20

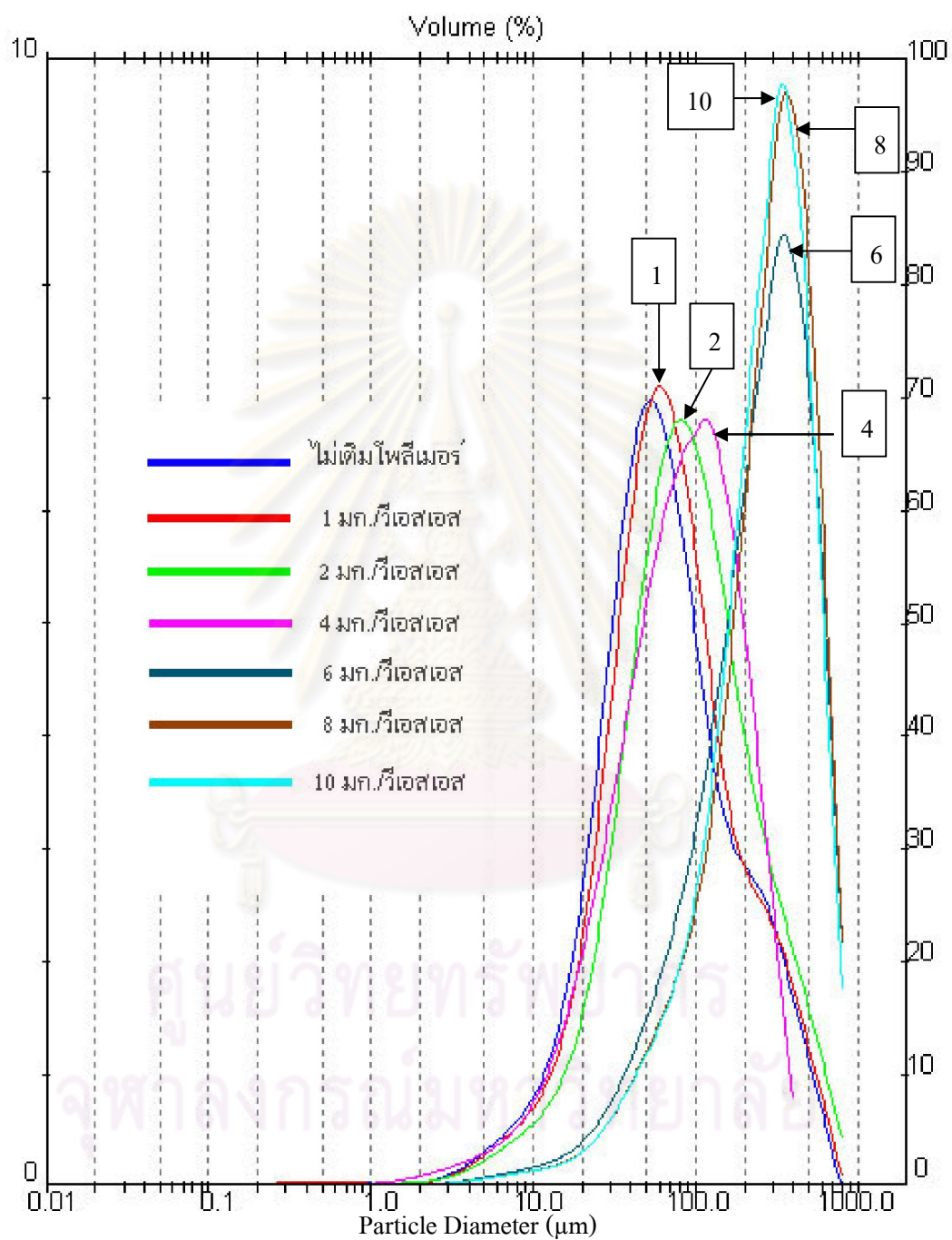
จากค่าความขุ่น ค่า SV30 พบว่าค่าทั้งสองแปรผกผันกับปริมาณพอลิเมอร์ที่มากขึ้นและการเติมปริมาณพอลิเมอร์ที่มากขึ้นทำให้เกิดการจมตัวของตะกอนดีขึ้น ในส่วนของความขุ่น จากภาพที่ 4.1 ค่าความขุ่นเริ่มคงตัวที่ปริมาณพอลิเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส เช่นเดียวกับค่า SV30 ส่วนขนาด D_{50} ของตะกอนแปรผันตามปริมาณการเติมพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นและเริ่มคงตัวที่ 6 มก./ก.วีเอสเอสเช่นกัน ทำให้สามารถเลือกค่าปริมาณพอลิเมอร์สองค่าที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นถัดไปคือ 6 และ 8 มก./ก.วีเอสเอส เพื่อผสมกับตะกอนในการเดินระบบยูเอสบี



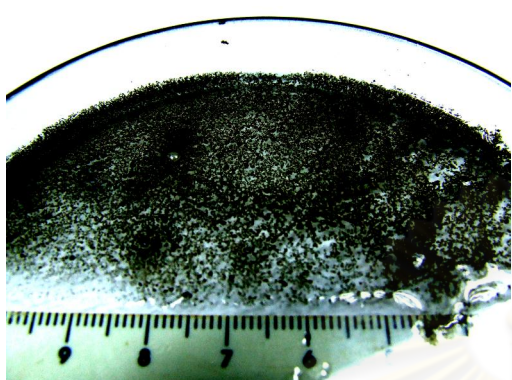
รูปที่ 4.1 การศึกษาความเข้มข้นพอลิเมอร์ที่เหมาะสมโดยวิธี Jar Test



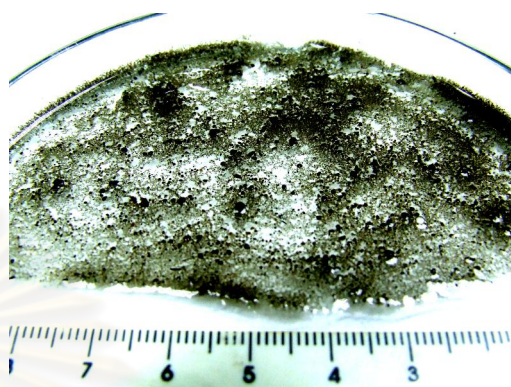
รูปที่ 4.2 ค่า SV30 ที่ปริมาณพอลิเมอร์ต่างๆ



รูปที่ 4.3 ขนาดของเม็ดตะกอนเมื่อเติมโพลีเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ



ก.



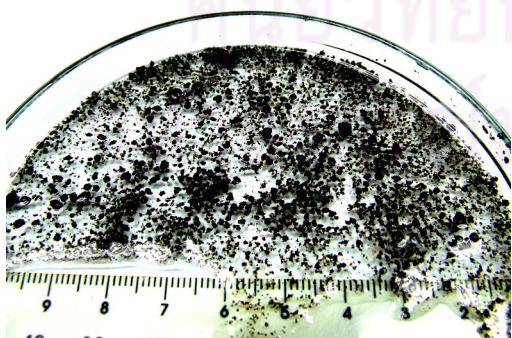
ข.



ค.



ง.



จ.



ฉ.



ช.

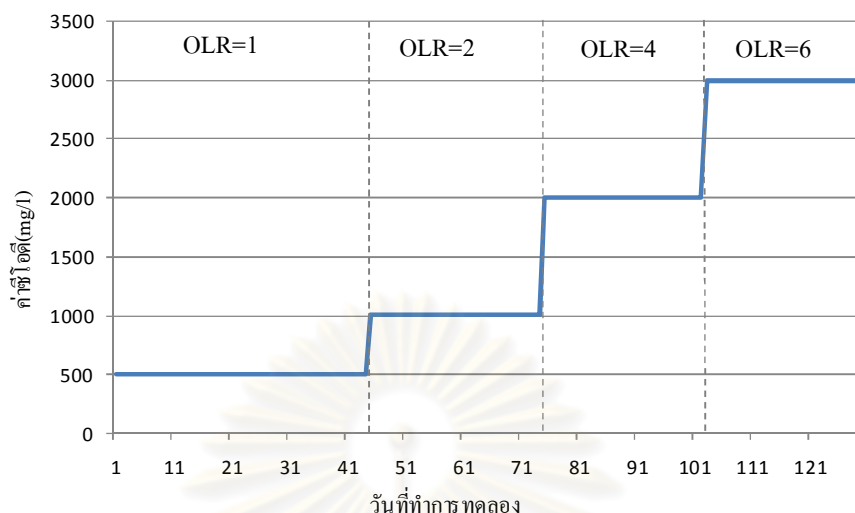
- ก. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 1 ไม่เติมพอลิเมอร์
- ข. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 2 เติมพอลิเมอร์ 1 มก./ก.วีเอสเอส
- ค. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 3 เติมพอลิเมอร์ 2 มก./ก.วีเอสเอส
- ง. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 4 เติมพอลิเมอร์ 4 มก./ก.วีเอสเอส
- จ. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 5 เติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส
- ฉ. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 6 เติมพอลิเมอร์ 8 มก./ก.วีเอสเอส
- ช. ตะกอนจุลินทรีย์ในบีกเกอร์ใบที่ 7 เติมพอลิเมอร์ 10 มก./ก.วีเอสเอส

รูปที่ 4.4 ลักษณะของตะกอนหลังจากการทำ Jar Test

4.2 ผลของการเติมพอลิเมอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอสบี

การทดลองในหัวข้อนี้ จะเป็นการเดินระบบระยะยาวโดยเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นไปเรื่อยๆ ตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบ(Start Up)ในช่วง 2 เดือนแรก จนถึงช่วงสิ้นสุดการเดินระบบ โดยจะค่อยๆเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ตามแต่ความสามารถที่ระบบจะรับได้ทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ การเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีจำนวน 3 ถัง โดยมีตัวแปรที่แตกต่างกันคือ ปริมาณของพอลิเมอร์ ซึ่งปริมาณของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้นั้น ได้มาจากการทดลองหาความเข้มข้นพอลิเมอร์โดยวิธี Jar Test

ปริมาณในการเติมพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน คือตัวแปรที่แตกต่างกันของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ โดยถังที่ 1 ไม่มีการเติมพอลิเมอร์ ถังที่ 2 เติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส และถังที่ 3 เติมพอลิเมอร์ 8 มก./ก.วีเอสเอส โดยทำการผสมพอลิเมอร์เข้ากับตะกอนก่อนใส่ในระบบ



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตะกอนหัวเชื้อที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากถังย่อยสลายแบบไร้อากาศของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล จะมีความเข้มข้นของตะกอนหัวเชื้อเท่ากับ 42500 มก.วีเอสเอส/ล. โดยจะใส่ตะกอนหัวเชื้อลงไปถังปฏิกรณ์ เป็นจำนวน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนย่อยสลายของถังปฏิกรณ์

-จึงทำให้ความเข้มข้นของตะกอนหัวเชื้อในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 21250 มก.วีเอสเอส/ล. ซึ่งเท่ากับ 23500 มก.เอสเอส/ล. หรือเท่ากับ 23.5 ก.เอสเอส/ล. เท่ากันทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์

4.2.1 พีเอช

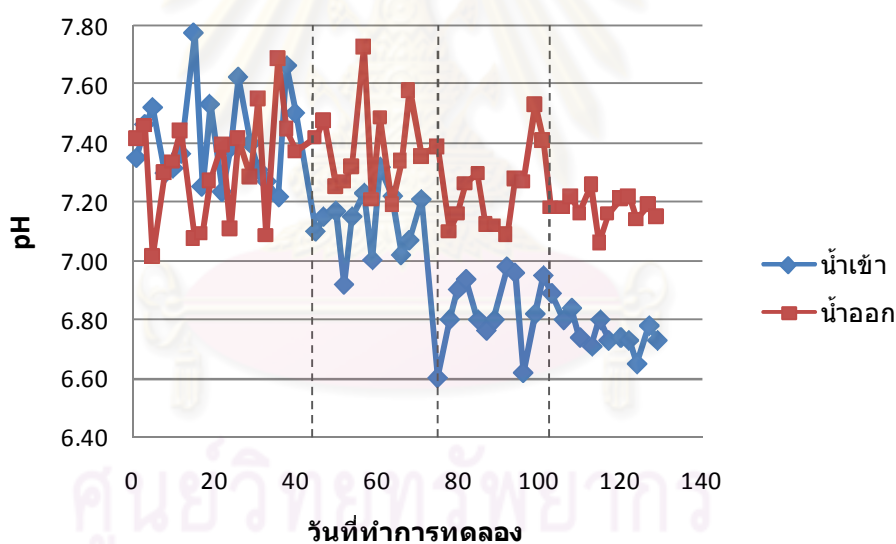
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังมาจากแหล่งเดียวกันตลอดช่วงการทดลอง ซึ่งทำการปรับให้มีค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเข้าระบบ 1, 2, 4 และ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วันตามลำดับ

โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อรับภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วง 45 วันแรกเท่ากับ 7.42 น้ำออกจากระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.32 ช่วงวันที่ 45 ถึงวันที่ 129 น้ำเข้าระบบมีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 7.13 ในน้ำออกเท่ากับ 7.39 มีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 6.83 ในน้ำออกเท่ากับ 7.25 และมีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 6.76 ในน้ำออกเท่ากับ 7.18

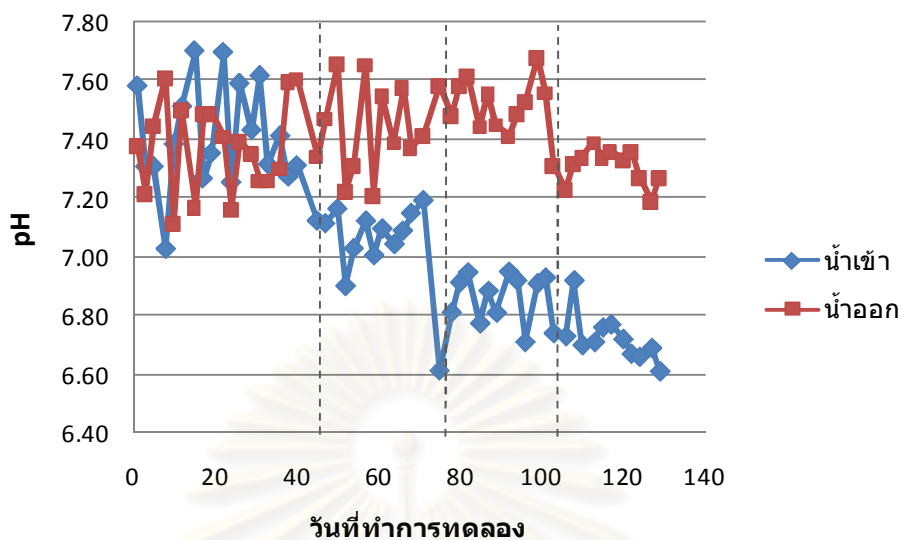
ถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อรับภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วง 45 วันแรกเท่ากับ 7.41 น้ำออกจากระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.38 ช่วง

วันที่ 45 ถึงวันที่ 129 น้ำเข้าระบบมีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 7.09 ในน้ำออกเท่ากับ 7.43 มีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 6.85 ในน้ำออกเท่ากับ 7.53 และมีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 6.72 ในน้ำออกเท่ากับ 7.31

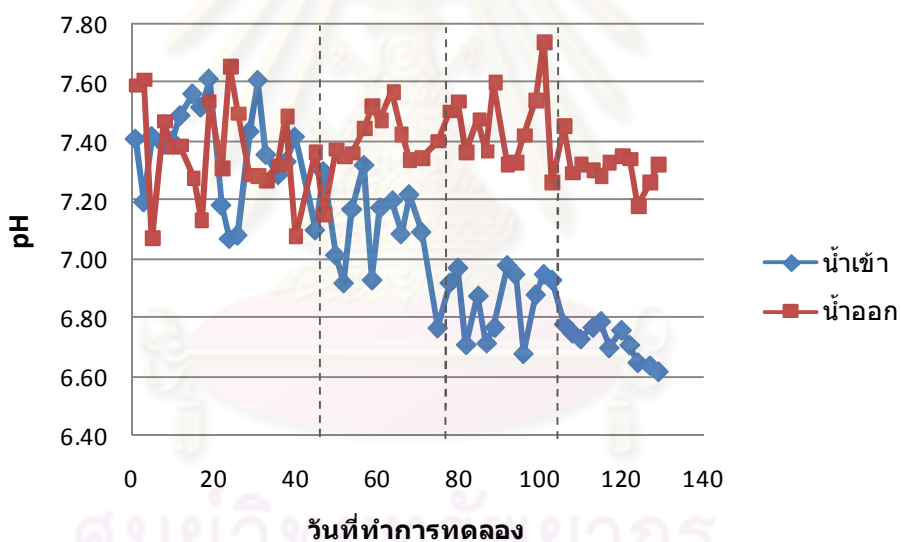
ถึงปฏิบัติการที่ 3 เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วง 45 วันแรกเท่ากับ 7.38 น้ำออกจากระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.37 ช่วงวันที่ 45 ถึงวันที่ 129 น้ำเข้าระบบมีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 7.13 ในน้ำออกเท่ากับ 7.39 มีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 6.85 ในน้ำออกเท่ากับ 7.47 และมีพีเอชเฉลี่ยตลอดช่วงของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 6.74 ในน้ำออกเท่ากับ 7.31



ก. พีเอชของถังปฏิบัติการที่ 1



ข. พิเศษของถังปฏิบัติการที่ 2



ค. พิเศษของถังปฏิบัติการที่ 3

รูปที่ 4.6 พิเศษการเดินระบบตลอดช่วงระยะการทดลอง

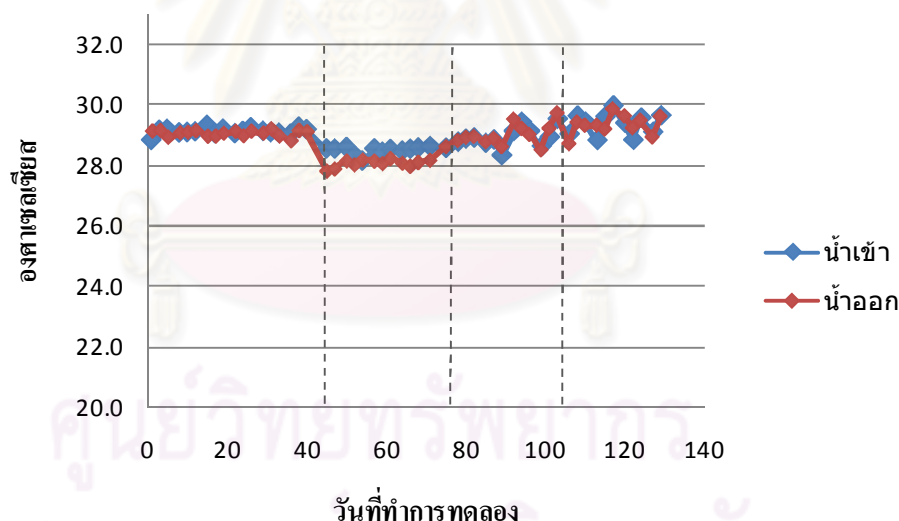
จากรูปที่ 4.6 ในช่วงแรกของการเริ่มต้นระบบค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าพีเอชของน้ำเข้าเล็กน้อย เนื่องจากระบบอยู่ในช่วงปรับสมดุล หลังจากผ่านช่วง 20 วัน ระบบเริ่มมีค่าพีเอชคงที่และสูงกว่าค่าเฉลี่ยน้ำเข้า เมื่อผ่านเข้าสู่ช่วงการทดลองที่ 2 มีการเพิ่มค่าการบรรทุสารอินทรีย์ ระบบยังสามารถรักษาระดับพีเอชไว้ให้คงที่ เนื่องจากระบบมีกำลังบำบัดเพียงพอต่อการรักษาสมดุลของระบบ และอยู่ในช่วง 6.8 - 8.2 ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่

เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในช่วงการทดลองที่ 2 ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าระบบที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์มีความสามารถในการรักษาระดับพีเอชในระบบต่ำกว่าระบบที่เติมพอลิเมอร์

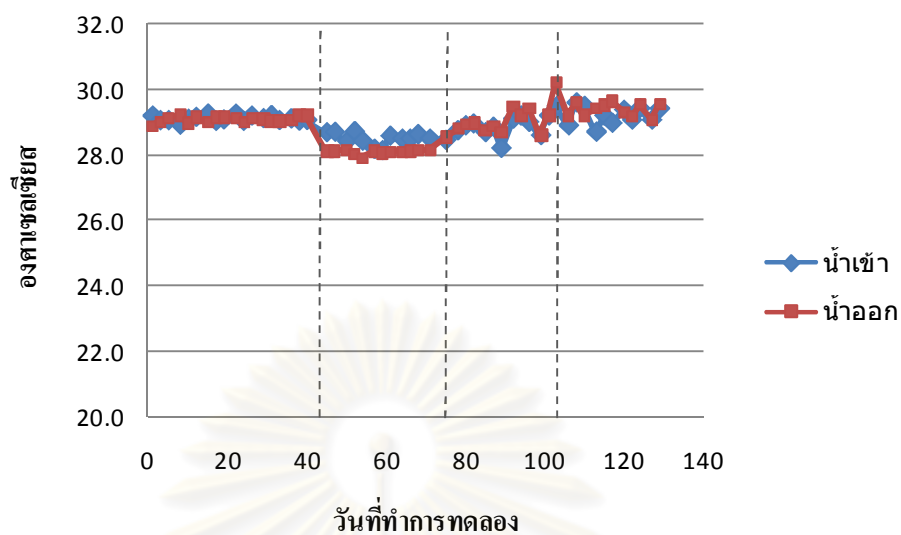
4.2.2 อุณหภูมิและโออาร์พี

4.2.2.1 อุณหภูมิ

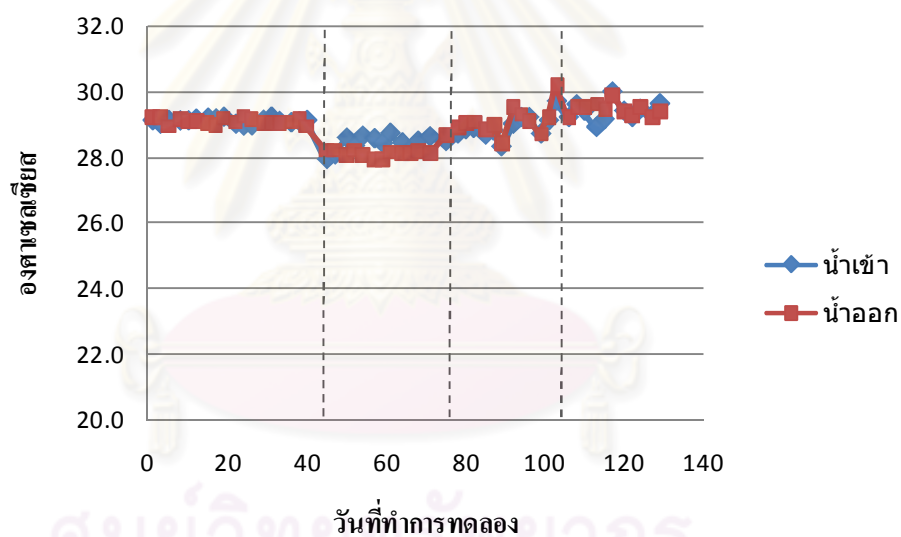
การทดลองนี้ติดตั้งถังปฏิกรณ์อยู่ในบริเวณเดียวกัน โดยทำการติดตั้งชุดการทดลองที่ระเบียบของห้องปฏิบัติการ 1701 ชั้นที่ 17 ตึกมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์จึงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลองของ ถังปฏิกรณ์ที่ 1 น้ำเข้าเท่ากับ 28.93 องศาเซลเซียส น้ำออกเท่ากับ 28.84 องศาเซลเซียส ถังปฏิกรณ์ที่ 2 น้ำเข้าเท่ากับ 28.91 องศาเซลเซียส น้ำออกเท่ากับ 28.89 องศาเซลเซียส และถังปฏิกรณ์ที่ 3 น้ำเข้าเท่ากับ 28.93 องศาเซลเซียส น้ำออกเท่ากับ 28.92 องศาเซลเซียส



ก. อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข. อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่ 2



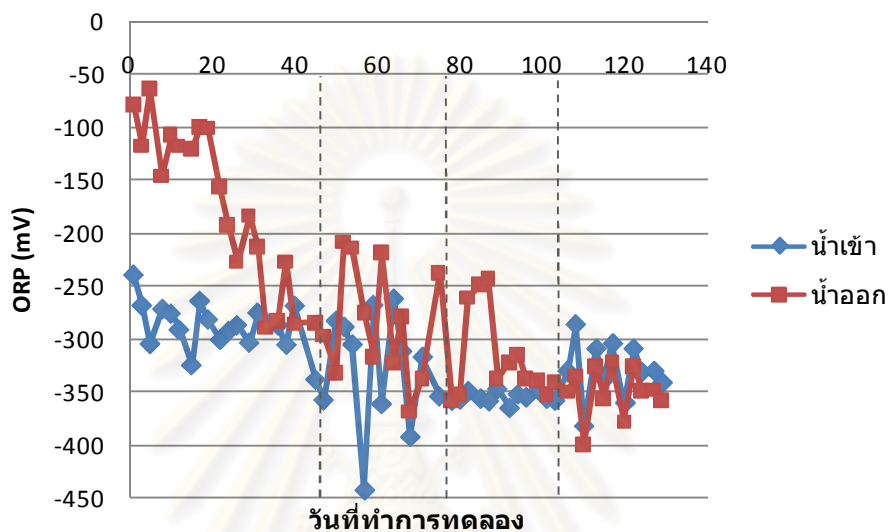
ค. อุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ที่ 3

รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของการเดินระบบตลอดช่วงเวลากการทดลอง

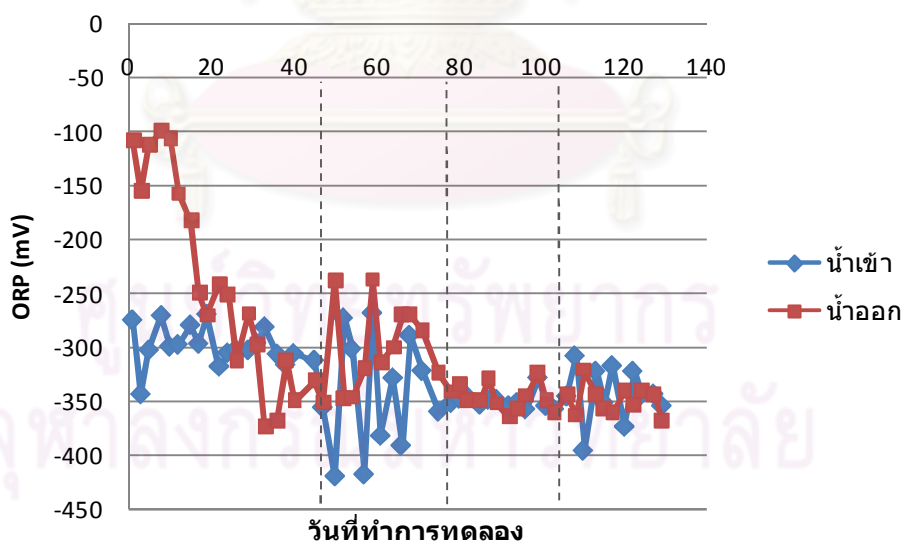
จากรูปที่ 4.7 อุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ โดย มีค่าอยู่ระหว่าง 28 – 31 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วง Mesophilic

4.2.2.2 ค่าโออาร์พี

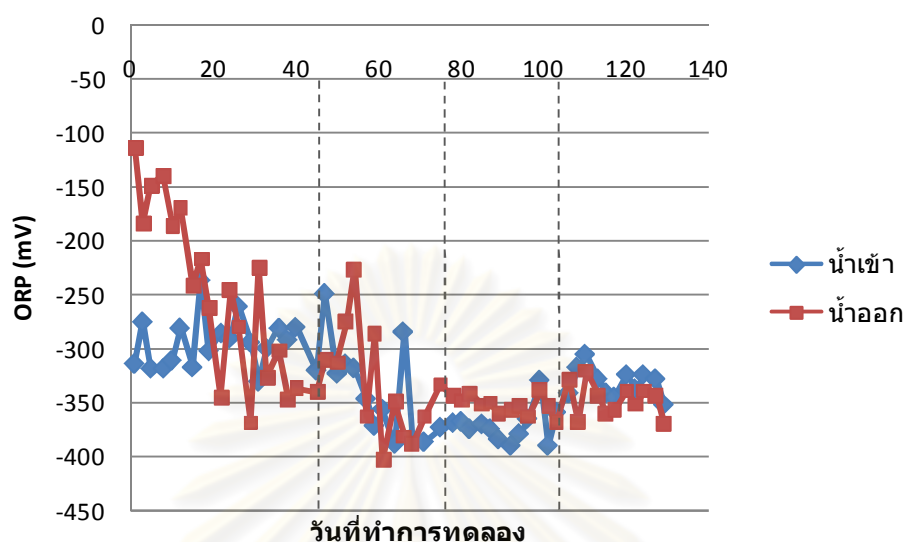
ในการทดลองนี้ค่าโออาร์พีในน้ำเข้าและน้ำออกในทุกชุดการทดลองมีค่าเป็นลบ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -250 ถึง -350 แสดงให้เห็นถึงการเกิดกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในถังปฏิกรณ์ แสดงค่าโออาร์พีตลอดการทดลองดังรูปที่ 4.8



ก. ค่าโออาร์พีของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข. ค่าโออาร์พีของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค. ค่าโออาร์พีของถังปฏิบัติการที่ 3

รูปที่ 4.8 ค่าโออาร์พีตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

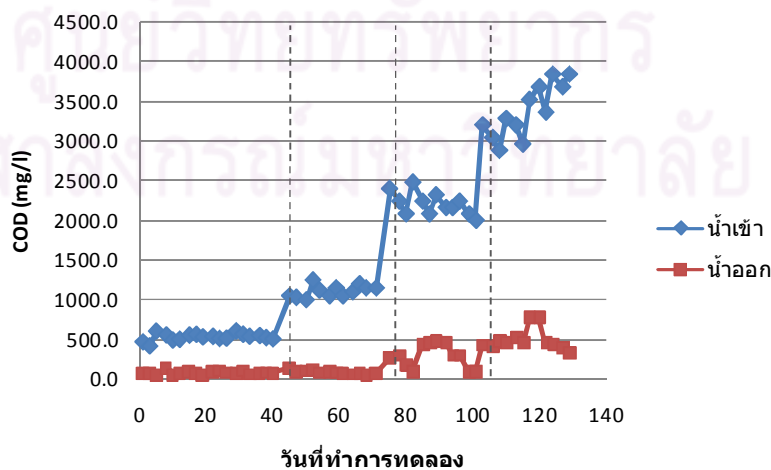
4.2.3 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

การทดลองนี้เป็นการเดินระบบระยะยาวโดยการเพิ่มค่าภาระบรรทุทสารอินทรีย์ขึ้นไปเรื่อยๆตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงการทดลองที่ 1 กำหนดค่าภาระบรรทุทสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน และช่วงการทดลองที่ 2 ทำการเดินระบบต่อเนื่องโดยเพิ่มค่าภาระบรรทุทสารอินทรีย์เป็น 2, 4, และ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วันตามลำดับ

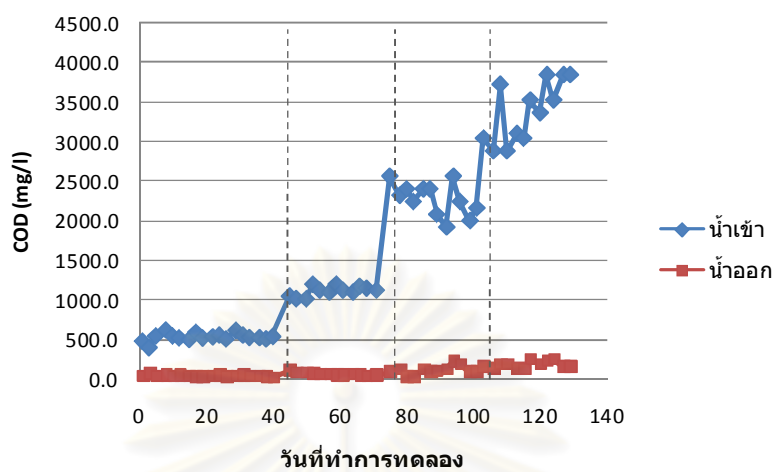
ถังปฏิบัติการที่ 1 เมื่อรับภาระบรรทุทสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 เท่ากับ 529.1 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 74.0 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 85.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุทสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1107 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 81 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุทสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 2207 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 281 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 87 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรับภาระบรรทุทสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 3373 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 485 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 86 เปอร์เซ็นต์

ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 เท่ากับ 533.8 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 41.7 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1113 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 66 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 2273 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 113 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 3382 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 185 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

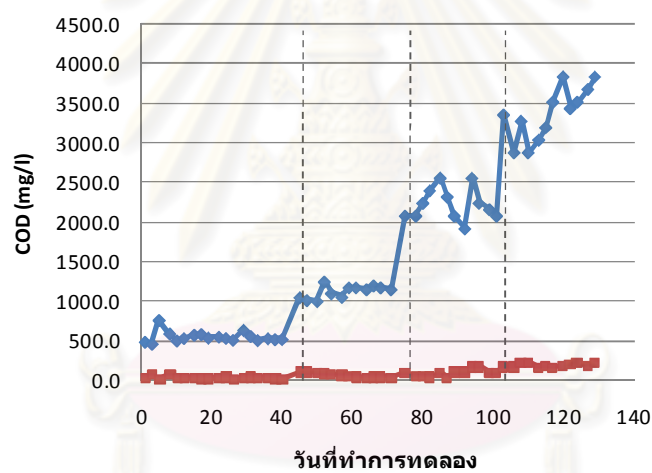
ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 เท่ากับ 549.6 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 39.5 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 92.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1123 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 71 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 2227 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 97 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 3373 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 196 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94 เปอร์เซ็นต์



ก. ค่าซีโอดีของถึงปฏิกรณ์ที่ 1

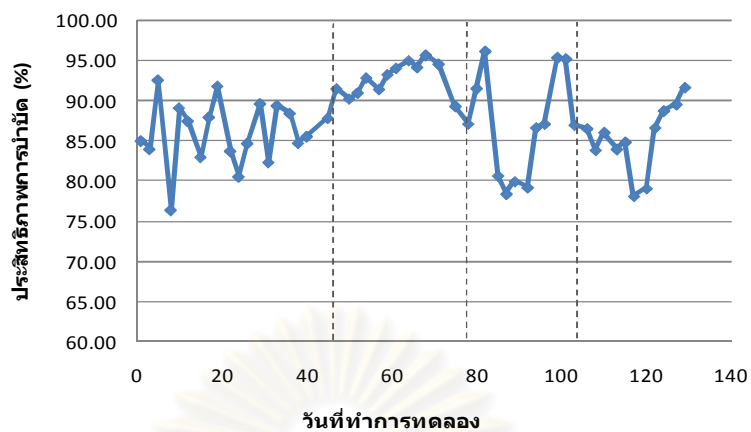


ข. ค่าซีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 2

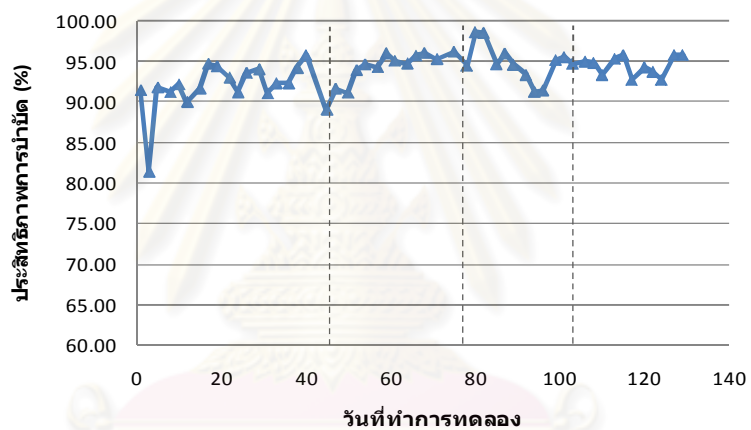


ค. ค่าซีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 3

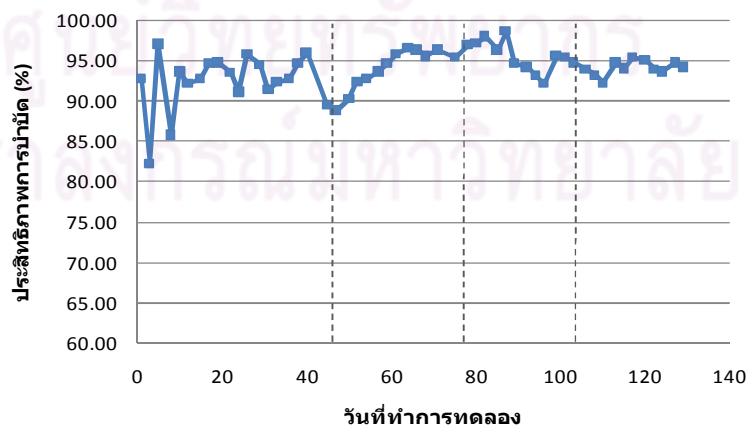
รูปที่ 4.9 ค่าซีโอดีตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง



ก. ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของถึงปฏิบัติการที่ 1



ข. ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของถึงปฏิบัติการที่ 2



ค. ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของถึงปฏิบัติการที่ 3

รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ ช่วงการทดลองที่ 1 ซึ่งในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 และ 8 มก./ก. วิเอสเอส นั้น มีค่าใกล้เคียงกัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมพอลิเมอร์ 8 มก./ก. วิเอสเอส มีประสิทธิภาพดีสุดเท่ากับ 92.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ที่เติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก. วิเอสเอส มีประสิทธิภาพเท่ากับ 92.0 เปอร์เซ็นต์ สุดท้ายเป็นถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่เติมพอลิเมอร์มี ประสิทธิภาพ 85.9 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงการทดลองที่ 2 เป็นการเดินระบบต่อเนื่องและมีการเพิ่มค่าภาระบรรทุก สารอินทรีย์ ในช่วงวันที่ 45 ถึง 129 พบว่าถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ตั้งแต่วันที่ 50 ของตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์นั้นมีประสิทธิภาพคงที่ ต่างจากถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์ที่ค่า ประสิทธิภาพเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิเมอร์ลงใน ระบบยูเอเอสบีสามารถช่วยรักษาสมดุลและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีให้คงที่เมื่อมีการเพิ่มค่า ภาระบรรทุกสารอินทรีย์และมีประสิทธิภาพแตกต่างกับระบบที่ไม่เติมพอลิเมอร์

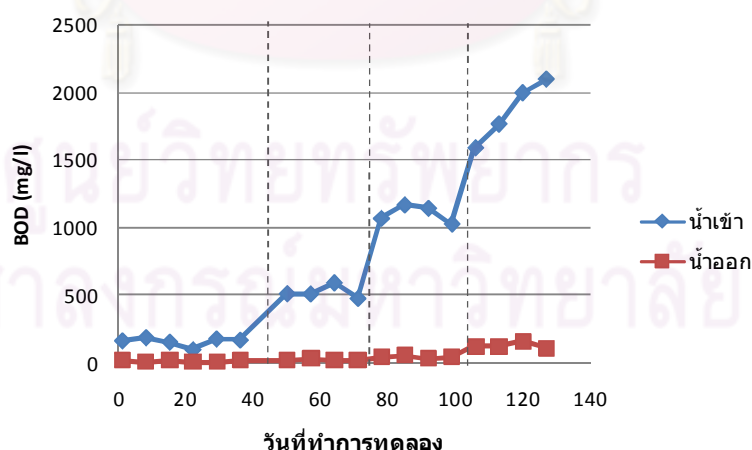
4.2.4 ค่าบีโอดี

ถึงปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ย ของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 เท่ากับ 164.2 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 16.3 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 90.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระ บรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 527 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 25 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี เท่ากับ 95.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำ เสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1104 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 44 มก./ล. คิด เป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1861 มก./ล. น้ำออกจาก ระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 133 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 92.9 เปอร์เซ็นต์

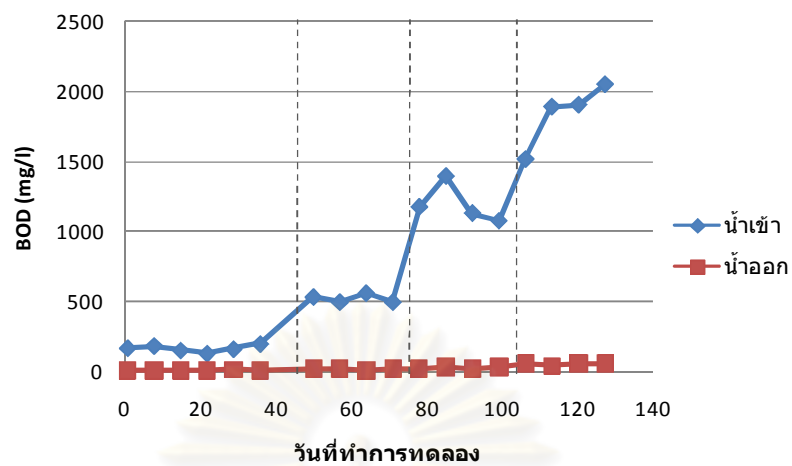
ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ย ของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 เท่ากับ 161.4 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 8.5 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 94.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 519 มก./ล. น้ำ ออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 15 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 97.1

เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1194 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 25 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 97.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1840 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 49 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 97.3 เปอร์เซ็นต์

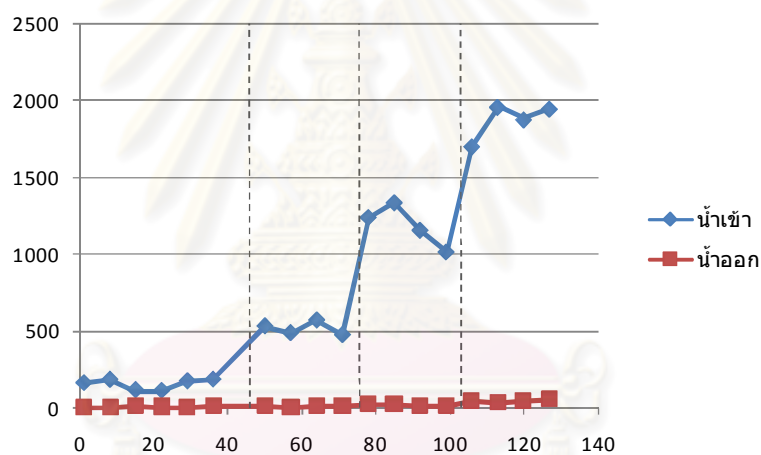
ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 เท่ากับ 158.8 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 9.4 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 94.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 519 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 14 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 97.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1186 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 22 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 98.1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน บีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงเท่ากับ 1869 มก./ล. น้ำออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 47 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์



ก. ค่าบีโอดีของถึงปฏิกรณ์ที่ 1



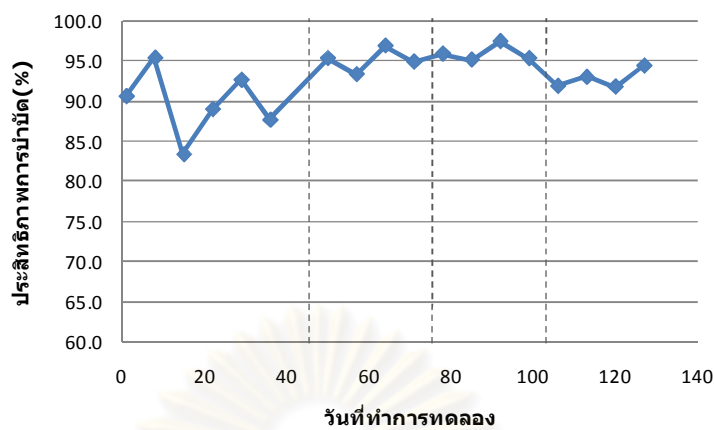
ข. ค่าบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 2



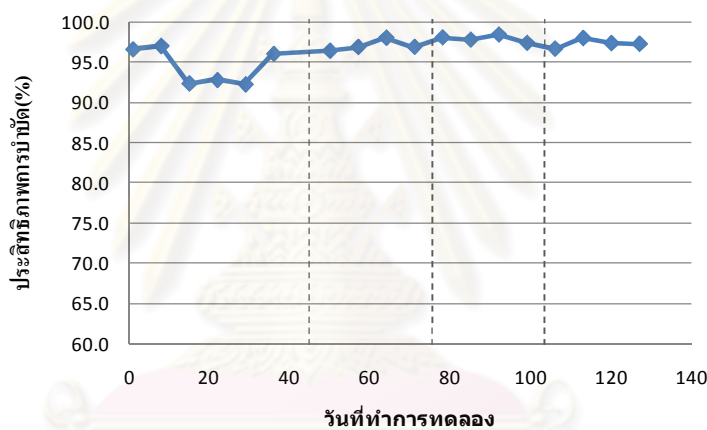
ค. ค่าบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 3

รูปที่ 4.11 ค่าบีโอดีตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

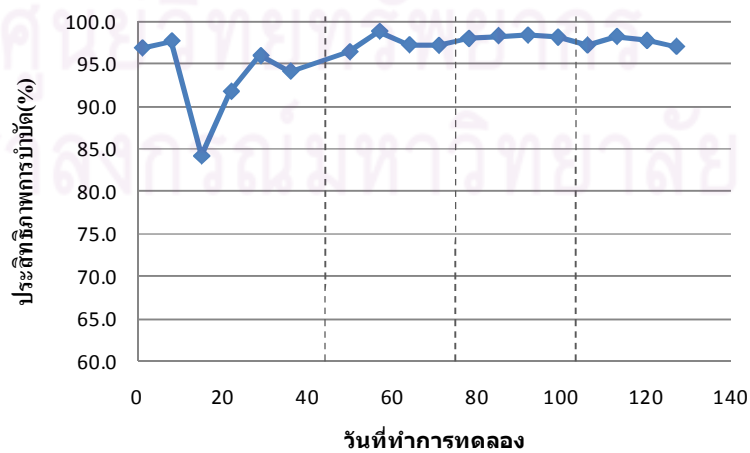
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค. ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 3

รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบช่วงการทดลองที่ 1 ซึ่งในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 และ 8 มก./ก.วีเอสเอส นั้น มีค่าใกล้เคียงกัน โดยถึงปฏิกรณ์ที่ 2 ที่เติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส มีประสิทธิภาพดีสุดเท่ากับ 94.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ที่เติมพอลิเมอร์ 8 มก./ก.วีเอสเอส มีประสิทธิภาพเท่ากับ 94.1 เปอร์เซ็นต์ สุดท้ายเป็นถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่เติมพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพ 90.1 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงการทดลองที่ 2 เป็นการเดินระบบต่อเนื่องและมีการเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ตลอดช่วงการทดลองพบว่าทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์นั้นมีประสิทธิภาพคงที่ ต่างจากถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์ที่ค่าประสิทธิภาพไม่คงที่และเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าซีโอดีและมีประสิทธิภาพแตกต่างกับระบบที่ไม่เติมพอลิเมอร์

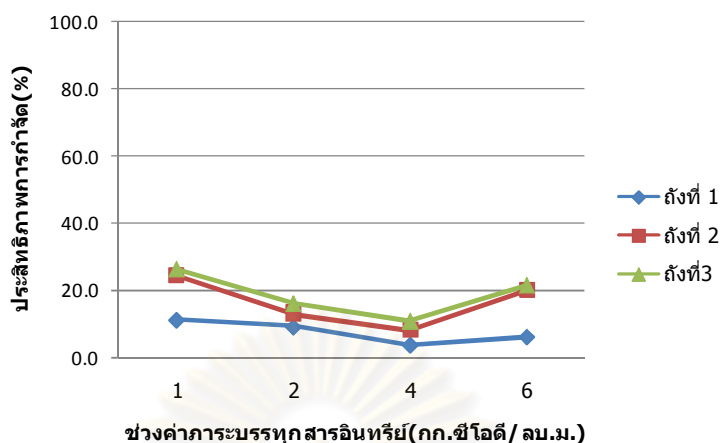
4.2.5 ทีเคเอ็นและไนเตรต

4.2.5.1 ทีเคเอ็น

ค่าทีเคเอ็นที่เปลี่ยนแปลงในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเข้าและประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นในทุกถึงปฏิกรณ์มีค่าน้อยมาก ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าระบบยูเอเอสบีไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ ค่าที่ลดลงเป็นการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นตลอดช่วงระยะเวลาทำการทดลอง

ช่วงการทดลอง	ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1		ถึงปฏิกรณ์ที่ 2		ถึงปฏิกรณ์ที่ 3	
		ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)
1	1	86.4±10	76.8±13	91.6±8	69.3±13	89.2±10	66.0±7
	2	212.9±14	193.6±11	208.2±10	181.0±11	213.8±14	179.6±11
2	4	342.5±22	329.8±28	362.4±25	332.9±26	372.1±25	331.5±25
	6	486.5±23	456.6±28	505.7±30	403.9±20	512.5±27	403.0±24



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็น

4.2.5.2 ไนเตรต

เนื่องจากค่าไนเตรตในน้ำเข้าระบบของช่วงการทดลองที่ 1 มีปริมาณน้อยมากจึงทำให้ระบบสามารถบำบัดได้เกือบทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มค่าการบรรทุกระบบอินทรีย์ในช่วงการทดลองที่ 2 จึงทำให้ค่าปริมาณไนเตรตสูงขึ้นเป็นลำดับตามค่าการบรรทุกระบบอินทรีย์และระบบบำบัดสามารถกำจัดไนเตรตได้น้อย จึงทำให้ค่าปริมาณไนเตรตของน้ำออกจากระบบเมื่อเทียบกับน้ำเข้ามีค่าไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับค่าที่เคเอ็น ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพลดลงจนอาจแสดงได้ว่าระบบไม่สามารถบำบัดค่าไนเตรตได้เช่นเดียวกันกับค่าที่เคเอ็น ค่าเฉลี่ยไนเตรตแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าไนเตรตและประสิทธิภาพการบำบัดตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

ช่วงการทดลอง	ค่าการบรรทุกระบบอินทรีย์	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1			ถึงปฏิกรณ์ที่ 2			ถึงปฏิกรณ์ที่ 3		
		ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ประสิทธิภาพกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ประสิทธิภาพกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ประสิทธิภาพกำจัด (%)
1	1	1.1±0.1	0.1±0.02	90.6	1.0±0.1	0.1±0.01	90.7	1.1±0.1	0.1±0.02	91.1
	2	6.5±0.7	3.7±0.3	43.0	6.4±0.7	3.6±0.4	44.7	6.5±0.6	3.3±0.4	49.3
2	4	10.3±0.7	9.2±0.7	10.1	10.8±0.5	9.0±0.7	16.4	11.2±0.5	9.9±0.7	11.4
	6	13.4±0.7	11.7±0.9	12.5	13.8±0.7	11.5±0.6	16.5	14.1±0.6	11.7±0.9	17.0

4.2.6 สภาพต่างและกรดไขมันระเหย

ในช่วงการทดลองที่ 1 น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 มีค่าสภาพต่างเฉลี่ยใกล้เคียงกับน้ำเข้าซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชของระบบที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงเช่นเดียวกัน ในช่วงการทดลองที่

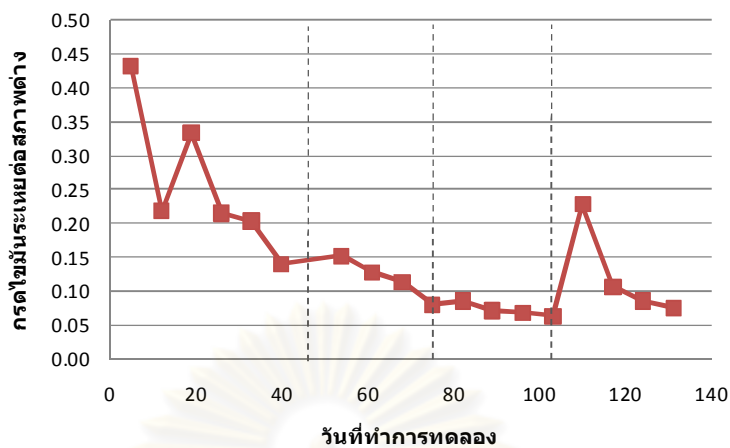
2 ที่มีการเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าสภาพต่างมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าน้ำเข้า เนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์ที่ถูกบำบัดในระบบจะเป็นการเพิ่มค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนต ในส่วนของค่ากรดไขมันระเหยในช่วงการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออกใกล้เคียงกัน ในช่วงการทดลองที่ 2 ค่ากรดไขมันระเหยน้ำออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าและส่งผลต่อค่าพีเอชของระบบ ซึ่งหากค่ากรดไขมันระเหยสูงเกินไปจะทำให้พีเอชลดต่ำลงจนไม่เหมาะต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่าเฉลี่ยของสภาพต่างและกรดไขมันระเหยแสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของน้ำออกจากระบบไม่ควรสูงเกินกว่า 0.4 ซึ่งหากสูงเกินบ่งบอกถึงการทำงานบกพร่องของจุลินทรีย์ ซึ่งแสดงค่าไขมันระเหยต่อสภาพต่างในน้ำออกจากระบบของทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการมีค่าต่ำกว่า 0.4 ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.4 ค่าสภาพต่างเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

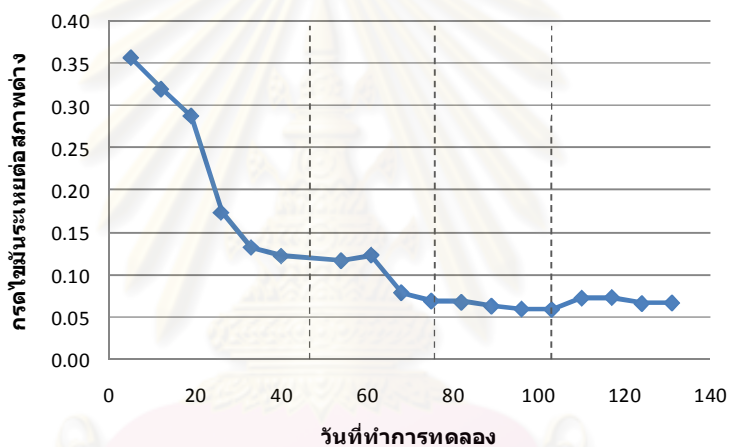
ช่วงการทดลอง	ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
		ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้าออก (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)
1	1	284.2±32	285.8±30	290.8±37	295.0±42	291.7±33	308.3±29
	2	524.8±55	652.9±89	533.3±53	678.9±111	540.9±58	659.2±85
	4	1133.1±131	1217.5±62	1093.8±78	1203.1±51	1128.8±81	1226.3±79
2	6	1347.5±111	1460.6±111	1376.9±85	1418.1±96	1400.6±116	4755.6±69

ตารางที่ 4.5 กรดไขมันระเหยเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

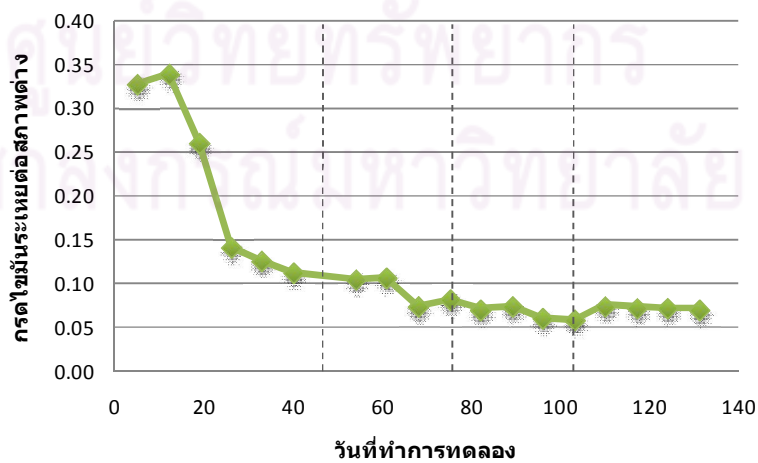
ช่วงการทดลอง	ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์	ถึงปฏิบัติการที่ 1		ถึงปฏิบัติการที่ 2		ถึงปฏิบัติการที่ 3	
		ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ยน้ำออก (มก./ล.)
1	1	125.8±28	71.7±24	121.7±23	65.8±23	127.5±26	65.0±27
	2	364.1±52	76.3±14	369.2±57	65.0±14	351.7±50	60.0±10
2	4	659.1±90	88.1±9	684.4±114	76.3±3	649.7±111	80.0±4
	6	1071.6±110	178.1±92	1103.5±72	100.0±2	1104.4±84	103.8±3



ก. ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข. ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค. ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของถังปฏิกรณ์ที่ 3

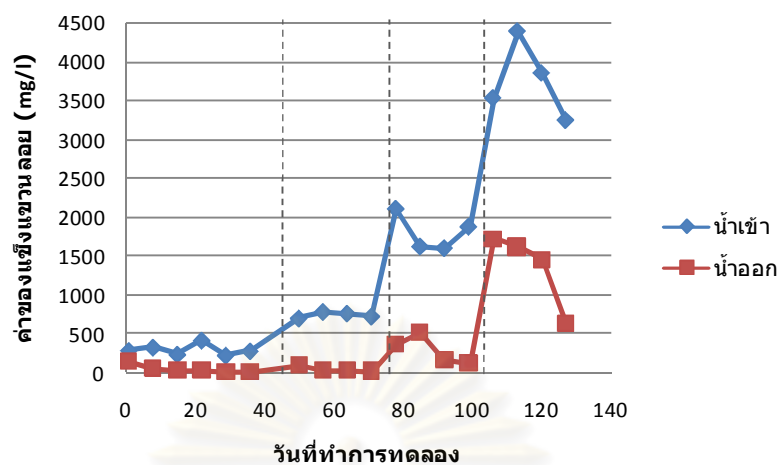
รูปที่ 4.14 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง

4.2.7 ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าความเค็ม

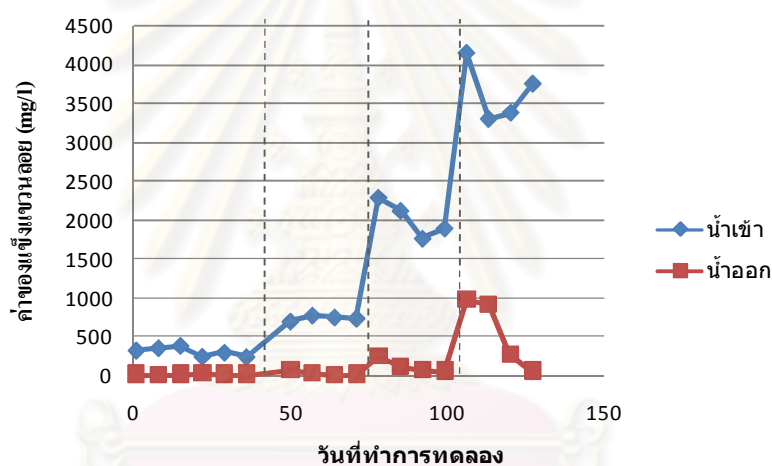
4.2.7.1 ของแข็งแขวนลอย

เนื่องจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลมีของแข็งแขวนลอยในปริมาณสูง ซึ่งในน้ำเสียประเภทนี้อนุภาคต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำเสียสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และบางส่วนมีอนุภาคขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้ช้า หากมีของแข็งแขวนลอยมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อการสะสมตัวในชั้นตะกอนซึ่งอาจไปขัดขวางการถ่ายเทสารและการดูดซับในระบบ

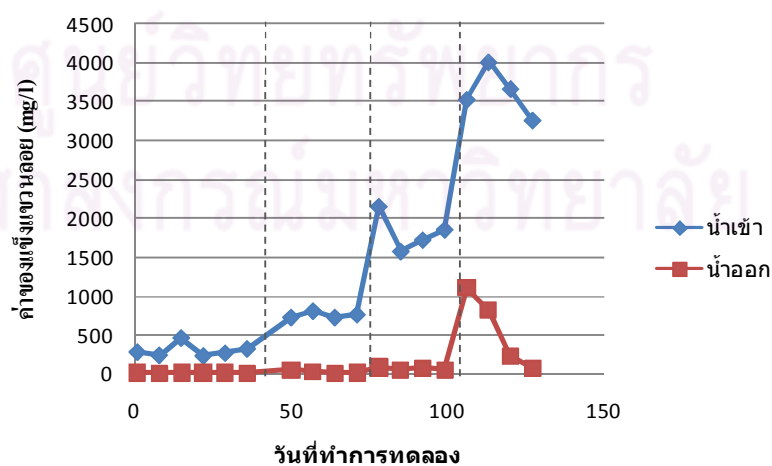
ในช่วงการทดลองที่ 1 น้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 259.3 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47 มก./ล. น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 309 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14.5 มก./ล. และในน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 299.3 มก./ล. และน้ำออกอยู่ที่ 15.2 มก./ล. ช่วงการทดลองที่ 2 ที่มีการเพิ่มค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ ที่ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน น้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 743 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 46 มก./ล. น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 739 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26 มก./ล. และในน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 756 มก./ล. และน้ำออกอยู่ที่ 28 มก./ล. ที่ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน น้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 1803 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 286 มก./ล. น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 2010 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 125 มก./ล. และในน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 1827 มก./ล. และน้ำออกอยู่ที่ 62 มก./ล. ที่ค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน น้ำเข้าของถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 3753 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1358 มก./ล. น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 3634 มก./ล. น้ำออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 554 มก./ล. และในน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ที่ 3620 มก./ล. และน้ำออกอยู่ที่ 558 มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดช่วงการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



ก. ค่าของแข็งแขวนลอยของถังปฏิกรณ์ที่ 1

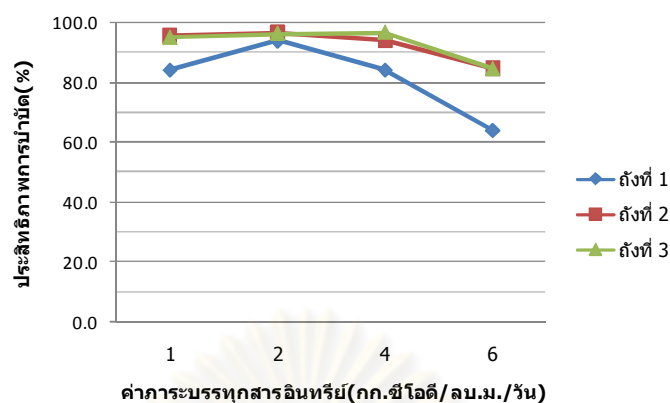


ข. ค่าของแข็งแขวนลอยของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค. ค่าของแข็งแขวนลอยของถังปฏิกรณ์ที่ 3

รูปที่ 4.15 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง



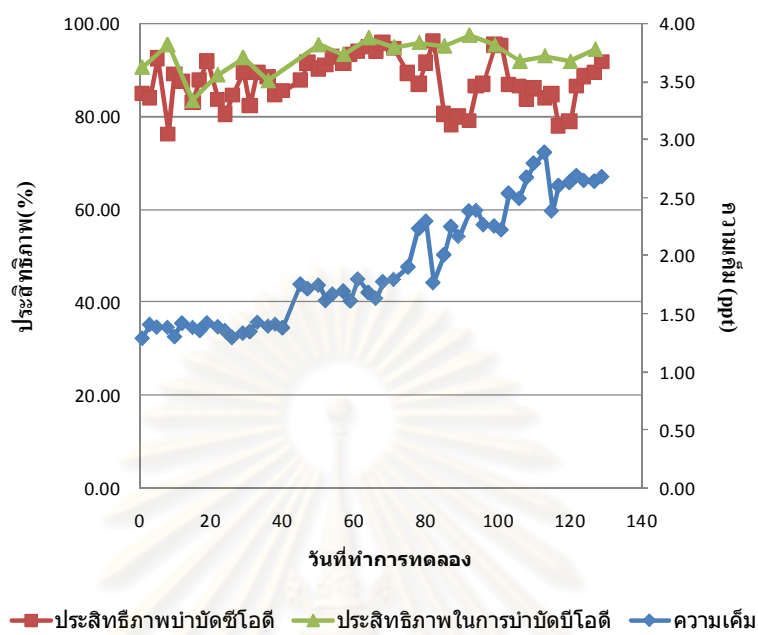
รูปที่ 4.16 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูง และเมื่อมีการเพิ่มค่าการบรทุกสารอินทรีย์ค่าประสิทธิภาพการกำจัดเริ่มลดลงเนื่องจากการหลุดของตะกอนออกจากระบบทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าลดลง โดยในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์เกิดการหลุดของตะกอนสูงกว่า ระบบที่มีการเติมพอลิเมอร์ทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบมีค่าสูงกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ ในช่วงเริ่มปรับค่าการบรทุกสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

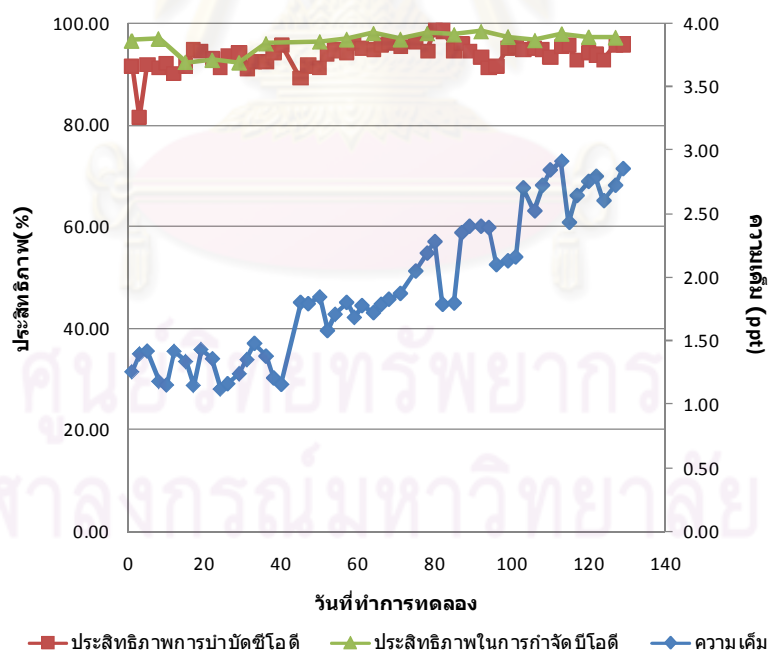
4.2.7.2 ความเค็ม

เนื่องจากตะกอนที่นำมาใช้ในการเดินระบบ นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล จึงมีความสามารถทนต่อความเค็มได้ในระดับหนึ่ง เมื่อค่าความเค็มเพิ่มขึ้นตามค่าการบรทุกสารอินทรีย์ เชื้อจุลินทรีย์ในระบบจึงสามารถปรับตัวเข้ากับค่าความเค็มที่เพิ่มขึ้นได้ง่าย แสดงผลค่าความเค็มต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดีดังรูปที่ 4.17

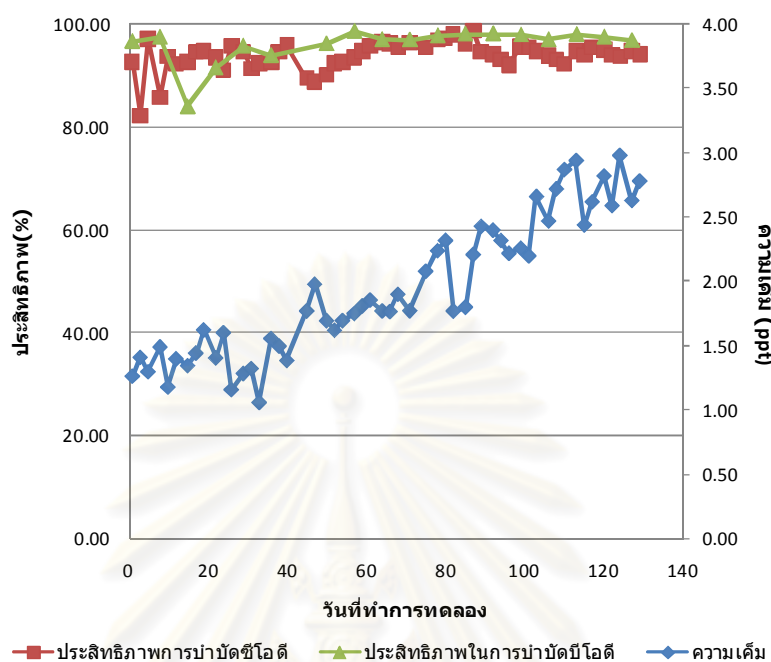
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. ค่าความเค็มต่อประสิทธิภาพซีโอดีและบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 1



ข. ค่าความเค็มต่อประสิทธิภาพซีโอดีและบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 2



ค. ค่าความเค็มต่อประสิทธิภาพซีโอดีและบีโอดีของถังปฏิกรณ์ที่ 3

รูปที่ 4.17 ค่าความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและบีโอดี

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความเค็มมีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดียังมีค่าประสิทธิภาพคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเค็มไม่มีผลประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ

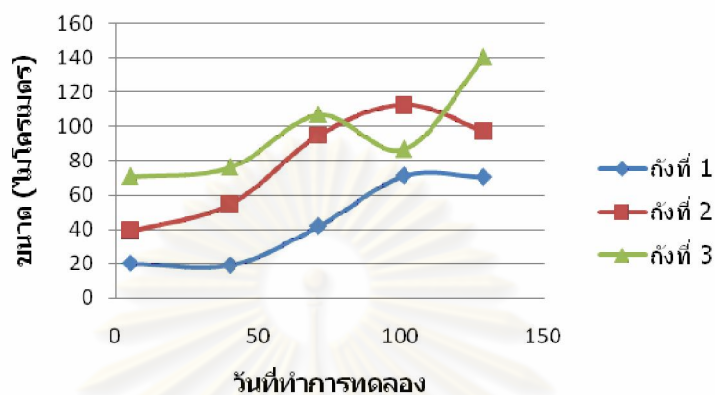
4.3 ผลของการศึกษาการเติมพอลิเมอร์ต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

4.3.1 ขนาดของเม็ดตะกอน

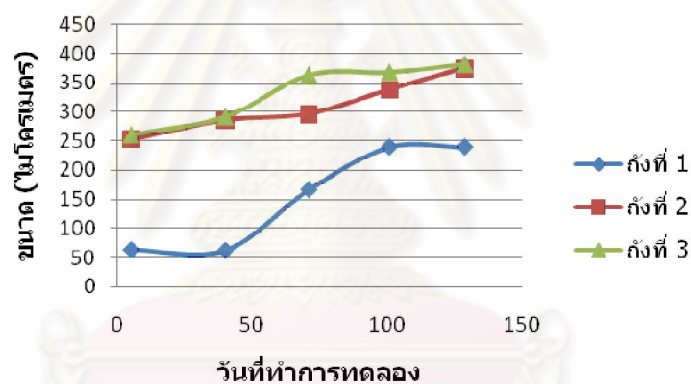
ในการทดลองนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ชนิดแอนแอโรบิกสลัดจ์จากระบบยูเอเอสบีซึ่งมีลักษณะเป็นแบบฟล็อก (Flocculent Sludge) มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ จากการศึกษาลักษณะเบื้องต้นพบว่าตะกอนมีลักษณะเป็นปุยฟู ลอยอยู่ในน้ำและยังไม่มีมารวมตัวเป็นเม็ดตะกอน

การวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะวิเคราะห์ในรูปแบบของการกระจายขนาดโดยเครื่อง Particle Size Analyzer ยี่ห้อ Malvern โดยอาศัยหลักการวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของเม็ดตะกอนด้วยการส่องผ่านแสงมากระทบอนุภาค ขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ไหลผ่านเลนส์ และมีเซนเซอร์รับอยู่ด้านหลัง ซึ่งค่าที่เครื่องวัดได้จะถูกคำนวณเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดตะกอน ข้อมูลของการวัดขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นการกระจายตามขนาดต่างๆดังนั้นในการวิเคราะห์

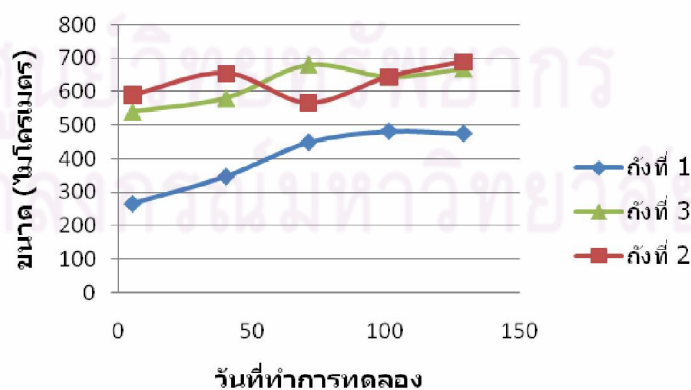
การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอน โดยเลือกค่า D_{10} , D_{50} และ D_{90} ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ที่เล็กกว่าร้อยละ 10, 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดตามลำดับ รูปที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า D_{10} , D_{50} และ D_{90} ของเม็ดตะกอนในถัง 3 ถังปฏิกรณ์



ก. การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D_{10} ตลอดการทดลอง



ข. การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D_{50} ตลอดการทดลอง



ค. การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ D_{90} ตลอดการทดลอง

รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงของค่า D_{10} , D_{50} และ D_{90} ของเม็ดตะกอนในถัง 3 ถังปฏิกรณ์ตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.18 ก. ขนาดของตะกอนที่ ค่า D_{10} วันที่ 5 ของการทดลองในถังปฏิกรณ์ ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 20.06 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 38.91 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 70.85 ไมโครเมตร วันที่ 40 ของการทดลองค่า D_{10} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 18.99 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 54.76 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 76.26 ไมโครเมตร วันที่ 71 ของการทดลองค่า D_{10} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 41.85 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 54.76 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 106.9 ไมโครเมตร วันที่ 101 ของการทดลองค่า D_{10} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 71.42 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 54.76 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 86.7 ไมโครเมตร วันที่ 129 ของการทดลองค่า D_{10} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 70.64 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 97.13 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 140.59 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าขนาดของเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีขนาดเล็กกว่าถังที่ 2 และ 3 ซึ่งมีการเติมพอลิเมอร์ ในถังที่มีการเติมพอลิเมอร์นั้นขนาดของเม็ดตะกอนมีการพัฒนาใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกันและมีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเทียบระหว่างถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ของขนาดเม็ดตะกอน ที่ 3 มีค่ามากกว่าในช่วง 40 วันแรกและเริ่มใกล้เคียงกัน ในช่วงวันที่ 71 ซึ่งมาจากการก่อตัวเป็นเม็ดของตะกอนในถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ทำให้ขนาด D_{10} มีค่าเพิ่มขึ้น และมีขนาดใกล้เคียงกัน หลังจากวันที่ 71 ของการทดลองขนาดของเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ 3 ยังคงมีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งต่างจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่ขนาดเริ่มคงที่ หลังจากวันที่ 71 ของการทดลอง จากช่วงเวลาตลอดการทดลองที่มีการปรับเพิ่มค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์มีผลต่อการเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอนในระดับ D_{10} อย่างชัดเจน โดยในช่วง 40 วันแรกที่มีค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 1 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. ยังไม่ส่งผลต่อขนาดของเม็ดตะกอนมาก แต่เมื่อเพิ่ม ค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์เป็น 2 และ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าค่าขนาด D_{10} ของเม็ดตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างมากในทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ วันที่ 101 ของการทดลองในขณะที่เพิ่มค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ เป็น .6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ขนาด D_{10} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 เริ่มคงที่ แต่ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 ยังมีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเทียบกับถังที่ 1 และ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

จากรูปที่ 4.18 ข. ขนาดของตะกอนที่ ค่า D_{50} วันที่ 5 ของการทดลองในถังปฏิกรณ์ ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 62.61 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 235.24 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 260.68 ไมโครเมตร วันที่ 40 ของการทดลองค่า D_{50} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 61.46 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 285.94 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 291.5 ไมโครเมตร วันที่ 71 ของการทดลองค่า D_{50} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 165.88 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 296.79 ไมโครเมตร ถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 363.44 ไมโครเมตร วันที่

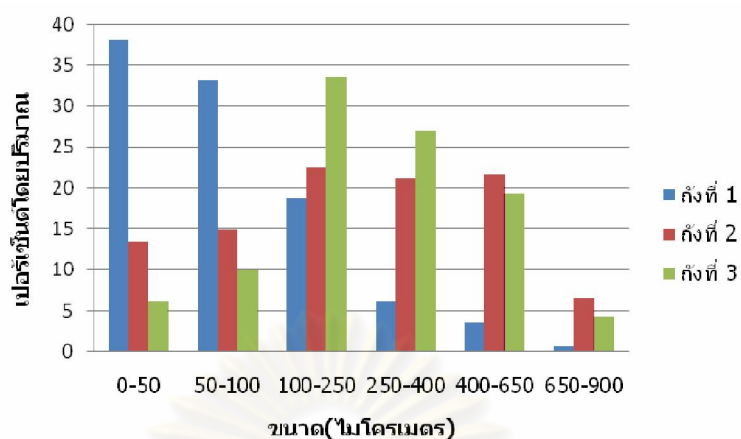
101 ของการทดลองค่า D_{50} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 239.29 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 338.05 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 368 ไมโครเมตร วันที่ 129 ของการทดลองค่า D_{50} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 239.41 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 374.75 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 381.85 ไมโครเมตร จากค่า D_{50} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 จะเห็นว่ามีความเริ่มต้นเล็กกว่า ถึงที่ 2 และ 3 มากในช่วง 40 วันแรก และมีการเพิ่มขนาดอย่างต่อเนื่องในช่วงวันที่ 40 ถึง 101 ของการทดลองซึ่งเป็นช่วงที่มีการเพิ่มค่าภาระบรรทุสารอินทรีย์เป็น 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 45 ถึงวันที่ 71 ของการทดลองและเพิ่มขึ้นเป็น 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 75 ถึง 101 ของการทดลอง หลังจากนั้นขนาดเริ่มคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ต่างจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีขนาด D_{50} ใหญ่กว่า และมีการขนาดขึ้นเรื่อยๆ แต่ไม่มากเท่ากับถึงที่ 1 ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 ขนาด D_{50} มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าใกล้เคียงกับ ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 ในช่วง 40 วันแรกมีการเพิ่มขนาดของค่า D_{50} ใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ที่ 2 และเริ่มเพิ่มขึ้น ในช่วงวันที่ 40 ถึงวันที่ 71 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าภาระบรรทุสารอินทรีย์ 2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน หลังจากนั้นขนาด D_{50} เริ่มมีค่าคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และมีค่าใกล้เคียงกับค่า D_{50} ถึงที่ 2 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขนาดกับ D_{50} กับการเพิ่มค่าภาระบรรทุสารอินทรีย์ พบว่าเพิ่มค่าภาระบรรทุสารอินทรีย์ส่งผลต่อขนาด D_{50} ของเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 และ 8 มก./วิเอสเอส ไม่มากเท่ากับการเพิ่มขึ้นของขนาด D_{10} ถังปฏิกรณ์เดียวกัน แต่ส่งผลต่อการเพิ่มขนาด D_{50} ถังปฏิกรณ์ที่ 1 โดยค่าขนาด D_{50} สูงขึ้นมากในช่วงค่าภาระบรรทุสารอินทรีย์ 2 และ 4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน

จากรูปที่ 4.18 ค. ขนาดของตะกอนที่ ค่า D_{90} วันที่ 5 ของการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 264.67 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 589.89 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 540.06 ไมโครเมตร วันที่ 40 ของการทดลองค่า D_{90} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 345.96 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 654.95 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 580.86 ไมโครเมตร วันที่ 71 ของการทดลองค่า D_{90} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 448.23 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 567.28 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 681.25 ไมโครเมตร วันที่ 101 ของการทดลองค่า D_{90} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 481.67 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 644.63 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 644.62 ไมโครเมตร วันที่ 129 ของการทดลองค่า D_{90} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 474.51 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 688.9 ไมโครเมตร ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 668.75 ไมโครเมตร ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ค่าขนาด D_{90} ของตะกอนจุลินทรีย์เมื่อวันที่ 5 ของการทดลองนั้นมีขนาดเล็กกว่าขนาดของ D_{90} ในถัง

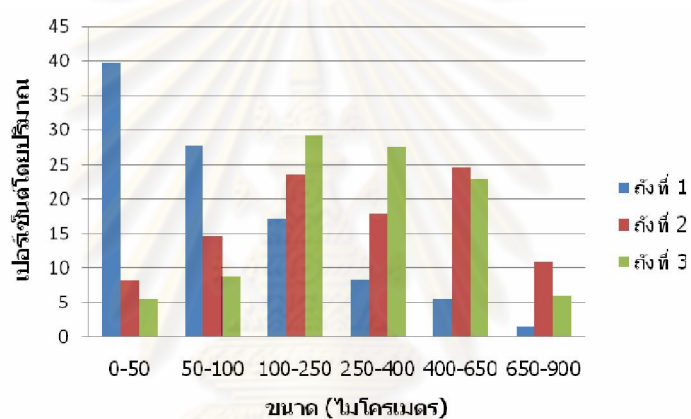
ปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ เช่นเดียวกับค่า D_{10} และ D_{50} ในช่วง วันที่ 5 ถึงวันที่ 71 ของการทดลองมีการเพิ่มขนาดของค่า D_{90} อย่างต่อเนื่องและเริ่มคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง แต่ขนาด D_{90} ของตะกอนที่เกิดขึ้นยังมีขนาดเล็กกว่า ขนาด D_{90} ในถังปฏิกรณ์ ที่ 2 และ 3 ส่วนในถังปฏิกรณ์ที่ 2 นั้นค่า D_{90} ในช่วงแรกมีการเพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงในช่วงวันที่ 40 ถึง 71 ของการทดลอง หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ค่า D_{90} ของถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ที่ 3 และมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง ซึ่งค่า D_{90} ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 ในตอนเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 เล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 71 ของการทดลอง ค่า D_{90} ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 เริ่มมีค่าคงตัวและเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อเทียบระยะเวลากับการเปลี่ยนแปลงค่าการระบรทุกสารอินทรีย์แล้วจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดค่า D_{90} ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์และส่งผลน้อยต่อขนาด D_{90} ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์อาจเนื่องมาจาก ขนาดของตะกอนเริ่มถึงจุดอิ่มตัวหรือถึงขีดความสามารถของเครื่องมือที่ทำการวัด

จะเห็นได้ว่า ตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีการพัฒนาขนาดของค่า D_{10} และ D_{50} ใหญ่ขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 101 เป็นต้นไปและเมื่อสิ้นสุดการทดลองในขณะที่ขนาด D_{90} เริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 71 ของการทดลอง ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 การพัฒนาขนาดของค่า D_{10} และ D_{50} เกิดขึ้นไม่มากแต่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขนาดขึ้นและขนาด D_{90} มีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงการทดลอง ส่วนในถังปฏิกรณ์ที่ 3 นั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับถังปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการเติมพอลิเมอร์ที่สามารถเพิ่มขนาดของเม็ดตะกอน ได้ทันทีเมื่อเติมตอนเริ่มต้นระบบและยังสามารถรักษาขนาดของเม็ดตะกอนและเกิดการสร้างเม็ดตะกอนให้ใหญ่ขึ้นได้ ต่างจากระบบที่ไม่เติมที่แม้จะมีการขยายขนาดขึ้นแต่ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก็ยังมีขนาดเล็กกว่าระบบที่ไม่เติมพอลิเมอร์

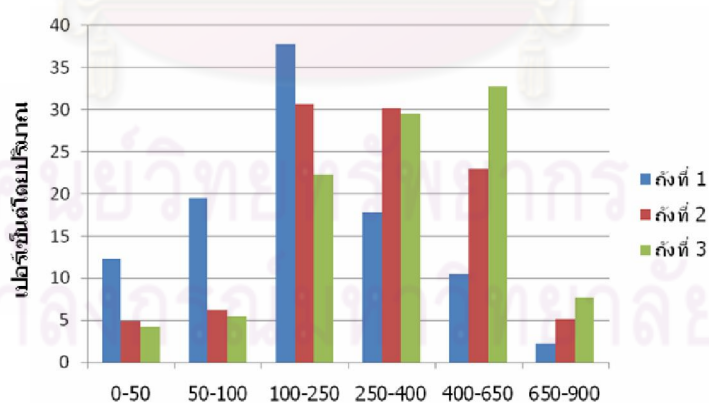
จากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Particle Size Analyzer สามารถนำมาทำเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อขนาดตะกอนต่างๆ ได้เพื่อให้เห็นภาพมากขึ้น โดยจะนำมาเปรียบเทียบระหว่างขนาดตะกอนในแต่ละถังปฏิกรณ์ กับขนาดของวันที่ทำการทดลองอื่นๆ เพื่อแสดงถึงการพัฒนาการของขนาดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.19



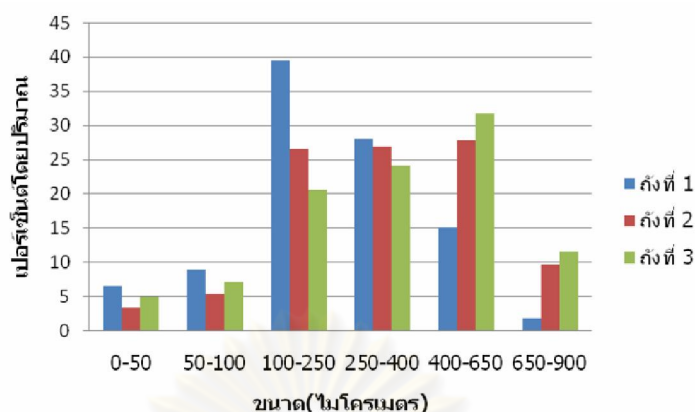
ก. เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในที่ 5 ของการทดลอง



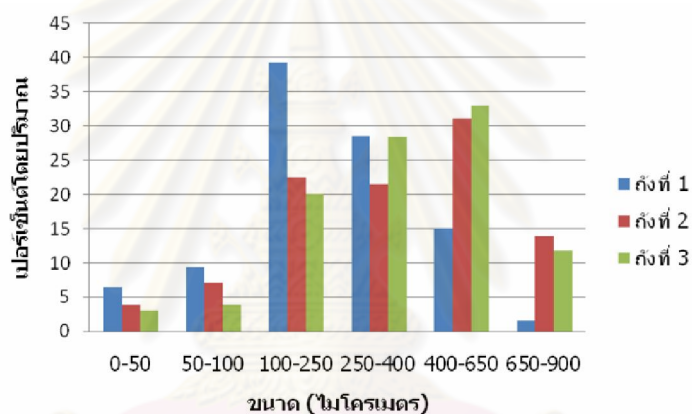
ข. เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในที่ 40 ของการทดลอง



ค. เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในที่ 71 ของการทดลอง



ง. เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในที่ 101 ของการทดลอง



จ. เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในที่ 129 ของการทดลอง

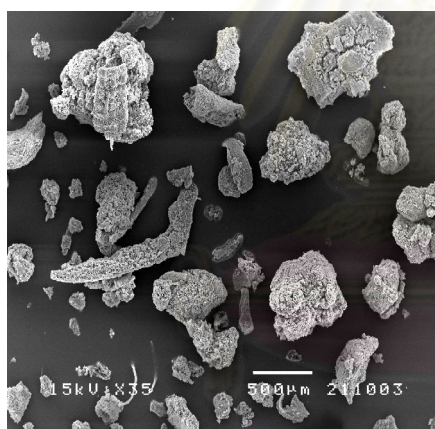
รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณของขนาดทั้งหมดในถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3

จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าช่วง 40 วันแรกของการทดลองในถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ขนาดตะกอนจุลินทรีย์ช่วง 0 – 100 ไมโครเมตรมีปริมาณมาก แต่ในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ ในช่วงขนาด 100 – 650 ไมโครเมตร มีการกระจายตัวเท่าๆ กัน หลังจากวันที่ 40 ของการทดลองถึงปฏิกรณ์ที่ 1 เริ่มมีการขยายขนาดของเม็ดตะกอนทำให้มีปริมาณของเม็ดตะกอนในช่วงขนาด 100 ไมโครเมตร สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และมีปริมาณเริ่มลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ในถึงปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 หลังวันที่ 40 ของการทดลอง ตะกอนที่มีขนาด 100 ไมโครเมตร ถึง 650 ปริมาณเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงอยู่ในช่วง 400 – 650 ไมโครเมตร และมีการเพิ่มขึ้นของตะกอนขนาด 650 – 900 ตลอดระยะเวลาการทดลอง

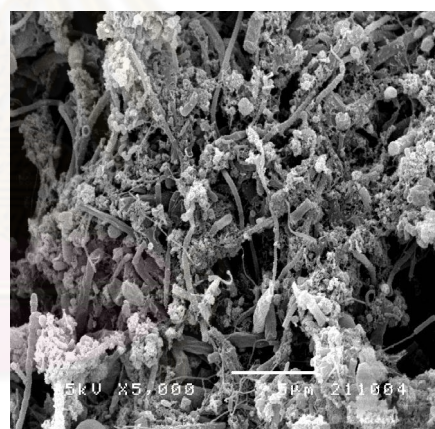
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนตามแต่ละขนาดของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าขนาดของตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ซึ่งไม่เติมพอลิเมอร์ มีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 และ 8 มก./วีเอสเอส ตามลำดับ โดยขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนมีปริมาณสูงอยู่ในช่วง 100 – 250 ต่างจาก ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีขนาดและการกระจายตัวสูงอยู่ในช่วง 450 - 650 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง และถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 มีขนาดและการกระจายตัวไม่แตกต่างกันมากนัก

4.3.2 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

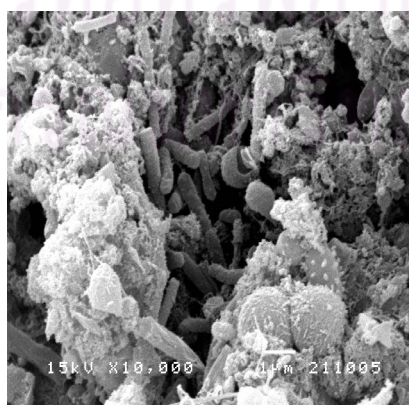
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) นั้น เป็นตะกอนจุลินทรีย์จากระบบทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์หลังสิ้นสุดการทดลอง โดยเลือกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสูง 30 ซม. จากกันถังปฏิกรณ์ทั้งสาม เป็นตัวแทนของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดของแต่ละถังปฏิกรณ์



ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า

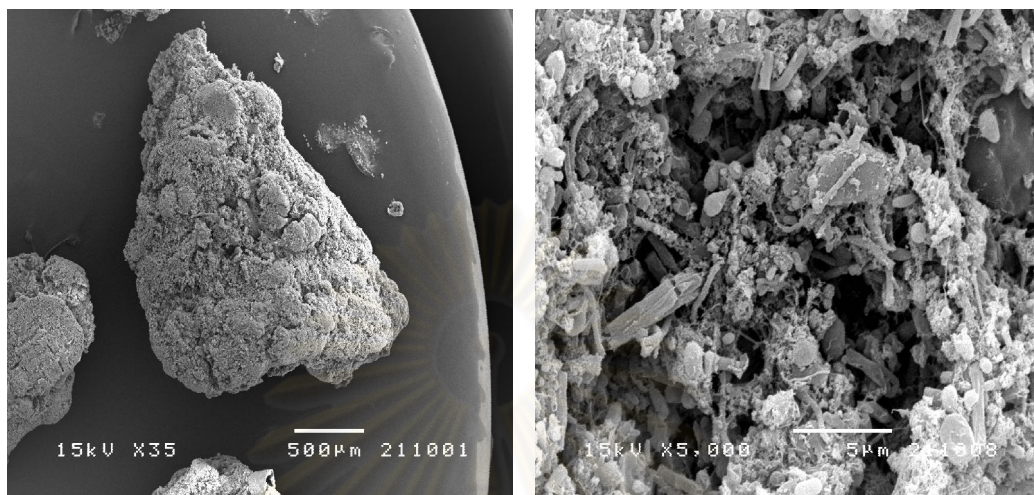


ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า



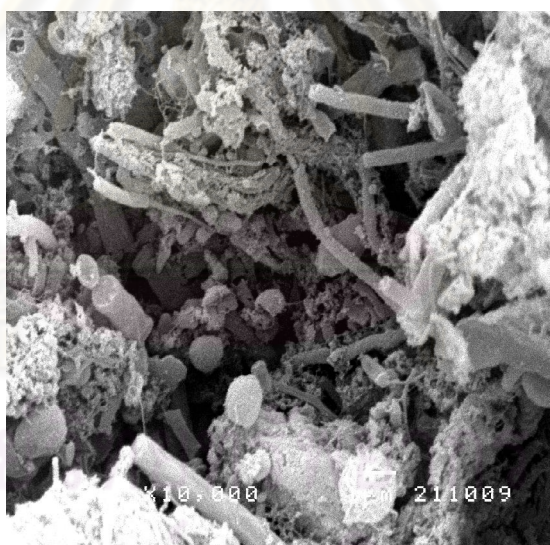
ค. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 4.20 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 5 ของการทดลอง



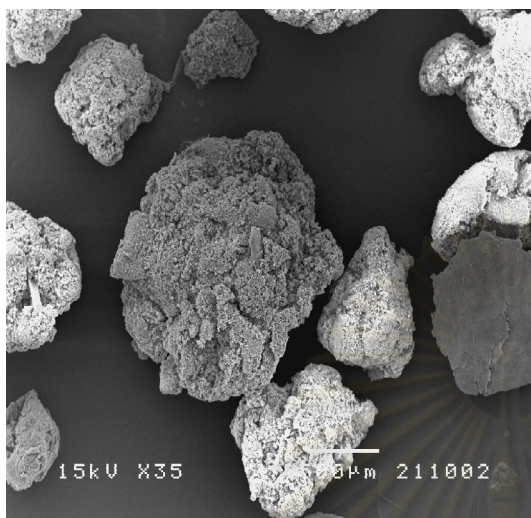
ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า

ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

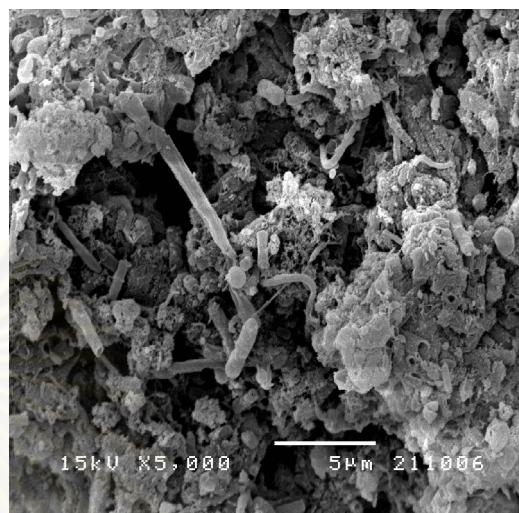


ค. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

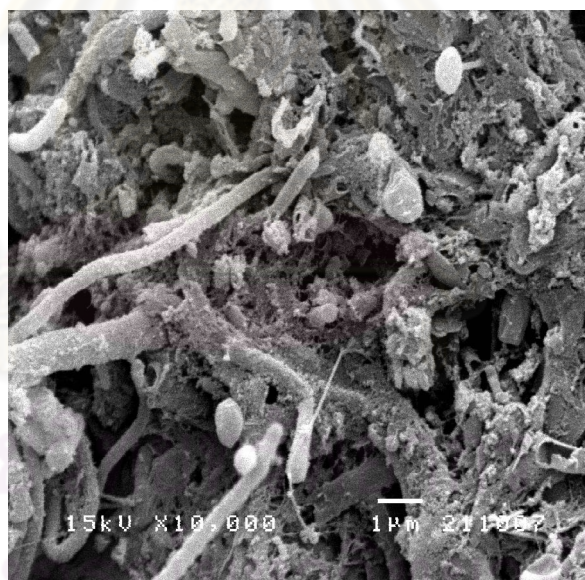
รูปที่ 4.21 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 5 ของการทดลอง



ก. เม็ดตะกอนจูลินทรีย์ขยาย 35 เท่า

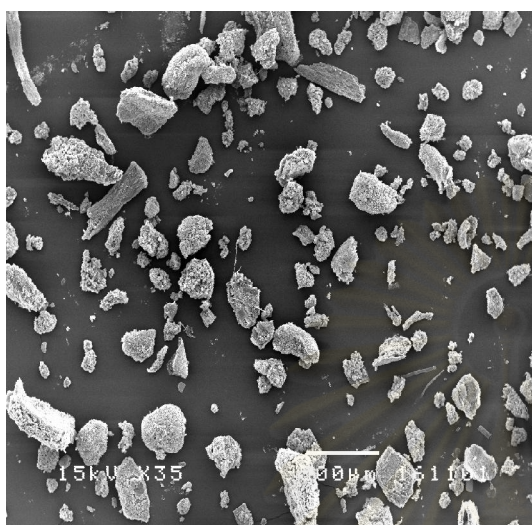


ข. เม็ดตะกอนจูลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

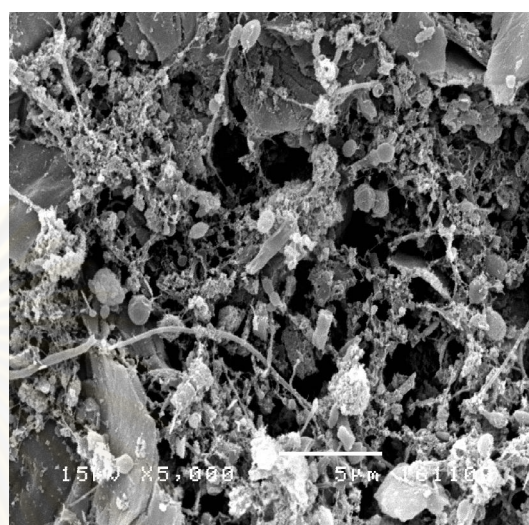


ค. เม็ดตะกอนจูลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

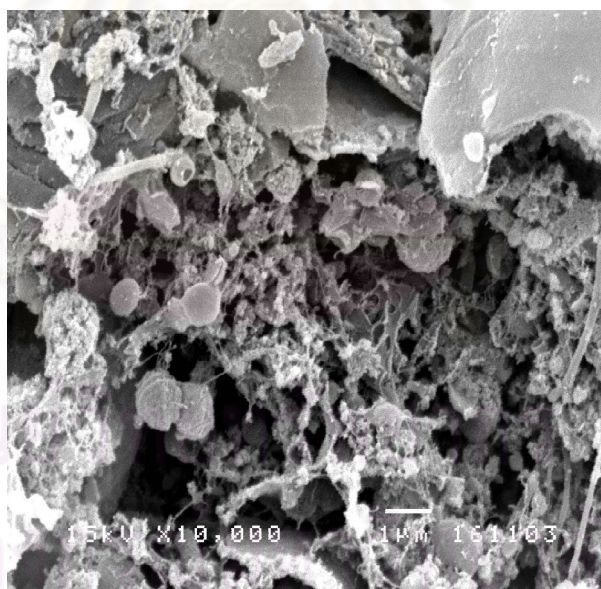
รูปที่ 4.22 เม็ดตะกอนจูลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 5 ของการทดลอง



ก. เม็ดตะกอนจูลินทรีซ์ขยาย 35 เท่า

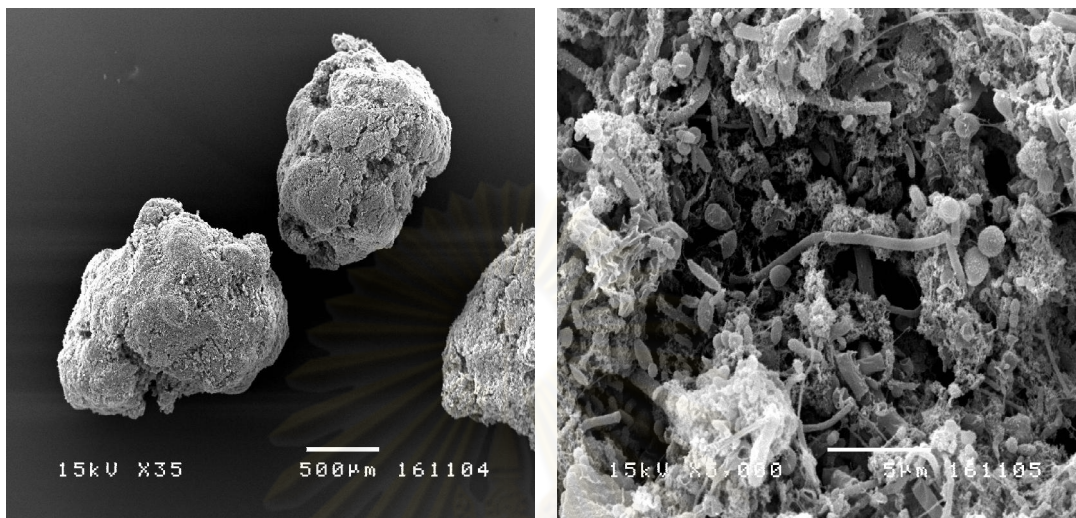


ข. เม็ดตะกอนจูลินทรีซ์ขยาย 5,000 เท่า



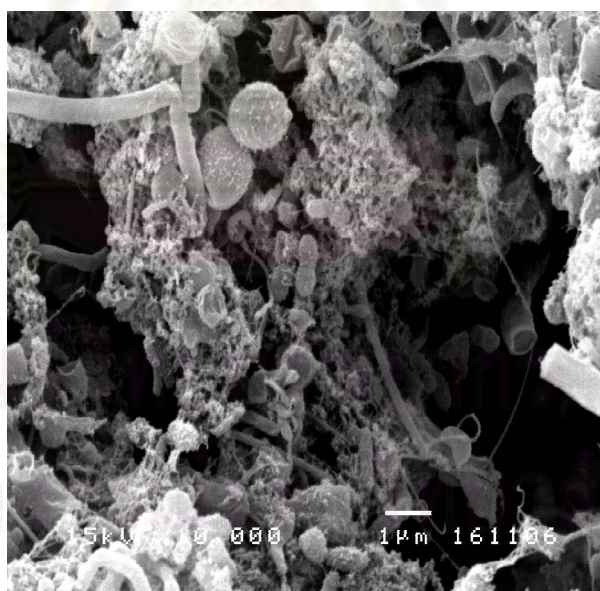
ค. เม็ดตะกอนจูลินทรีซ์ขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 4.23 เม็ดตะกอนจูลินทรีซ์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง



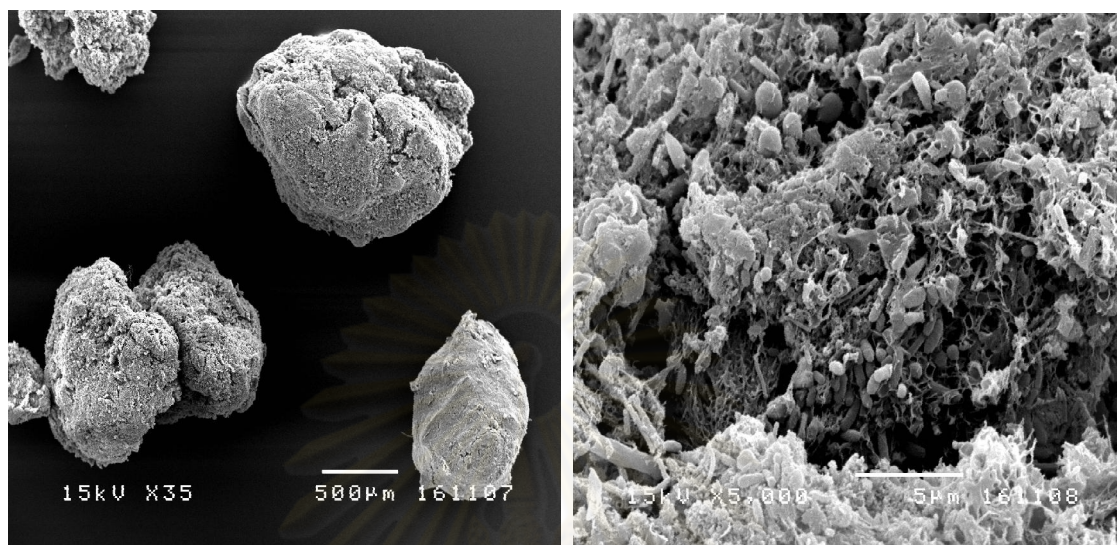
ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า

ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า



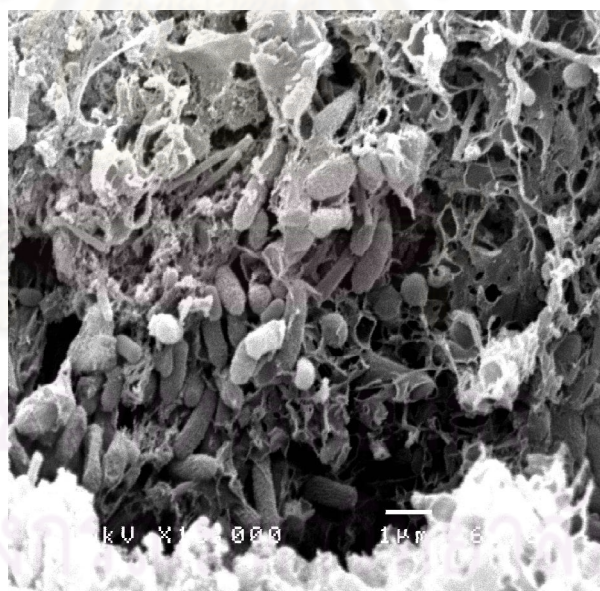
ค. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 4.24 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง



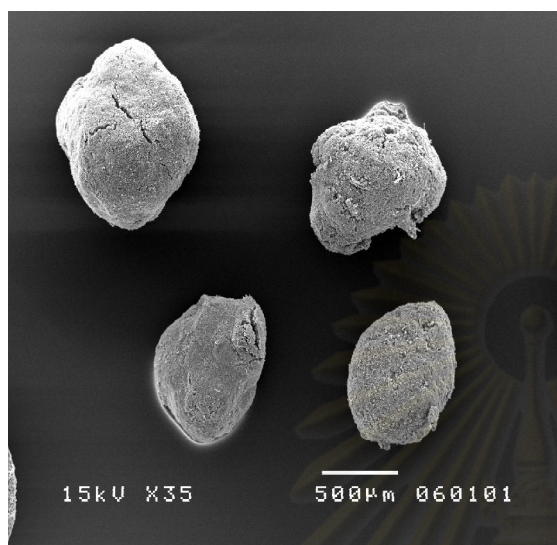
ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า

ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

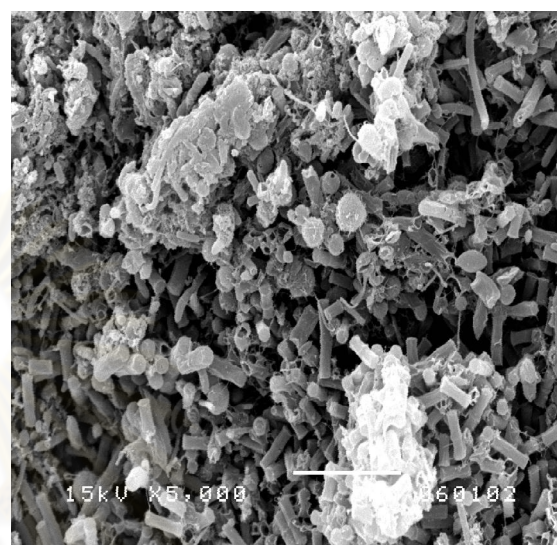


ค. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

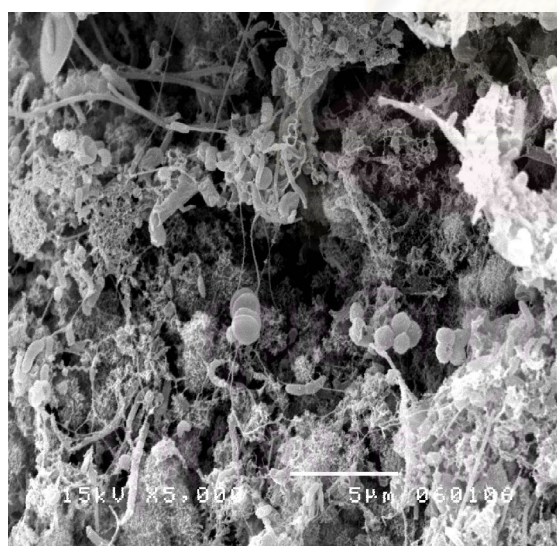
รูปที่ 4.25 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง



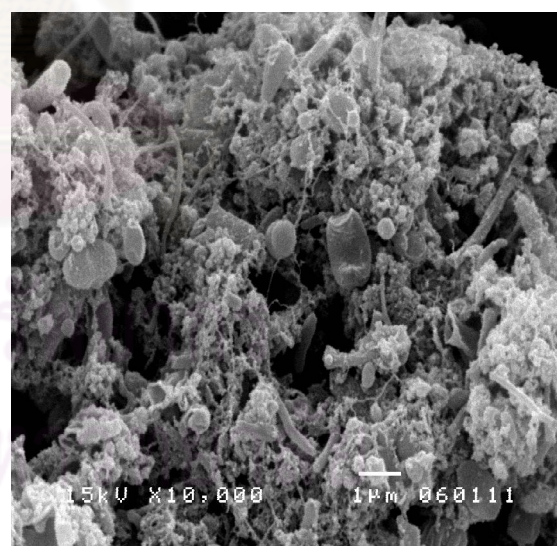
ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า



ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

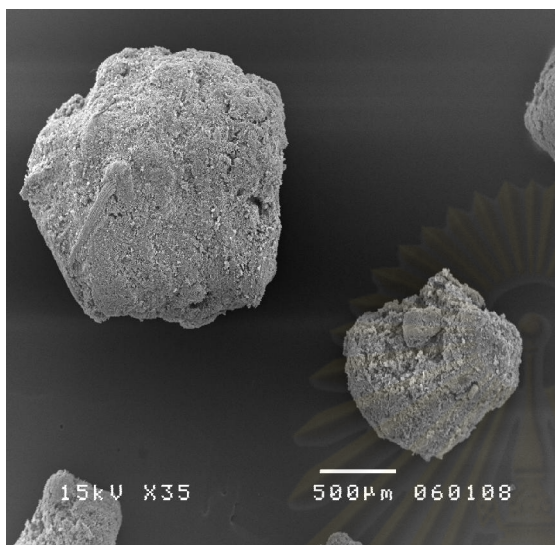


ค. ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

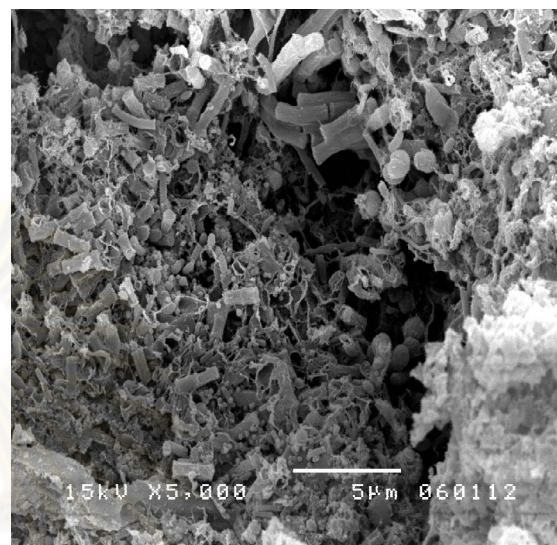


ง. ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

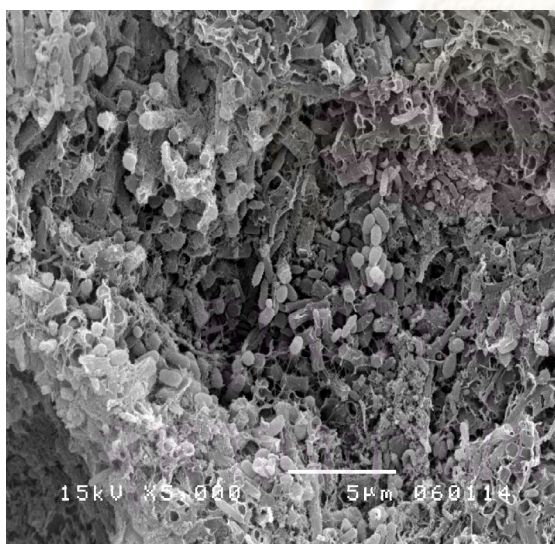
รูปที่ 4.26 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง



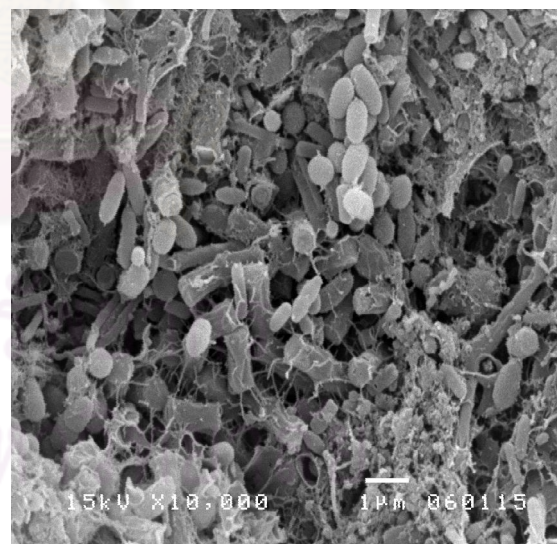
ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า



ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

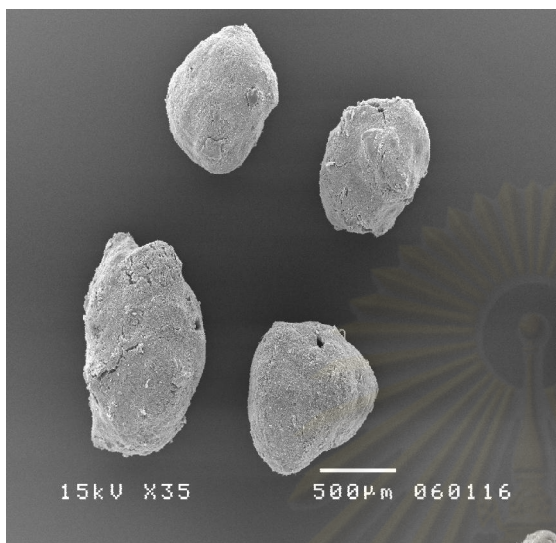


ค. ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า

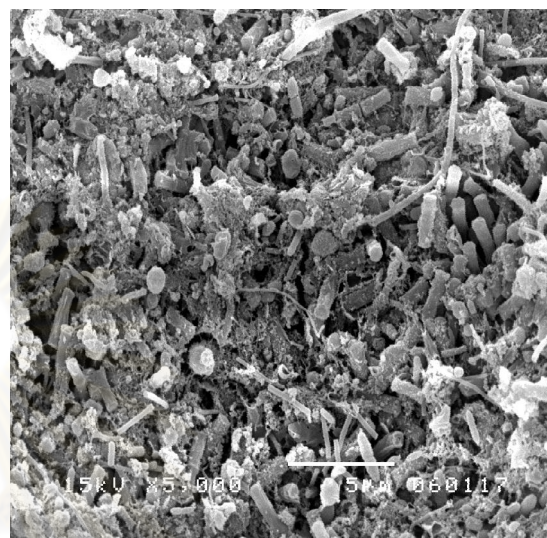


ง. ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 4.27 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง



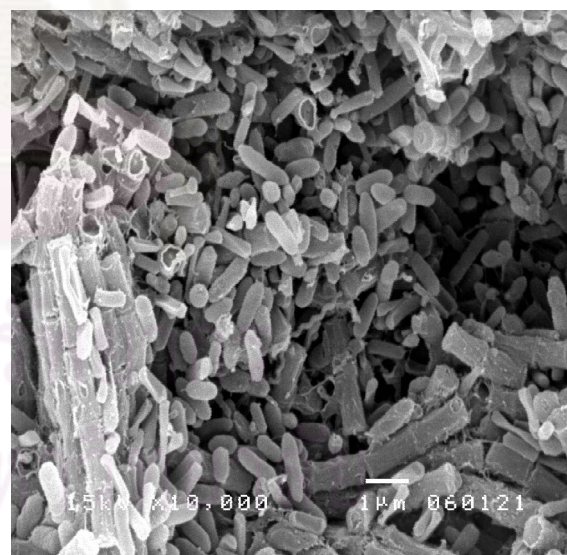
ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 35 เท่า



ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า



ค. ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 5,000 เท่า



ง. ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 4.28 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อศึกษาโครงสร้างภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ จากรูปที่ 4.20 ถึง 4.28 พบว่าเมื่อเริ่มต้นระบบในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ขนาดของตะกอนมีขนาดเล็กมากและมีรูปร่างหลากหลาย และยังไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนกระจายอยู่ทั่ว เมื่อดูที่ผิวของเม็ดตะกอนพบว่า มีแบคทีเรียหลายชนิดเจริญเติบโตโดยการสร้างเส้นใยเกี่ยวพันกันเพื่อยึดกันไว้ ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก. วิเอสเอส นั้นมีเม็ดตะกอนขนาดใหญ่กว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด จากลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนพบว่ามีการเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ และมีแบคทีเรียหลายชนิดเจริญเติบโตลักษณะคล้ายกับถังปฏิกรณ์ที่ 1 ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เม็ดตะกอนมีขนาดใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ที่ 2 และมีลักษณะโครงสร้างกันทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ เมื่อสิ้นสุดช่วงการทดลองที่ 1 พบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ยังมีขนาดเม็ดตะกอนไม่ต่างจากเดิมมากนัก และไม่มีการรวมตัวเป็นเม็ดสมบูรณ์ ลักษณะพื้นผิวของตะกอนที่เกิดขึ้นมีแบคทีเรียรูปกลมเป็นส่วนใหญ่และมีการสร้างเส้นใยยึดเกี่ยวกันหนาแน่นมากขึ้นกว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 พบว่ามีการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนสมบูรณ์มากขึ้นแต่ยังมีโพรง มีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีผิวเรียบกว่าช่วงเริ่มต้นระบบ ที่ผิวของเม็ดตะกอนพบแบคทีเรียรูปแท่ง รูปรี และมีรูปกลมเป็นส่วนใหญ่ โดยมีการสร้างเส้นใยเกี่ยวพันหนาแน่น ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เม็ดตะกอนมีรูปร่างค่อนข้างกลม และเริ่มรวมตัวกันสมบูรณ์เป็นก้อนแน่น เมื่อดูที่ผิวเม็ดตะกอนพบว่า มีแบคทีเรียรูปกลมและมีแบคทีเรียรูปรีเป็นส่วนใหญ่ เกิดการสร้างเส้นใยเกาะกันเช่นเดียวกับในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนสมบูรณ์แต่มีขนาดเล็กกว่าเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 โดยเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะกลมแน่นแต่ยังมีโพรงอยู่บ้างเล็กน้อย มีพื้นผิวเรียบ จากการขยายพื้นผิวของเม็ดตะกอนพบว่า มีแบคทีเรียแบบแท่งเป็นส่วนใหญ่เกาะตัวกันอย่างหนาแน่นอยู่บนพื้นผิว และมีแบคทีเรียรูปกลมและรีกระจายอยู่ทั่วไป ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีขนาดของเม็ดตะกอนขนาดใหญ่และแน่นแต่มีพื้นผิวไม่เรียบนัก เมื่อขยายพื้นผิวพบแบคทีเรียแบบแท่งและแบบกลมอยู่กันอย่างหนาแน่นและสร้างเส้นใยเกี่ยวพันเป็นร่างแหและมีแบคทีเรียรูปกลมขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วพื้นผิว ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 พบว่าเม็ดตะกอนมีความสมบูรณ์ มีลักษณะ กลม แน่น มีผิวเรียบ และมีขนาดใกล้เคียงกัน จากการขยายพื้นผิวของเม็ดตะกอนพบว่า มีแบคทีเรียหลายชนิดเกาะกลุ่มกันหนาแน่น มีแบคทีเรียรูปแท่งเป็นส่วนใหญ่และมีแบคทีเรียชนิดอื่นๆ กระจายอยู่ทั่วไป

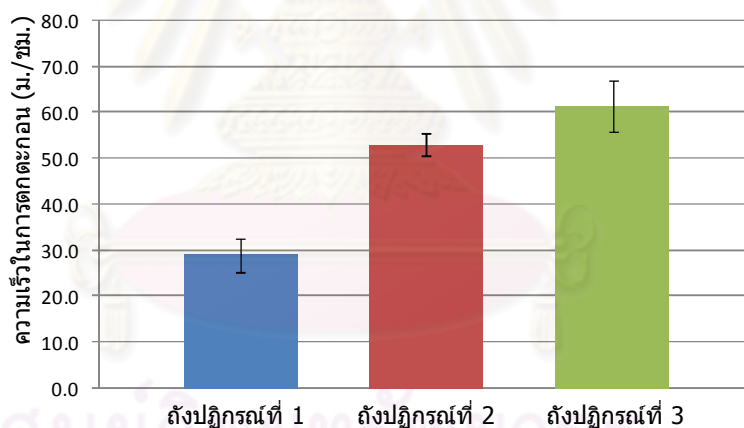
จากการผ่าเม็ดตะกอนเพื่อศึกษาโครงสร้างภายในเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 โครงสร้างภายในของเม็ดตะกอนยังมีโพรงอยู่และยึดเกี่ยวกันด้วยเส้นใยที่แบคทีเรียสร้างขึ้นมีแบคทีเรียหลายชนิดกระจายอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นรูปกลม ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อผ่าเม็ดตะกอนพบว่ามีการเรียงตัวเป็นชั้น โดยมีแบคทีเรียรูปแท่งเกาะตัวกันอยู่เป็นชั้นนอกและมีแบคทีเรียรูปกลมและรูปรีอยู่ตรงกลางเชื่อมต่อกันด้วยเส้นใยที่สร้างขึ้นคล้ายร่างแห ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 มี

โครงสร้างคล้ายกันกับโครงสร้างภายในของเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่สอง โดยมีแบคทีเรียรูปแท่งเป็นชั้นนอกและมีแบคทีเรียรูปกลมและรีรวมตัวกันอยู่ตรงใจกลางเม็ดตะกอน

4.3.3 ความเร็วในการตกตะกอน

ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดยูเอเอสบีที่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดและเพื่อให้น้ำหนักและตกตะกอนได้ง่ายขึ้นซึ่งจะทำให้ไม่หลุดออกไปจากถังปฏิกรณ์ โดยการตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของเม็ดตะกอน ซึ่งน้ำหนักเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่มาจับกับเม็ดตะกอนทำให้มีขนาดที่ต่างกัน

การทดลองนี้นำตะกอนจุลินทรีย์ถังปฏิกรณ์ของทั้งสามถังปฏิกรณ์มา ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ขึ้นอยู่กับช่วงสุดท้ายของการเดินระบบ ลักษณะของตะกอนดังรูปที่ 4.30 โดยนำตะกอนจุลินทรีย์จากทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ถึงละ 50 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที แล้วเอาส่วนน้ำใสทิ้งไป หลังจากนั้นนำส่วนที่เป็นตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดลงในกระบอกตวง 1000 มล. แล้วทำการจับเวลาในการตกตะกอน ทำให้ทราบถึงความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดจุลินทรีย์โดยใช้กลุ่มเม็ดตะกอนกลุ่มแรกๆที่มีความสามารถในการตกตะกอนดีที่สุดเป็นตัวแทนของการทดลองนี้

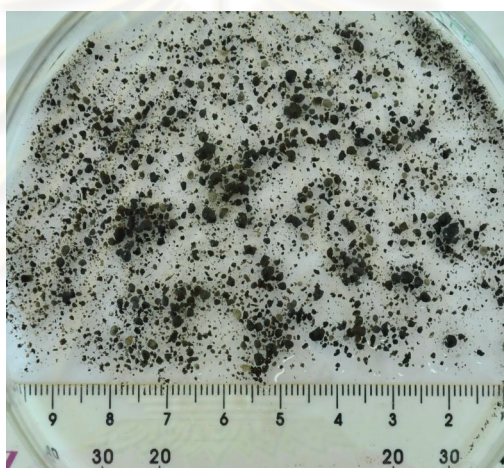


รูปที่ 4.29 ความเร็วในการตกตะกอนของแต่ละถังปฏิกรณ์

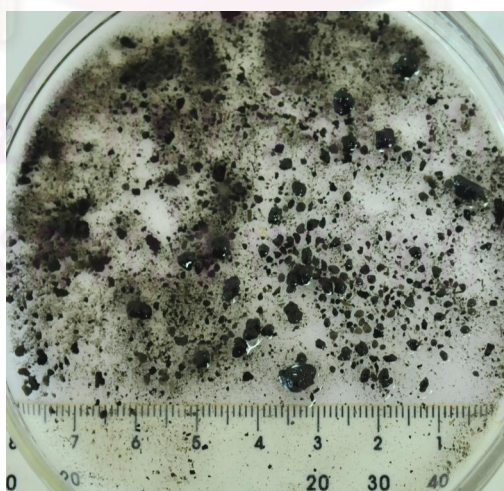
จากรูปที่ 4.26 พบว่าทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์มีความเร็วในการตกตะกอน ของตะกอนจุลินทรีย์กลุ่มที่ตกตะกอนได้ดีที่สุดต่างกัน โดยถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีความเร็วในการตกตะกอนต่ำที่สุดเท่ากับ 27.64 ม./ชม. และในถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ซึ่งเติมพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 52.1 และ 61.64 ม./ชม. เมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์ที่ 1



ก. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิบัติการที่ 1



ข. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิบัติการที่ 2

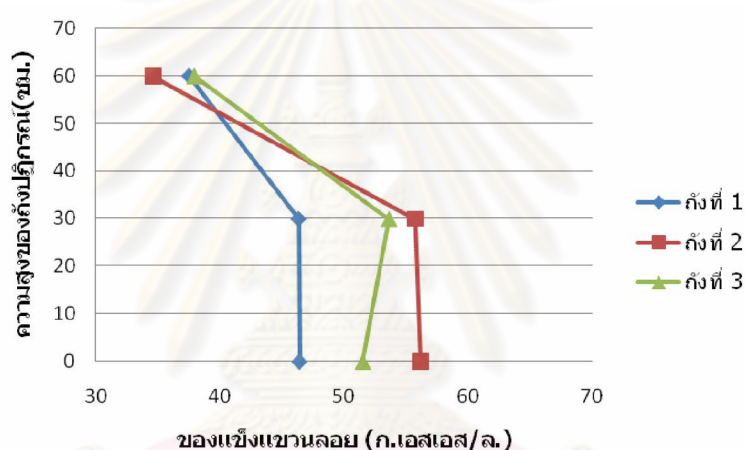


ค. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิบัติการที่ 3

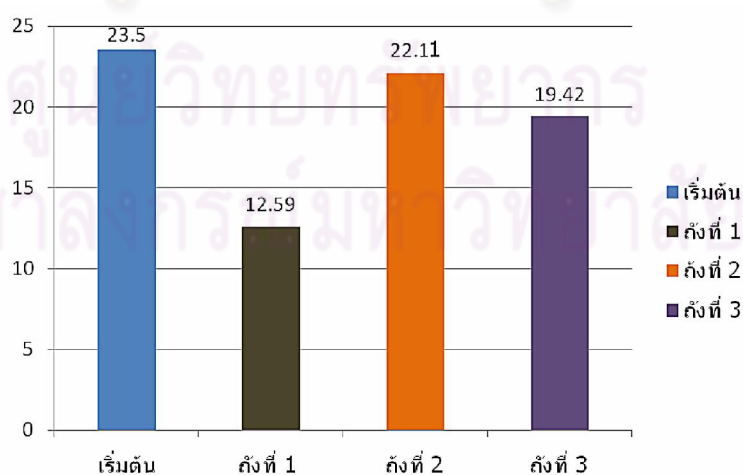
รูปที่ 4.30 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

4.3.4 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์

การทดลองนี้ศึกษาถึง การกระจายตัวของมวลจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์ เพื่อพิจารณาความเข้มข้นของจุลินทรีย์ มีค่ามากที่สุดที่ความสูงใดของถังปฏิกรณ์ และเพื่อศึกษาถึงความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ในระบบเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบระยะยาว โดยเป็นการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยตามความสูงของถังปฏิกรณ์ ซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนของจุลินทรีย์ในระบบ พบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส จะมีความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ในทุกความสูงของถังปฏิกรณ์ เหลืออยู่ในระบบมากกว่าถังปฏิกรณ์อื่นๆ แสดงให้เห็นว่าระบบยูเอสบีทีที่เติมพอลิเมอร์ลงไปในระบบสามารถช่วยลดการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยออกจากระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.31



ก. ปริมาณของแข็งแขวนลอยตามลำดับความสูง

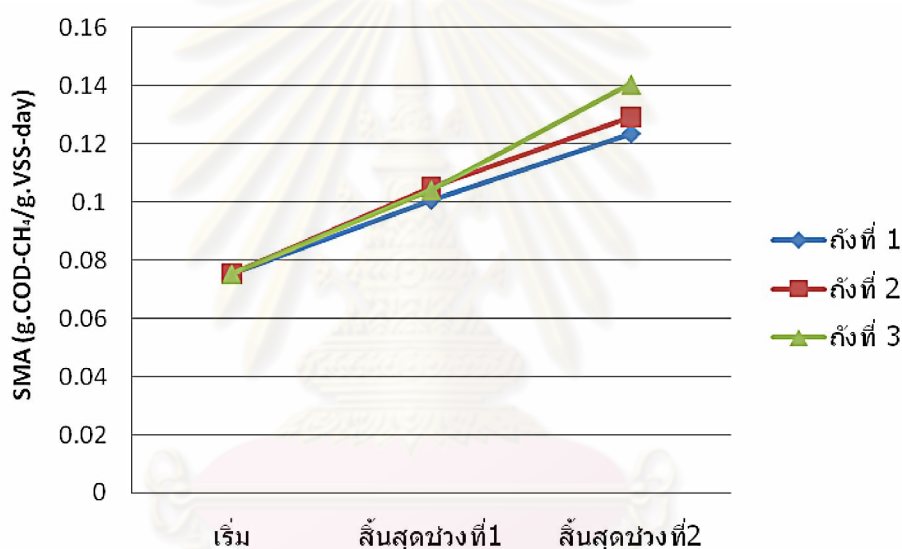


ข. ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 4.31 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3

4.4 ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน

ศึกษาถึงความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity ; SMA) ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ โดยการศึกษาถึงความสามารถของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบว่า มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์มากน้อยเพียงใด โดยดูจากอัตราการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งแบคทีเรียที่มีอัตราการสร้างก๊าซมีเทนสูง จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สูง โดยการหาค่า SMA ของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นระบบ และหลังจากทดลองในแต่ละช่วงที่ระบบปรับภาวะในการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งได้แสดงวิธีการหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนไว้ในภาคผนวก ง.



รูปที่ 4.32 แสดงค่า SMA ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ตลอดการทดลอง

ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ไม่เติม พอลิเมอร์)

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (เติม พอลิเมอร์ 6 มล./กรัม เอสเอส)

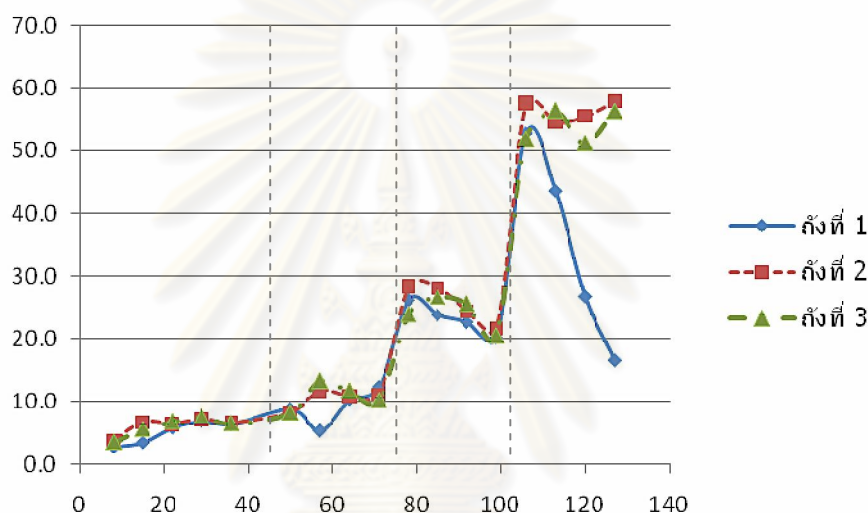
ถังปฏิกรณ์ที่ 3 (เติม พอลิเมอร์ 8 มล./กรัม เอสเอส)

จากรูปที่ 4.32 แสดงค่า SMA ของแต่ละถังปฏิกรณ์เทียบกับตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าตะกอนของจุลินทรีย์เริ่มต้นมีค่า SMA ต่ำ แสดงว่าตะกอนที่นำมาจากระบบยูเอเอสบีของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋องมีความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนน้อย และเมื่อเริ่มปรับตัวเข้ากับสภาพของน้ำเสียและสภาพในระบบจึงมีอัตราการเกิดแก๊สมีเทนเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับและเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่า SMA ของถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.14 ก.ซีไอดี-มีเทน/ก.วีเอสเอส-วัน

4.5 ปริมาณแก๊สชีวภาพ

4.5.1 ปริมาณแก๊สชีวภาพทั้งหมด

ปริมาณแก๊สจากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลตลอดระยะเวลาการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ไม่มีการเติมพอลิเมอร์ ถึงถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส และถังปฏิกรณ์ที่ 3 ที่มีการเติมพอลิเมอร์ 8 มก./ก.วีเอสเอส สามารถวัดได้จากอุปกรณ์เก็บแก๊สที่ใช้การแทนที่น้ำซึ่งเป็นการเก็บปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบ ปริมาณแก๊สชีวภาพแสดงดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ปริมาณแก๊สตลอดระยะเวลาการทดลอง

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าปริมาณแก๊สของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นจนถึงวันที่ 101 ของการทดลองแก๊สจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดต่างจากอีก 2 ถังที่มีการเติมพอลิเมอร์ เนื่องจากในช่วงนั้นมีการเพิ่มค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ทำให้ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เกิดการหลุดของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบในปริมาณสูงส่งผลให้การสร้างปริมาณแก๊สลดลงอย่างเห็นได้ชัด ค่าปริมาณแก๊สในแต่ละช่วงค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่าปริมาณแก๊สในแต่ละช่วงค่าการะบรทุกสารอินทรีย์

ค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ปริมาณแก๊ส (ลิตร)		
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3
1	25.6	30.8	30.0
2	37.1	42.1	43.5
4	93.1	102.6	96.6
6	139.9	225.4	215.6

4.5.2 สัดส่วนของแก๊สมีเทน

ในการทดลองนี้ทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ 1, 2, 4 และ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยเก็บตัวอย่างด้วยถุงเก็บแก๊สและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph Model Trace GC ยี่ห้อ Thermo Finnigan ใช้ Column Molecular Sieve แสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์แก๊สมีเทนจากถึงปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3

ค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	เปอร์เซนต์แก๊สมีเทน		
	ถึงปฏิกรณ์ที่ 1	ถึงปฏิกรณ์ที่ 2	ถึงปฏิกรณ์ที่ 3
1	50.6	61.7	50.3
2	84	89.4	89.1
4	83.5	87.2	86.4
6	81.7	80.2	87.8

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่กำหนดค่าการะบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. นั้นค่าเปอร์เซนต์แก๊สมีเทนมีค่าต่ำเนื่องจากระบบอยู่ในสภาวะปรับสภาพและความเข้มข้นของค่าซีโอดีนั้นต่ำ และเมื่อเริ่มเพิ่มค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ เปอร์เซนต์แก๊สก็มีค่าสูงขึ้นและเริ่มคงที่ โดยมีเปอร์เซนต์แก๊สมีเทนสูงที่สุดที่ค่าการะบรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. ในทุกถึงปฏิกรณ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ประจุบวกต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสพีสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานและระบบยูเอเอสพีระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 3 ชุดสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ผลของการเติมพอลิเมอร์ประจุบวกชนิด Praestol 852 BC ลงในระบบยูเอเอสพีสามารถเพิ่มขนาดตะกอนในระบบอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่เติมพอลิเมอร์ โดยที่การเติมพอลิเมอร์ให้ผลแตกต่างกันในเรื่องขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ และการเติมพอลิเมอร์สามารถเพิ่มความสามารถในการจับตัวของตะกอนจุลินทรีย์ รวมถึงการรักษาปริมาณตะกอนในระบบให้คงอยู่ทำให้สามารถกักเก็บแบคทีเรียสร้างมีเทนไว้ในระบบได้มากขึ้นและเพิ่มการผลิตแก๊สชีวภาพจากระบบได้มากกว่าตามไปด้วย เนื่องจากพอลิเมอร์ประจุบวกทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่ออนุภาคของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเป็นประจุลบให้มาจับตัวกัน ตามหลักทฤษฎี Polymer Bridging ทำให้ตะกอนเป็นเม็ดได้เร็วขึ้นและมีความหนาแน่นสูง

2) ผลจากการเติมพอลิเมอร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด ในช่วงที่ 1 ของการทดลองถึงปฏิกรณ์ที่มีการเติมพอลิเมอร์มีความสามารถในการบำบัดสูงกว่าและเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ไวกว่าระบบที่ไม่เติมพอลิเมอร์ ในช่วงการทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเพิ่มค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ ระบบที่มีการเติมพอลิเมอร์ยังมีความสามารถในการบำบัดสูงกว่าเช่นกันและยังได้รับผลกระทบจากการเพิ่มค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์น้อยกว่า และระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ไวกว่าระบบที่ไม่เติมพอลิเมอร์ในทุกช่วงที่มีการเพิ่มค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ และยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี และ บีโอดี เกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ตลอดช่วงการทดลองที่ 2 แต่ระบบยูเอเอสพีทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ทั้งที่เติมและไม่เติมพอลิเมอร์ไม่สามารถบำบัดค่าที่เคเอ็นและไนเตรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) จากการวิจัยพบว่า การเติมพอลิเมอร์ 6 และ 8 มก./ก.วีเอสเอส นั้นผลที่ได้ไม่แตกต่างกันทั้งในด้านขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ รวมถึงผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบยูเอเอสพี จึงสามารถเลือกค่าปริมาณพอลิเมอร์ที่เหมาะสม (Optimum Dose) ได้ที่ 6 มก./ก.วีเอสเอส และสามารถเลือกอัตราค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมที่ 4 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ที่ให้ประสิทธิภาพบำบัดสูงและไม่เกิดการหลุดของตะกอนจุลินทรีย์มาก ซึ่งเป็นแนวทางในการใช้กับระบบบำบัดยูเอเอสพีสำหรับอุตสาหกรรมอาหารทะเลต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้มีข้อเสนอแนะในการทำการวิจัยต่อไปดังนี้

- 1) ศึกษาระบบบำบัดยูเอเอสบีโดยการใช้น้ำเสียจริงที่ไม่มีการเจือจางเพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงของการเดินระบบในโรงงาน
- 2) ศึกษาการต่อเติมระบบบำบัดยูเอเอสบีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดค่าที่เคเอ็นและไนเตรต
- 3) ศึกษาผลของการใช้พอลิเมอร์และความคุ้มค่าต่อการสร้างเม็ดตะกอนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป



ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกียรติพงษ์ เจริญสุข. 2546. การกำจัดน้ำมันสำหรับน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จันทิมา สกลพานิชย์. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงโดยใช้ระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภูคำ พิมพ์กร. 2546. การใช้กระบวนการยูเอเอสบี – แอนนีออกซิก – แอโรบิก ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียสะพานปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2532. วิศวกรรมประปา. เล่มที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2543. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สวีณา เกตุสุวรรณ. 2543. การลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. อุตสาหกรรมอาหาร. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.oie.go.th/industrystatus2_th_1.asp?group=16&group_1=อาหาร. [2552, ธันวาคม 28]
- สุภาภรณ์ สันทัดเสรีอนันต์. 2545. ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการสร้างเม็ดของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สุเมธ ชวเดช. 2540. รายงานการวิจัยระบบยูเอเอสบี – ตัวกลางกรองแบบอนุภูมิสูงและสองขั้นตอนสำหรับกากส่าและผลิตภัณฑ์ก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดมศักดิ์ เจียรวิชัย. 2541. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดขี้ด้นสำหรับน้ำเสีย
โรงงานผลิตนมถั่วเหลืองด้วยกระบวนการดีเอเอฟกับกระบวนการ โคแอกกูเลชัน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Baris, C., Bulent, M., Bulent, I., and Orhan, Y. 2005. Effects of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors. Process Biochemistry. 40: 1285-1292
- Chen, J., and Lun, S.Y. 1993. Study of Mechanism of Anaerobic Sludge Granulation in UASB Reactors. Water Science and Technology. 28, 7: 171-178.
- Francese, A., Cordoba, P., Duran, J. and Sineriz, F. 1998. High Upflow Velocity and Organic Loading Rate Improve Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. World Journal of Microbiology and Technology. 14, 3: 337-341.
- Hulshoff Pol, L.W.P., de Zeeuw, W.J., Velzeboer, C.T.M., and Lettinga, G. 1983. Granulation in UASB Reactors. Water Science and Technology. 15: 291-304.
- Ismail, S.B., de La Parra, C.J., Temmink, H., and van Lier, J.B. 2010. Extracellular polymeric substances (EPS) in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors operated under high salinity conditions. Water Research. 44: 1909-1917.
- Jeong, H.S., Kim, Y.H., Song, B.K., and Lee, S.I. 2005. Facilitated UASB granule Formation Using organic-inorganic hybrid polymer. Process Biochemistry. 40: 89-94.
- Kato, M.T. 1994. The anaerobic treatment of low strength soluble wastewaters in UASB reactors. Journal of Fermentation and Bioengineering. 77: 679.
- Kugelman, I.J., and McCarty, P.L. 1965. Cation Toxicity and Stimulation in Anaerobic Wastewater Treatment. Journal of WPCF. 37, 1: 97-116.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Public Works. 9-12.
- McLeod, F.A., Guiot, S.R. and Costerton, J.W. 1990. Layered Structure of Bacterial Aggregates Produced in an Upflow Anaerobic Sludge Bed and Filter Reactor. Applied and Environment Microbiology. 56, 6: 1598-607.
- Mosey, F.E. and Hughes, D.A. 1975. The Toxicity of Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion. Water Pollution Control. 74: 18-39.

- Palenzuela-Rollon, A., Zeeman, G., Lubberding, H.J., Lettinga, G., and Alaerts, G.J. 2002. Treatment of fish processing wastewater in a one- or two-step upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Water Science and Technology. 45, 10: 207-12
- Puñal, A. and Lema, J.M. 2000. Anaerobic treatment of wastewater from a fish-canning factory a full-scale upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Water Science and Technology. 40, 8: 57-62
- Sam-soon, P.A.L.N.S, Loewenthal, R.E., Wentzel, M.C. and Marais, G.V.R. 1987. Growth of Biopellets on Glucose in Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) System. Water SA. 16, 13: 151-164.
- Schulze, D., Fiebig, R. and Dellweg, H. 1988. Development of Granular Sludge in the UASB Treatment of Model Waste Water Containing Gelatine. Biotechnology Letters. 10, 5: 319-324.
- Teo, K.C., Xu, H.L., and Tay, J.H. 2000. Molecular mechanism of granulation II: proton translocating activity. Journal of Environmental Engineering. 126, 5: 411-418
- Van Handel, A.C. and Lettinga, G. 1994. Application of Anaerobic Digestion to Sewage Treatment. In Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with a Hot Climate. John Wiley & Sons.
- Wiegant, W.M. and de Man, A.W.A. 1985. Granulation of Biomass in Thermophilic Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors Treating Acidified Waste-Waters. Biotechnology and Bioengineering. 28: 718-727.
- Wiegant, W.M. and Lettinga, G. 1986. Thermophilic Anaerobic Digestion of Sugar in Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. Biotechnology and Bioengineering. 28: 718-727.
- Yu, H.Q., Fang, H.H.P. and Tay, J.H. 2001a. Enhanced Sludge Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors by Aluminum Chloride. Chemosphere. 44: 31-36.
- Yu, H.Q., Fang, H.H.P. and Tay, J.H. 1999. Effects of powdered and granular activated carbons on start-up performance of UASB reactor. Environmental Technology. 20: 1095-1101.
- Yu, H.Q., Tay, J.H. and Fang, H.H.P. (2001b). The Roles of Calcium in Sludge Granulation During UASB Reactor Start-up. Water Research. 35, 4: 1052-1060.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย

ตารางที่ ก.1 ค่าพีเอชและอุณหภูมิ

วันที่	pH						Temp					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1	7.35	7.42	7.58	7.38	7.41	7.59	28.8	29.1	29.2	28.9	29.1	29.2
3	7.46	7.46	7.31	7.21	7.20	7.61	29.1	29.1	29.1	29.0	29.0	29.2
5	7.52	7.01	7.31	7.45	7.42	7.07	29.2	28.9	29.1	29.1	29.1	28.9
8	7.30	7.30	7.03	7.61	7.39	7.47	29.1	29.1	28.9	29.2	29.1	29.1
10	7.31	7.34	7.39	7.11	7.40	7.38	29.1	29.1	29.1	29.0	29.1	29.1
12	7.36	7.44	7.51	7.50	7.49	7.39	29.1	29.1	29.2	29.2	29.1	29.1
15	7.77	7.07	7.70	7.17	7.56	7.28	29.3	28.9	29.3	29.0	29.2	29.0
17	7.25	7.09	7.27	7.49	7.52	7.13	29.0	28.9	29.0	29.1	29.2	29.0
19	7.53	7.28	7.35	7.49	7.61	7.54	29.2	29.0	29.1	29.1	29.2	29.2
22	7.23	7.40	7.70	7.41	7.18	7.31	29.0	29.1	29.3	29.1	29.0	29.1
24	7.38	7.11	7.25	7.16	7.07	7.66	29.1	29.0	29.0	29.0	28.9	29.2
26	7.62	7.41	7.59	7.39	7.08	7.50	29.2	29.1	29.2	29.1	28.9	29.2
29	7.40	7.28	7.43	7.35	7.43	7.28	29.1	29.0	29.1	29.1	29.1	29.0
31	7.31	7.55	7.62	7.26	7.61	7.28	29.1	29.2	29.2	29.0	29.2	29.0
33	7.27	7.09	7.32	7.26	7.36	7.27	29.0	28.9	29.1	29.0	29.1	29.0
36	7.22	7.69	7.41	7.30	7.29	7.32	29.0	28.8	29.1	29.1	29.0	29.1
38	7.66	7.45	7.27	7.60	7.33	7.49	29.2	29.1	29.0	29.2	29.1	29.1
40	7.50	7.37	7.31	7.61	7.42	7.07	29.2	29.1	29.1	29.2	29.1	28.9
45	7.10	7.42	7.12	7.34	7.10	7.36	28.5	27.8	28.7	28.1	27.9	28.2
47	7.15	7.48	7.11	7.47	7.30	7.15	28.5	27.9	28.7	28.1	28.0	28.2
50	7.17	7.25	7.17	7.66	7.01	7.37	28.6	28.1	28.4	28.1	28.6	28.1
52	6.92	7.27	6.90	7.22	6.92	7.35	28.3	28.0	28.7	28.0	28.3	28.2
54	7.15	7.32	7.03	7.31	7.17	7.36	28.1	28.2	28.4	27.9	28.6	28.1
57	7.23	7.73	7.12	7.65	7.32	7.44	28.5	28.1	28.2	28.1	28.6	27.9
59	7.00	7.21	7.01	7.21	6.93	7.52	28.4	28.1	28.1	28.1	28.4	27.9
61	7.32	7.49	7.10	7.55	7.18	7.47	28.5	28.2	28.6	28.1	28.7	28.1
64	7.22	7.19	7.04	7.39	7.20	7.57	28.4	28.1	28.5	28.1	28.4	28.1
66	7.02	7.34	7.09	7.57	7.09	7.43	28.5	28.0	28.5	28.1	28.2	28.1
68	7.07	7.58	7.15	7.37	7.22	7.34	28.5	28.1	28.6	28.1	28.5	28.2
71	7.21	7.36	7.19	7.42	7.09	7.34	28.6	28.2	28.5	28.1	28.6	28.1
75	6.60	7.39	6.61	7.58	6.77	7.40	28.5	28.6	28.5	28.5	28.5	28.7
78	6.80	7.10	6.81	7.48	6.92	7.50	28.7	28.8	28.7	28.8	28.7	28.9
80	6.90	7.16	6.91	7.58	6.97	7.54	28.8	28.9	28.9	28.9	28.8	29.0
82	6.94	7.26	6.95	7.62	6.71	7.36	28.9	28.9	29.0	29.0	28.9	29.1
85	6.80	7.30	6.77	7.44	6.88	7.47	28.7	28.8	28.7	28.7	28.7	28.8
87	6.76	7.12	6.88	7.55	6.72	7.37	28.8	28.9	28.9	28.9	28.8	29.0
89	6.80	7.12	6.81	7.45	6.77	7.60	28.3	28.6	28.2	28.7	28.3	28.4
92	6.98	7.09	6.95	7.41	6.98	7.32	29.1	29.5	29.1	29.5	29.0	29.5
94	6.96	7.28	6.92	7.49	6.95	7.33	29.4	29.2	29.2	29.2	29.2	29.3
96	6.62	7.27	6.71	7.53	6.68	7.42	29.1	29.0	29.0	29.4	29.2	29.1
99	6.82	7.53	6.91	7.68	6.88	7.54	28.6	28.5	28.6	28.6	28.7	28.7
101	6.95	7.41	6.93	7.56	6.95	7.74	28.9	29.2	29.2	29.2	29.1	29.2
103	6.89	7.18	6.74	7.31	6.93	7.26	29.5	29.7	29.5	30.2	29.7	30.2
106	6.80	7.18	6.73	7.23	6.78	7.45	29.0	28.7	28.9	29.2	29.2	29.2
108	6.84	7.22	6.92	7.32	6.75	7.29	29.6	29.4	29.6	29.6	29.6	29.5
110	6.74	7.16	6.70	7.34	6.73	7.32	29.4	29.3	29.5	29.2	29.4	29.5
113	6.71	7.26	6.71	7.39	6.77	7.30	28.8	29.3	28.7	29.4	28.9	29.6
115	6.80	7.06	6.76	7.34	6.79	7.28	29.6	29.2	29.2	29.5	29.1	29.5
117	6.73	7.16	6.77	7.36	6.70	7.33	29.9	29.8	29.0	29.6	30.0	29.9
120	6.74	7.21	6.72	7.33	6.76	7.35	29.4	29.6	29.4	29.3	29.4	29.4
122	6.73	7.22	6.67	7.36	6.71	7.34	28.8	29.2	29.1	29.2	29.2	29.3
124	6.65	7.14	6.66	7.27	6.65	7.18	29.5	29.5	29.4	29.5	29.5	29.5
127	6.78	7.19	6.69	7.19	6.64	7.26	29.1	28.9	29.1	29.1	29.3	29.2
129	6.73	7.15	6.61	7.27	6.62	7.32	29.6	29.6	29.4	29.6	29.6	29.4

ตารางที่ ก.2 ค่าโออาร์พีและความเค็ม

วันที่	ORP						Salinity					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1	-239	-80	-275	-110	-314	-113	1.29	1.34	1.26	1.29	1.26	1.30
3	-268	-118	-343	-155	-275	-183	1.37	1.57	1.40	1.19	1.41	1.52
5	-304	-64	-302	-113	-318	-149	1.27	1.38	1.42	1.59	1.30	1.37
8	-271	-146	-271	-100	-318	-140	1.34	1.47	1.18	1.26	1.49	1.56
10	-276	-107	-299	-107	-311	-185	1.50	1.27	1.16	1.22	1.18	1.50
12	-291	-118	-297	-158	-281	-169	1.49	1.54	1.42	1.24	1.40	1.43
15	-324	-120	-279	-183	-317	-241	1.37	1.50	1.34	1.21	1.35	1.53
17	-264	-101	-297	-249	-236	-217	1.45	1.46	1.15	1.28	1.44	1.36
19	-281	-101	-270	-271	-302	-262	1.18	1.59	1.43	1.24	1.62	1.47
22	-301	-156	-318	-242	-285	-345	1.29	1.24	1.36	1.63	1.41	1.39
24	-292	-192	-305	-252	-290	-245	1.36	1.29	1.12	1.50	1.60	1.26
26	-287	-227	-302	-312	-260	-280	1.37	1.70	1.17	1.10	1.16	1.28
29	-303	-184	-303	-269	-294	-368	1.49	1.40	1.24	1.38	1.29	1.20
31	-275	-213	-296	-298	-330	-225	1.22	1.35	1.36	1.44	1.32	1.38
33	-283	-289	-281	-374	-300	-326	1.46	1.76	1.48	1.25	1.06	1.55
36	-287	-283	-306	-368	-281	-302	1.14	1.52	1.38	1.39	1.56	1.37
38	-305	-227	-316	-312	-292	-347	1.20	1.52	1.21	1.51	1.50	1.52
40	-268	-285	-306	-350	-280	-336	1.48	1.32	1.16	1.54	1.39	1.40
45	-338	-284	-312	-331	-320	-340	1.79	1.59	1.80	1.70	1.77	1.87
47	-358	-296	-355	-351	-249	-311	1.73	1.23	1.79	1.69	1.98	1.88
50	-283	-332	-419	-239	-323	-313	1.85	1.75	1.85	1.75	1.69	1.59
52	-288	-208	-273	-347	-314	-275	1.60	1.50	1.58	1.48	1.62	1.90
54	-305	-214	-301	-347	-318	-226	1.91	1.81	1.71	1.30	1.70	1.60
57	-443	-275	-417	-320	-346	-363	1.83	1.73	1.80	1.70	1.75	1.35
59	-268	-316	-268	-238	-371	-286	1.68	1.58	1.69	1.59	1.81	1.31
61	-361	-219	-381	-314	-356	-403	1.83	1.90	1.78	1.68	1.86	1.76
64	-262	-322	-328	-300	-388	-349	1.70	1.60	1.72	1.62	1.77	1.67
66	-311	-278	-390	-270	-284	-381	1.50	1.40	1.79	1.69	1.77	1.67
68	-392	-368	-289	-270	-383	-388	1.75	1.65	1.83	1.73	1.90	1.80
71	-317	-337	-322	-284	-386	-363	1.89	1.79	1.87	1.77	1.77	1.67
75	-354	-237	-359	-323	-373	-333	2.10	1.70	2.05	1.78	2.08	1.70
78	-358	-357	-351	-341	-369	-344	2.23	2.28	2.19	2.18	2.24	2.29
80	-357	-352	-347	-335	-367	-348	2.29	2.31	2.28	2.26	2.32	2.32
82	-349	-261	-346	-349	-374	-341	1.77	1.77	1.79	1.77	1.77	1.74
85	-356	-249	-353	-350	-370	-352	1.79	2.19	1.80	2.20	1.80	2.27
87	-358	-243	-348	-329	-374	-350	2.20	2.21	2.35	2.35	2.21	2.18
89	-347	-337	-348	-352	-384	-360	2.31	1.93	2.40	2.02	2.43	1.90
92	-365	-322	-354	-364	-390	-356	2.40	2.39	2.40	2.38	2.40	2.34
94	-352	-314	-351	-357	-379	-353	2.48	2.39	2.39	2.34	2.32	2.42
96	-355	-337	-357	-345	-365	-363	2.14	2.43	2.10	2.35	2.22	2.35
99	-348	-339	-328	-324	-329	-338	2.19	2.29	2.13	2.29	2.26	2.37
101	-356	-352	-354	-349	-390	-353	2.16	2.22	2.16	2.25	2.20	2.34
103	-358	-340	-357	-360	-359	-368	2.64	2.44	2.70	2.37	2.66	2.40
106	-330	-349	-345	-344	-341	-328	2.55	2.53	2.52	2.43	2.47	2.46
108	-286	-334	-308	-363	-317	-368	2.66	2.59	2.72	2.67	2.72	2.68
110	-382	-399	-395	-321	-305	-320	2.83	2.79	2.84	2.71	2.87	2.73
113	-309	-326	-322	-344	-328	-343	2.95	2.89	2.91	2.85	2.94	2.79
115	-338	-355	-351	-357	-341	-360	2.44	2.36	2.43	2.32	2.44	2.32
117	-304	-321	-317	-361	-345	-356	2.65	2.56	2.64	2.53	2.62	2.62
120	-360	-377	-373	-340	-324	-339	2.75	2.66	2.75	2.64	2.82	2.16
122	-309	-326	-322	-353	-337	-352	2.78	2.70	2.79	2.68	2.59	2.59
124	-331	-348	-344	-340	-324	-339	2.61	2.52	2.60	2.53	2.98	2.63
127	-330	-347	-343	-344	-328	-343	2.72	2.63	2.72	2.61	2.63	2.53
129	-341	-358	-354	-368	-352	-369	2.85	2.53	2.85	2.50	2.78	2.57

ตารางที่ ก.3 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

วันที่	COD						ประสิทธิภาพ		
	1		2		3		ถึง 1 (%)	ถึง 2 (%)	ถึง 3 (%)
	in	out	in	out	in	out			
1	469.0	70.2	480.0	41.0	485.0	35.3	85.03	91.46	92.73
3	416.9	66.6	400.0	74.5	461.0	81.4	84.02	81.39	82.34
5	602.8	44.7	546.0	44.7	759.4	22.3	92.59	91.82	97.06
8	556.0	130.9	622.0	54.6	589.2	83.6	76.45	91.23	85.81
10	490.6	53.3	545.5	42.7	501.3	32.0	89.13	92.18	93.62
12	500.7	62.6	521.6	52.1	532.0	41.7	87.50	90.01	92.16
15	552.9	93.8	500.7	41.7	573.8	41.7	83.03	91.67	92.73
17	563.3	67.8	594.6	31.3	584.2	31.3	87.96	94.74	94.64
19	530.0	43.3	521.0	29.1	538.4	28.2	91.82	94.41	94.76
22	536.6	87.1	535.8	37.3	552.2	35.6	83.76	93.04	93.55
24	510.9	99.0	557.6	49.1	533.8	47.4	80.63	91.19	91.12
26	512.9	78.3	507.5	32.4	509.3	21.6	84.73	93.62	95.76
29	605.7	62.7	617.4	36.6	635.8	34.9	89.66	94.06	94.50
31	565.3	99.6	557.0	49.7	557.6	48.0	82.39	91.07	91.39
33	537.9	57.0	527.7	40.5	507.5	38.8	89.41	92.32	92.35
36	548.5	63.4	524.4	40.2	530.7	38.5	88.45	92.32	92.74
38	520.8	79.4	509.4	29.5	520.5	27.8	84.76	94.21	94.66
40	503.7	72.6	540.1	22.8	521.2	21.1	85.59	95.79	95.96
45	1048	127.3	1048	114.8	1048	109.8	87.86	89.04	89.52
47	1028	87.4	1016	84.9	1011	112.3	91.50	91.64	88.89
50	998	97.3	1015	89.9	1000	97.3	90.25	91.14	90.27
52	1248	112.3	1198	72.4	1248	94.8	91.00	93.96	92.40
54	1118	79.9	1123	59.9	1098	79.9	92.86	94.67	92.73
57	1048	89.9	1098	62.4	1053	67.4	91.43	94.32	93.60
59	1148	77.4	1198	47.4	1173	62.4	93.26	96.04	94.68
61	1048	62.4	1123	54.9	1173	49.9	94.05	95.11	95.74
64	1098	54.9	1098	57.4	1148	39.9	95.00	94.77	96.52
66	1198	69.9	1173	49.9	1198	44.9	94.17	95.74	96.25
68	1148	49.9	1148	44.9	1173	52.4	95.65	96.09	95.53
71	1148	62.4	1123	52.4	1148	42.4	94.57	95.33	96.30
75	2400	256	2560	96	2080	96	89.33	96.25	95.38
78	2240	288	2320	128	2080	64	87.14	94.48	96.92
80	2080	176	2400	32	2240	64	91.54	98.67	97.14
82	2480	96	2240	32	2400	48	96.13	98.57	98.00
85	2240	432	2400	128	2560	96	80.71	94.67	96.25
87	2080	448	2400	96	2320	32	78.46	96.00	98.62
89	2320	464	2080	112	2080	112	80.00	94.62	94.62
92	2160	448	1920	128	1920	112	79.26	93.33	94.17
94	2160	288	2560	224	2560	176	86.67	91.25	93.13
96	2240	288	2240	192	2240	176	87.14	91.43	92.14
99	2080	96	2000	96	2160	96	95.38	95.20	95.56
101	2000	96	2160	96	2080	96	95.20	95.56	95.38
103	3200	416	3040	160	3360	176	87.00	94.74	94.76
106	3040	408	2880	144	2880	176	86.58	95.00	93.89
108	2880	464	3720	192	3280	224	83.89	94.84	93.17
110	3280	456	2880	192	2880	224	86.10	93.33	92.22
113	3200	512	3100	144	3040	160	84.00	95.35	94.74
115	2960	448	3040	128	3200	192	84.86	95.79	94.00
117	3520	768	3520	256	3520	160	78.18	92.73	95.45
120	3680	768	3360	192	3840	192	79.13	94.29	95.00
122	3360	448	3840	240	3440	208	86.67	93.75	93.95
124	3840	432	3520	256	3520	224	88.75	92.73	93.64
127	3680	384	3840	160	3680	192	89.57	95.83	94.78
129	3840	320	3840	160	3840	224	91.67	95.83	94.17

ตารางที่ ก.4 ค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอย

วันที่	BOD						SS					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1	170	15.9	165	5.65	165	5.25	288	149	326	15	280	19
8	192	8.8	180	5.4	187.5	4.45	326	56	358	11	238	13
15	160	26.5	147.5	11.25	120	19	238	25	384	14	462	18
22	105	11.5	125	9	115	9.5	416	29	246	19	230	14
29	183	13.4	158	12.2	177	7.25	224	10	298	16	266	16
36	175	21.5	193	7.65	188	11.1	280	13	242	12	320	11
50	516	23.8	530	19.0	534	19.4	701	97	696	64	727	55
57	515	34.0	494	15.4	491	6.1	784	34	775	21	809	28
64	597	18.3	558	11.0	572	16.2	764	35	749	7	727	10
71	481	24.4	493	15.3	478	13.8	724	17	735	13	762	17
78	1070	43.4	1175	23	1240	25.8	2108	358	2282	254	2152	82
85	1170	56.2	1395	30.8	1335	23.4	1624	514	2114	113	1576	46
92	1145	28.8	1130	17.8	1155	19.6	1602	156	1758	76	1724	69
99	1030	47.6	1075	28	1015	19.6	1878	118	1888	58	1856	50
106	1590	128.4	1515	50.4	1700	48.8	3530	1725	4135	980	3530	1105
113	1765	122.8	1890	38.4	1955	36	4385	1625	3290	910	4015	820
120	1995	162.8	1905	50.4	1875	43.6	3850	1455	3370	265	3670	230
127	2095	116.4	2050	56.2	1945	58.6	3245	625	3740	60	3265	75

ตารางที่ ก.5 ค่าทีเคเอ็นและไนเตรต

วันที่	TKN						NO3					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
2	100.2	107.0	102.3	102.1	106.4	77.8	1.05	0.107	1.14	0.1	1.11	0.08
4	88.5	84.0	91.8	78.4	99.7	77.3	1.02	0.079	0.98	0.088	1.09	0.095
9	74.2	68.3	90.2	79.5	81.8	66.6	0.86	0.134	0.91	0.103	0.89	0.1
11	75.0	71.7	95.2	66.8	79.5	68.3	0.94	0.083	0.9	0.081	0.9	0.077
16	85.8	62.7	81.2	62.7	77.3	65.8	1.06	0.09	1.1	0.077	1.09	0.08
18	88.5	75.0	84.0	61.6	88.5	61.6	1.05	0.12	1.07	0.102	1.07	0.093
23	73.6	59.9	90.2	59.6	84.6	57.1	1.12	0.108	1.11	0.114	1.05	0.101
25	79.5	68.5	80.6	57.1	81.8	62.7	1.07	0.111	0.89	0.092	0.98	0.09
30	100.8	78.4	108.2	72.8	99.7	72.8	1.14	0.081	1.14	0.111	1.12	0.107
32	84.0	71.7	88.48	66.1	81.8	59.4	1.22	0.098	1.08	0.114	1.2	0.109
37	95.2	89.7	91.84	69.4	94.1	66.1	1.01	0.105	1.07	0.108	1.05	0.072
39	91.8	85.2	95.4	56.0	95.2	56.0	1.09	0.072	1.09	0.076	1.11	0.123
46	217.3	183.4	216.9	170.8	230.8	169.4	5.56	3.43	5.55	3.27	5.64	3.31
51	191.1	204.9	189.2	192.3	201	190.9	6.54	3.17	6.59	3.76	6.26	3.37
53	223.3	199.6	222.5	187.0	233	185.6	6.89	3.86	6.82	3.44	6.77	3.29
58	215.4	189.3	212.5	176.7	201.1	175.3	7.62	4.11	7.35	4.30	7.47	4.03
60	199.9	190.4	200.2	198.7	218.4	197.3	6.49	4.02	6.52	3.34	6.59	3.30
65	233	211.3	209.7	177.8	198.8	176.4	5.98	3.83	6.06	3.48	6.18	2.91
67	201.7	176.3	204.2	163.7	217.9	162.3	5.70	3.47	5.58	3.18	6.04	2.94
72	221.2	193.9	210.9	181.3	209.1	179.9	7.26	3.78	6.98	3.66	6.92	3.15
74	324.8	316.4	375.2	351.4	392	364	10.16	9.16	10.96	8.86	11.16	10.06
79	348.6	322.7	383.6	361.2	390.6	359.8	9.13	8.13	9.93	7.83	10.13	9.03
81	366.8	364	364	331.8	357	338.8	9.95	8.49	10.84	8.66	11.08	9.41
86	359.8	351.4	344.4	330.4	383.6	343	10.87	9.21	11.67	9.57	11.21	10.77
88	309.4	301	331.8	296.8	344.4	315	10.2	9.7	10.88	10.19	11.35	9.51
93	317.8	284.2	326.2	303.8	331.8	291.2	9.8	9.16	11.01	8.91	10.94	9.11
95	359.8	354.2	379.4	340.2	401.8	326.2	11.25	10.25	10.74	8.64	11.92	10.82

ตารางที่ ก.5 ค่าที่เคเอ็นและไนเตรต(ต่อ)

วันที่	TKN						NO3					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
100	352.8	344.4	394.8	347.9	375.2	314.3	10.66	9.66	10.41	9.62	11.66	10.56
102	485.8	406	518	373.8	506.1	364	13.58	12.68	14.27	11.02	14.88	11.02
107	497	434	490	382.2	497	373.8	13.24	12.34	13.33	11.03	14.36	12.93
109	478.8	495.6	495.6	439.6	530.6	396.2	14.15	11.64	14.24	10.75	14.76	11.91
114	466.2	457.8	504.7	401.8	487.2	424.2	13.89	12.32	14.18	12.27	14.42	12.29
116	457.8	457.8	467.6	400.4	502.6	399	13.84	11.73	14.33	12.09	13.79	11.84
121	481.6	481.6	474.6	404.6	480.2	424.2	13.67	11.96	14.15	11.81	13.5	11.16
123	491.4	466.2	548.8	411.6	541.8	427	12.32	10.56	12.87	11.78	13.1	12.1
128	533.4	453.6	546	417.2	554.4	415.8	12.22	10.32	12.68	11.09	13.67	10.07

ตารางที่ ก.6 ค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

วันที่	TA						VFA					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
5	265	255	280	280	260	290	105	110.0	100	100	115	95
12	295	320	270	250	300	295	145	70.0	130	80	135	100
19	230	270	235	260	240	270	85	90.0	95	75	95	70
26	305	255	310	315	320	320	120	55.0	110	55	110	45
33	290	295	305	300	310	320	135	60.0	145	40	140	40
40	320	320	345	365	320	355	165	45.0	150	45	170	40
54	547.5	623	583.5	721	569	719	369	95	355.5	85	397.5	75
61	445	543	466	523	460	562.5	292.5	70	303	65	293.5	60
68	535	697.5	515	686.5	540	741.8	375	80	375.8	55	326	55
75	571.5	747.5	569	785	595	614	420	60	442.5	55	390	50
82	1045	1190	1030	1162.5	1085	1200	528.75	102.5	547.5	80	495	85
89	1112.5	1145	1092.5	1170	1100	1125	716.25	82.5	813.75	75	742.5	82.5
96	1325	1250	1205	1275	1250	1285	723.75	85	731.25	77.5	716.25	77.5
103	1050	1285	1047.5	1205	1080	1295	667.5	82.5	645	72.5	645	75
110	1225	1380	1305	1325	1267.5	1372.5	963.75	315	1053.8	97.5	990	102.5
117	1317.5	1350	1315	1345	1340	1370	997.5	145	1031.3	100	1117.5	100
124	1355	1555	1400	1490	1515	1505	1125	135	1181.3	100	1117.5	107.5
131	1492.5	1557.5	1487.5	1512.5	1480	1475	1200	117.5	1147.5	102.5	1192.5	105

ตารางที่ ก.7 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพซีโอดีต่อค่าการระบรทุกสารอินทรีย์

OLR	COD						ประสิทธิภาพ		
	1		2		3		ถัง 1 (%)	ถัง 2 (%)	ถัง 3 (%)
	in	out	in	out	in	out			
1kg	529.1	74.0	533.8	41.7	549.6	39.5	85.9	92.0	92.7
2kg	1107	81	1113	66	1123	71	93	94	94
4kg	2207	281	2273	113	2227	97	87	95	96
6kg	3373	485	3382	185	3373	196	86	95	94

ตารางที่ ก.8 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพบีโอดีต่อค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์

OLR	BOD						ประสิทธิภาพ BOD		
	1		2		3		ถัง 1 (%)	ถัง 2 (%)	ถัง 3 (%)
	in	out	in	out	in	out			
1kg	164.2	16.3	161.4	8.5	158.8	9.4	90.6	94.8	93.8
2kg	527	25	519	15	519	14	95.3	97.5	97.7
4kg	1104	44	1194	25	1186	22	95.0	97.6	97.9
6kg	1861	133	1840	49	1869	47	93.1	97.5	97.6

ตารางที่ ก.9 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของแข็งแขวนลอยต่อค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์

OLR	SS						ประสิทธิภาพ SS		
	1		2		3		ถัง 1 (%)	ถัง 2 (%)	ถัง 3 (%)
	in	out	in	out	in	out			
1kg	295.3	47	309	14.5	299.3	15.2	84.4	94.5	94.4
2kg	743	46	739	26	756	28	92.9	95.9	97.3
4kg	1803	286	2010	125	1827	62	75.9	90.9	89.8
6kg	3753	1358	3634	554	3620	558	68.6	87.6	90.3

ตารางที่ ก.10 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของไนโตรเจนทั้งหมดต่อค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์

OLR	TKN						ประสิทธิภาพ TKN		
	1		2		3		ถัง 1 (%)	ถัง 2 (%)	ถัง 3 (%)
	in	out	in	out	in	out			
1kg	86.4	76.8	91.6	69.3	89.2	66.0	11.3	24.4	25.7
2kg	212.9	193.6	208.2	181.0	213.8	179.6	8.8	12.8	15.6
4kg	342.5	329.8	362.4	332.9	372.1	331.5	3.8	8.1	10.8
6kg	486.5	456.6	505.7	403.9	512.5	403.0	5.9	19.9	21.2

ตารางที่ ก.11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพไนเตรตต่อค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์

OLR	NO3						ประสิทธิภาพ NO3		
	1		2		3		ถัง 1 (%)	ถัง 2 (%)	ถัง 3 (%)
	in	out	in	out	in	out			
1kg	1.1	0.1	1.0	0.1	1.1	0.1	90.5	90.6	91.1
2kg	6.5	3.7	6.4	3.6	6.5	3.3	42.6	44.6	49.2
4kg	10.3	9.2	10.8	9.0	11.2	9.9	10.1	16.4	11.4
6kg	13.4	11.7	13.8	11.5	14.1	11.7	12.5	16.4	16.9

ตารางที่ ก.12 ค่าเฉลี่ยพีเอชและอุณหภูมิที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

OLR	pH						Temp					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1kg	7.42	7.32	7.41	7.38	7.38	7.37	29.10	29.04	29.11	29.08	29.09	29.09
2kg	7.13	7.39	7.09	7.43	7.13	7.39	28.46	28.05	28.49	28.08	28.41	28.10
4kg	6.83	7.25	6.85	7.53	6.85	7.47	28.83	28.91	28.82	28.96	28.82	28.97
6kg	6.76	7.18	6.72	7.31	6.74	7.31	29.35	29.35	29.23	29.45	29.41	29.51

ตารางที่ ก.13 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหยที่เกาะบนรอกสารอินทรีย์ต่างๆ

OLR	TA						VFA					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1	284.2	285.8	290.8	295.0	291.7	308.3	125.8	71.7	121.7	65.8	127.5	65.0
2	524.8	652.9	533.3	678.9	540.9	659.2	364.1	76.3	369.2	65.0	351.7	60.0
4	1133.1	1217.5	1093.8	1203.1	1128.8	1226.3	659.1	88.1	684.4	76.3	649.7	80.0
6	1347.5	1460.6	1376.9	1418.1	1400.6	1430.6	1071.6	178.1	1103.5	100.0	1104.4	103.8

ตารางที่ ก.14 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีและความเค็มที่เกาะบนรอกสารอินทรีย์ต่างๆ

OLR	ORP						Salinity					
	1		2		3		1		2		3	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1kg	-285	-167	-298	-235	-294	-246	1.35	1.46	1.29	1.35	1.37	1.41
2kg	-327	-287	-338	-301	-337	-333	1.75	1.63	1.77	1.64	1.78	1.67
4kg	-355	-308	-350	-343	-372	-349	2.17	2.18	2.17	2.18	2.19	2.19
6kg	-332	-348	-344	-350	-333	-349	2.70	2.60	2.71	2.57	2.71	2.54

ตารางที่ ก.15 ค่าของแข็งแขวนลอยตามระดับความสูง

ความสูง	ของแข็งแขวนลอย (ก.เอสเอส/ล)		
	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
60	37.51	34.58	37.97
30	46.35	55.75	53.66
0	46.43	56.17	51.55

ตารางที่ ก.16 ค่าปริมาณแก๊สทั้งหมดตลอดช่วงการทดลอง

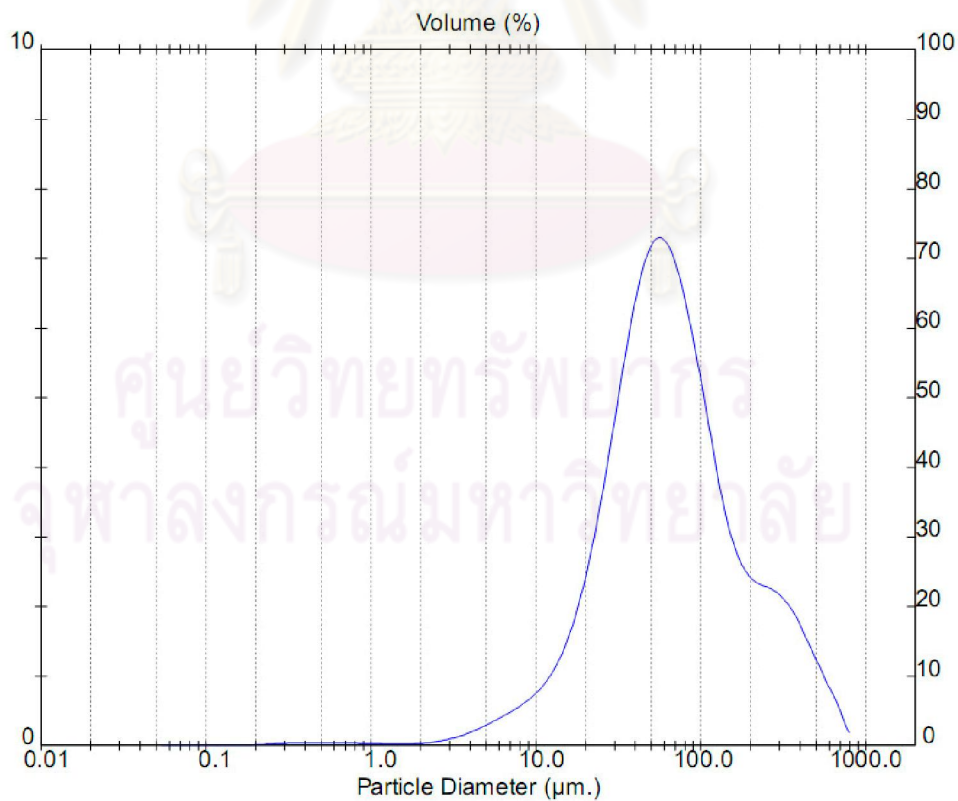
วันที่	ปริมาณแก๊ส (ลิตร)		
	ถังปฏิกรณ์ที่ 1	ถังปฏิกรณ์ที่ 2	ถังปฏิกรณ์ที่ 3
8	2.9	3.8	3.5
15	3.5	6.7	5.6
22	5.9	6.4	6.8
29	6.9	7.2	7.6
36	6.5	6.6	6.5
50	8.9	8.3	8.2
57	5.4	11.8	13.3
64	10.4	10.9	11.7
71	12.5	11.2	10.3
78	26.3	28.4	23.9
85	23.9	28.1	26.7
92	22.7	24.4	25.6
99	20.3	21.7	20.5
106	52.8	57.6	51.8
113	43.6	54.5	56.4
120	26.8	55.5	51.1
127	16.7	57.8	56.3
รวม	295.6	400.9	385.7

ภาคผนวก ข

Particle Size

Result: Analysis Table

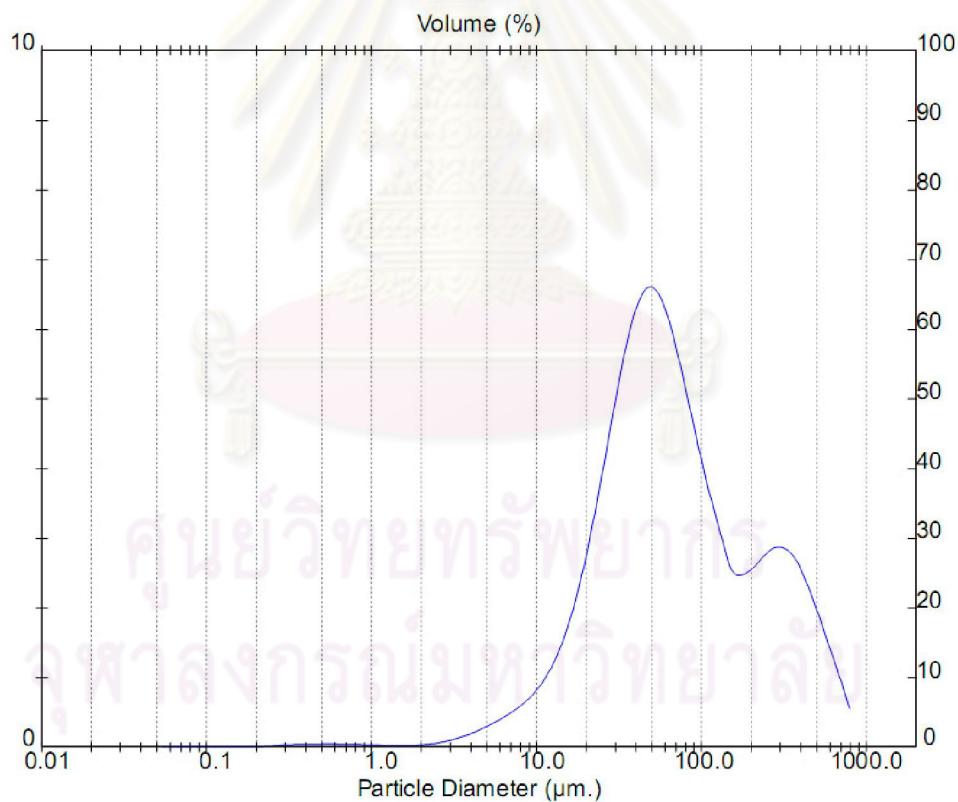
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.05	6.63	0.50	76.32	6.26
0.06	0.00	0.67	0.04	7.72	0.60	88.91	5.46
0.07	0.00	0.78	0.04	9.00	0.73	103.58	4.59
0.08	0.00	0.91	0.04	10.48	0.90	120.67	3.70
0.09	0.00	1.06	0.03	12.21	1.14	140.58	3.03
0.11	0.00	1.24	0.03	14.22	1.49	163.77	2.60
0.13	0.00	1.44	0.03	16.57	1.97	190.80	2.38
0.15	0.01	1.68	0.03	19.31	2.60	222.28	2.30
0.17	0.01	1.95	0.04	22.49	3.39	258.95	2.22
0.20	0.02	2.28	0.06	26.20	4.30	301.68	2.08
0.23	0.03	2.65	0.09	30.53	5.26	351.46	1.84
0.27	0.04	3.09	0.13	35.56	6.16	409.45	1.50
0.31	0.04	3.60	0.18	41.43	6.86	477.01	1.17
0.36	0.05	4.19	0.25	48.27	7.23	555.71	0.84
0.42	0.05	4.88	0.33	56.23	7.24	647.41	0.50
0.49	0.05	5.69	0.41	65.51	6.89	754.23	0.17
0.58	0.05	6.63	0.41	76.32	6.89	878.67	0.17



รูปที่ ข.1 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อเริ่มต้นระบบ

Result: Analysis Table

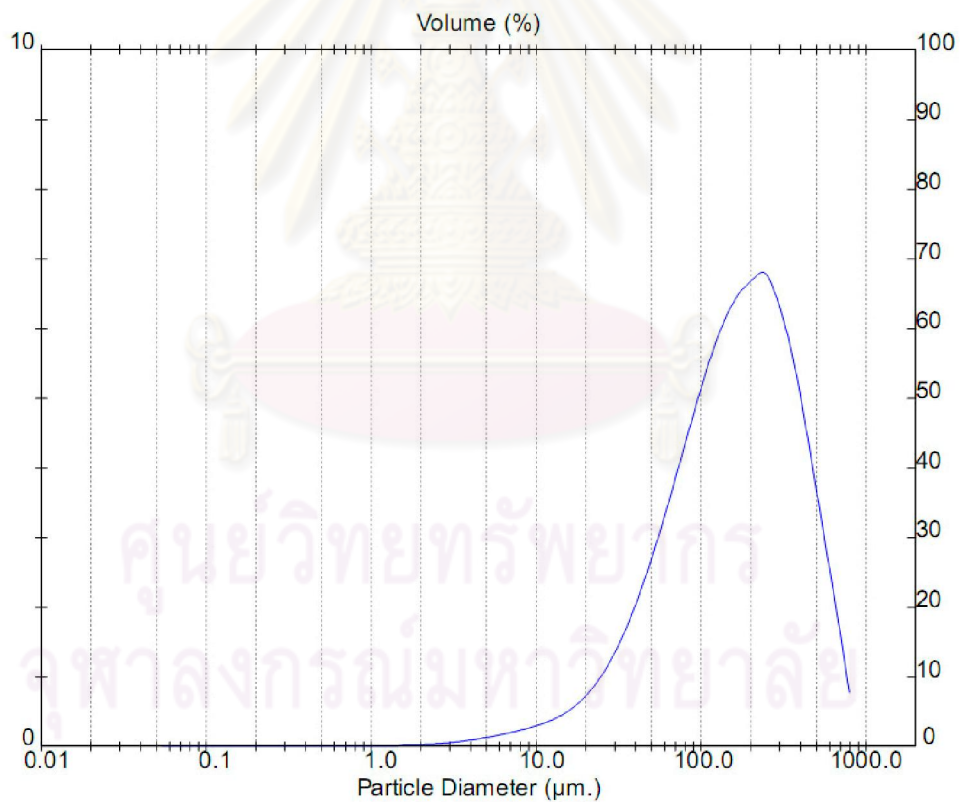
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.05	6.63	0.51	76.32	5.00
0.06	0.00	0.67	0.05	7.72	0.63	88.91	4.29
0.07	0.00	0.78	0.04	9.00	0.79	103.58	3.64
0.08	0.00	0.91	0.04	10.48	1.00	120.67	3.06
0.09	0.00	1.06	0.03	12.21	1.30	140.58	2.55
0.11	0.00	1.24	0.03	14.22	1.71	163.77	2.48
0.13	0.00	1.44	0.03	16.57	2.26	190.80	2.57
0.15	0.00	1.68	0.03	19.31	2.95	222.28	2.75
0.17	0.01	1.95	0.04	22.49	3.76	258.95	2.86
0.20	0.01	2.28	0.06	26.20	4.63	301.68	2.84
0.23	0.02	2.65	0.09	30.53	5.47	351.46	2.65
0.27	0.03	3.09	0.13	35.56	6.14	409.45	2.31
0.31	0.04	3.60	0.19	41.43	6.53	477.01	1.88
0.36	0.04	4.19	0.25	48.27	6.56	555.71	1.41
0.42	0.05	4.88	0.33	56.23	6.25	647.41	0.96
0.49	0.05	5.69	0.42	65.51	5.69	754.23	0.50
0.58		6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.2 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

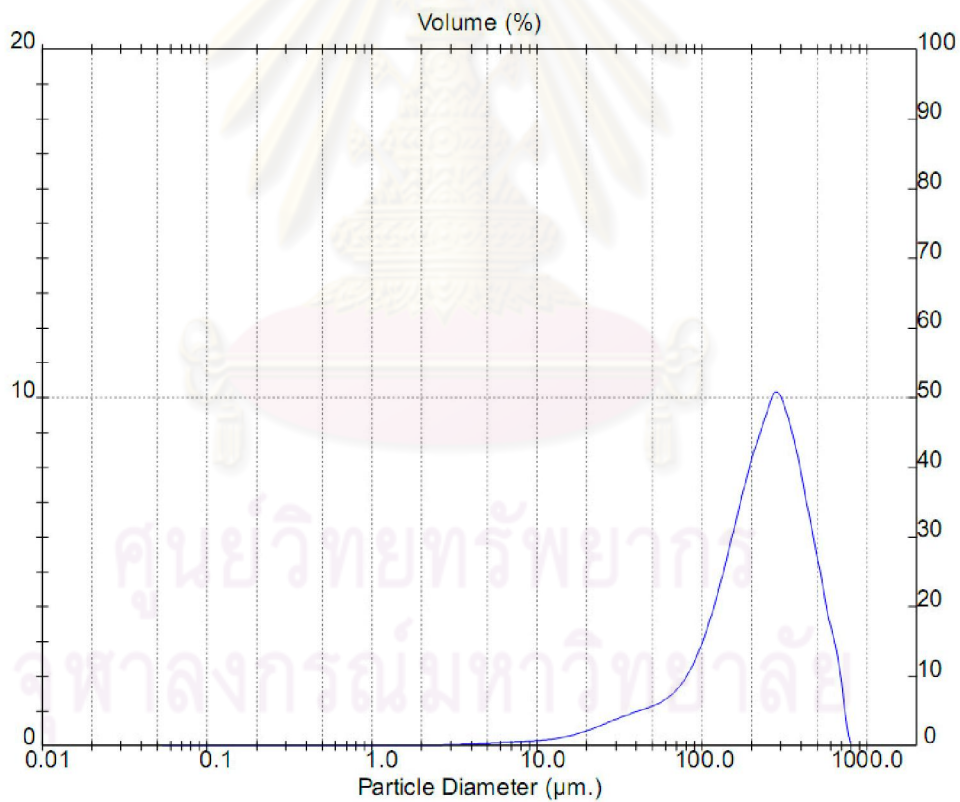
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs: 20.0 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 0.867 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.2338 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0770 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 210.42 μ m		D[3, 2] = 77.90 μ m			
D(v, 0.1) = 41.85 μ m		D(v, 0.5) = 165.88 μ m		D(v, 0.9) = 448.23 μ m			
Span = 2.450E+00		Uniformity = 7.562E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.21	76.32	4.45
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.25	88.91	5.00
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.29	103.58	5.51
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.34	120.67	5.95
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.41	140.58	6.30
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.50	163.77	6.54
0.13	0.00	1.44	0.00	16.57	0.62	190.80	6.69
0.15	0.00	1.68	0.03	19.31	0.78	222.28	6.79
0.17	0.00	1.95	0.03	22.49	0.98	258.95	6.50
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	1.24	301.68	5.99
0.23	0.00	2.65	0.04	30.53	1.55	351.46	5.29
0.27	0.00	3.09	0.05	35.56	1.92	409.45	4.43
0.31	0.00	3.60	0.07	41.43	2.35	477.01	3.49
0.36	0.00	4.19	0.09	48.27	2.82	555.71	2.55
0.42	0.00	4.88	0.11	56.23	3.34	647.41	1.61
0.49	0.00	5.69	0.14	65.51	3.89	754.23	0.67
0.58	0.00	6.63	0.17	76.32		878.67	



รูปที่ ข.3 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 71 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

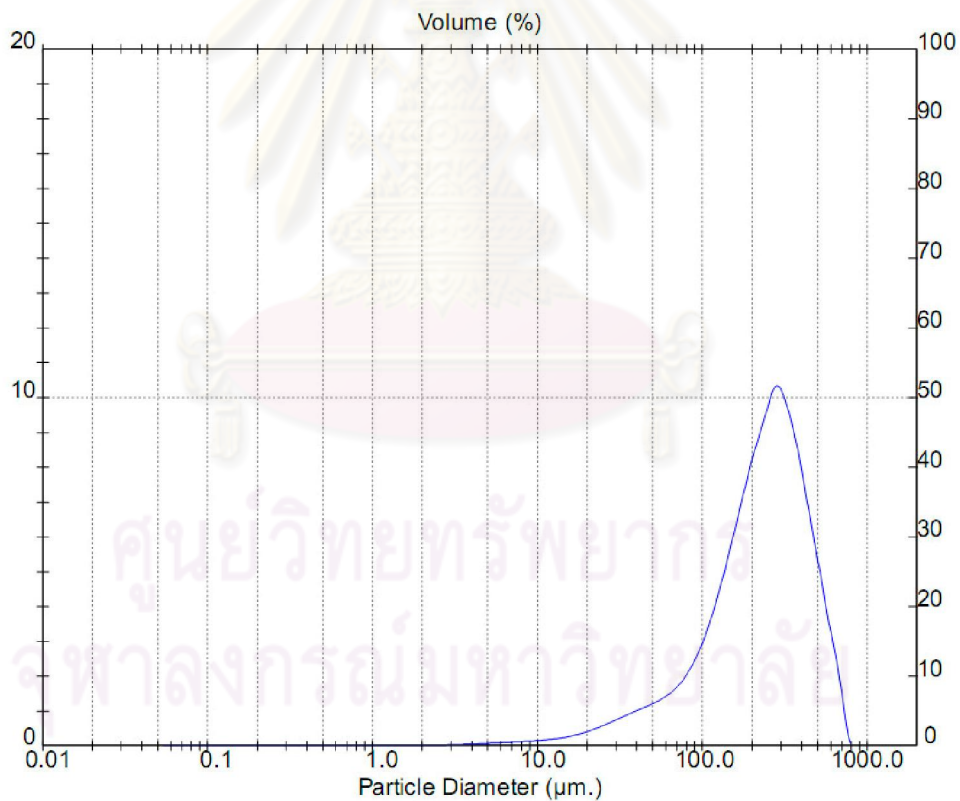
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.11	76.32	2.08
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.13	88.91	2.73
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.15	103.58	3.63
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.18	120.67	4.73
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.22	140.58	5.99
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.28	163.77	7.26
0.13	0.00	1.44	0.00	16.57	0.37	190.80	8.42
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.47	222.28	9.37
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.59	258.95	10.13
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.72	301.68	9.54
0.23	0.00	2.65	0.04	30.53	0.84	351.46	8.30
0.27	0.00	3.09	0.05	35.56	0.96	409.45	6.69
0.31	0.00	3.60	0.06	41.43	1.06	477.01	5.07
0.36	0.00	4.19	0.07	48.27	1.18	555.71	3.46
0.42	0.00	4.88	0.08	56.23	1.36	647.41	1.84
0.49	0.00	5.69	0.10	65.51	1.63	754.23	0.00
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.4 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 101 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

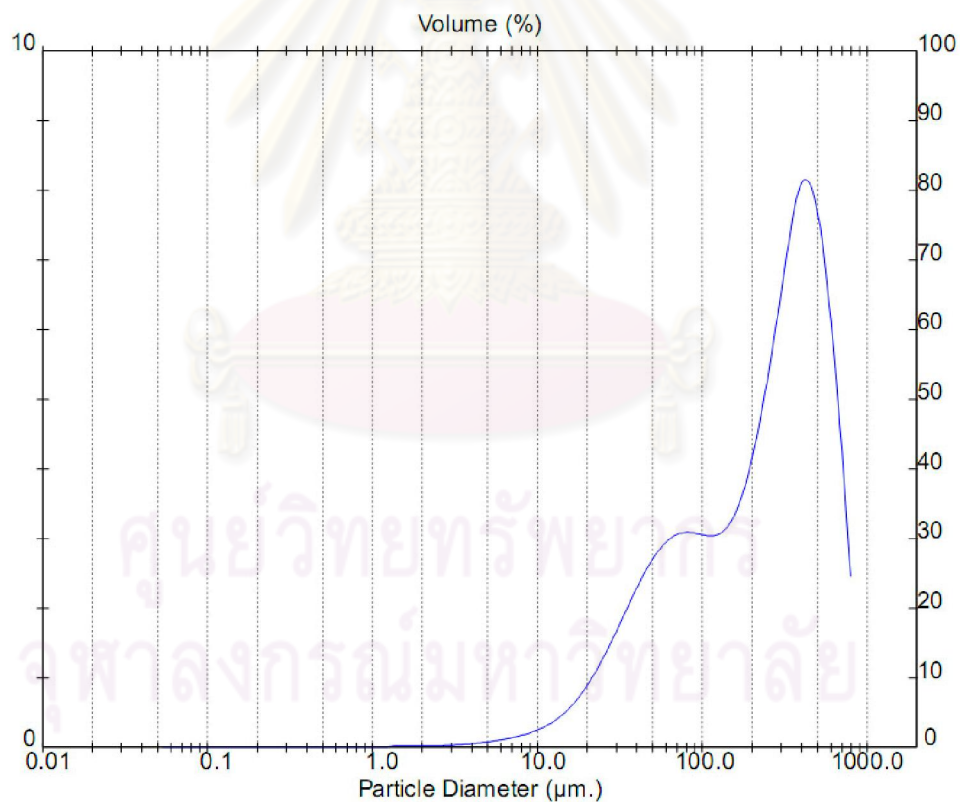
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.12	76.32	2.12
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.13	88.91	2.74
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.15	103.58	3.60
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.18	120.67	4.67
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.21	140.58	5.90
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.27	163.77	7.19
0.13	0.00	1.44	0.00	16.57	0.34	190.80	8.41
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.44	222.28	9.45
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.56	258.95	10.30
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.70	301.68	9.74
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	0.84	351.46	8.45
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	0.98	409.45	6.72
0.31	0.00	3.60	0.06	41.43	1.11	477.01	4.99
0.36	0.00	4.19	0.07	48.27	1.25	555.71	3.26
0.42	0.00	4.88	0.09	56.23	1.44	647.41	1.53
0.49	0.00	5.69	0.10	65.51	1.71	754.23	0.00
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.5 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เมื่อวันที่ 129 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs': 18.3 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 2.131 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.2327 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0698 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 283.30 um		D[3, 2] = 85.96 um			
D(v, 0.1) = 38.91 um		D(v, 0.5) = 253.24 um		D(v, 0.9) = 589.89 um			
Span = 2.176E+00		Uniformity = 7.031E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.15	76.32	3.08
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.19	88.91	3.06
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.24	103.58	3.03
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.31	120.67	3.08
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.41	140.58	3.27
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.55	163.77	3.67
0.13	0.00	1.44	0.03	16.57	0.73	190.80	4.28
0.15	0.00	1.68	0.03	19.31	0.96	222.28	5.09
0.17	0.00	1.95	0.03	22.49	1.23	258.95	6.04
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	1.54	301.68	7.07
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	1.87	351.46	7.95
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	2.20	409.45	8.09
0.31	0.00	3.60	0.06	41.43	2.51	477.01	7.47
0.36	0.00	4.19	0.07	48.27	2.77	555.71	6.11
0.42	0.00	4.88	0.09	56.23	2.95	647.41	4.26
0.49	0.00	5.69	0.12	65.51	3.06	754.23	
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	2.20



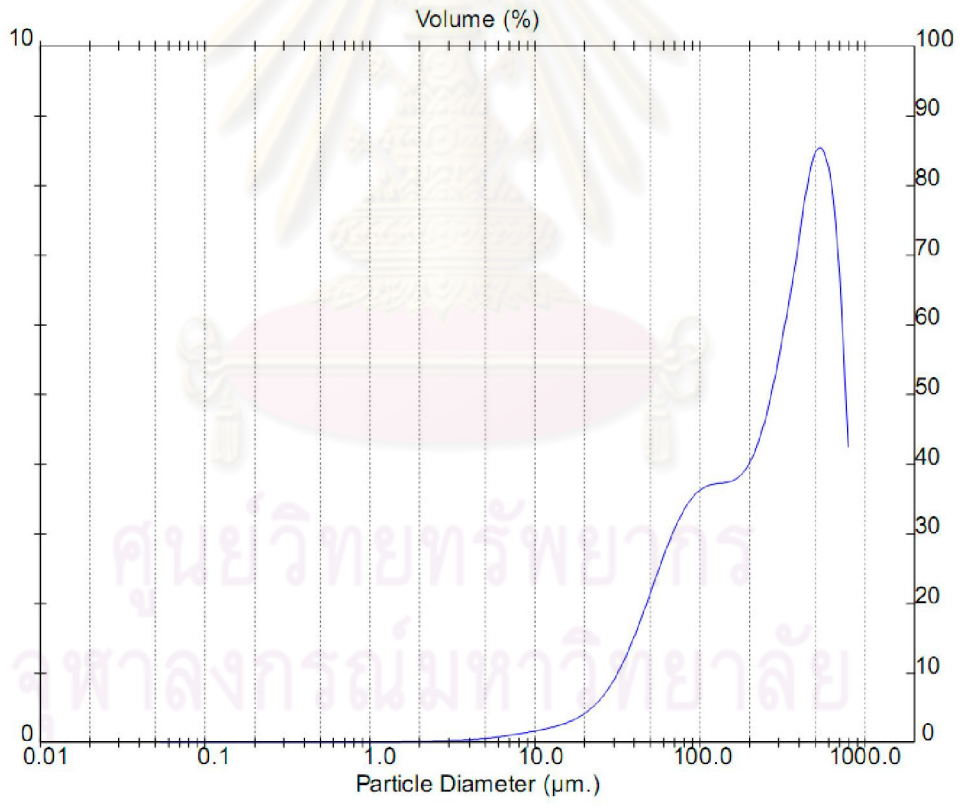
รูปที่ ข.6 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อเริ่มต้นระบบ

Result: Analysis Table

Range: 300RF mm	Beam: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obs: 13.3 %
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse	Residual: 3.018 %
Modifications: None			

Conc. = 0.2029 %Vol	Density = 1.000 g/cm ³	S.S.A = 0.0572 m ² /g
Distribution: Volume	D[4, 3] = 320.85 μ m	D[3, 2] = 104.84 μ m
D(v, 0.1) = 54.76 μ m	D(v, 0.5) = 285.94 μ m	D(v, 0.9) = 654.95 μ m
Span = 2.099E+00	Uniformity = 6.798E-01	

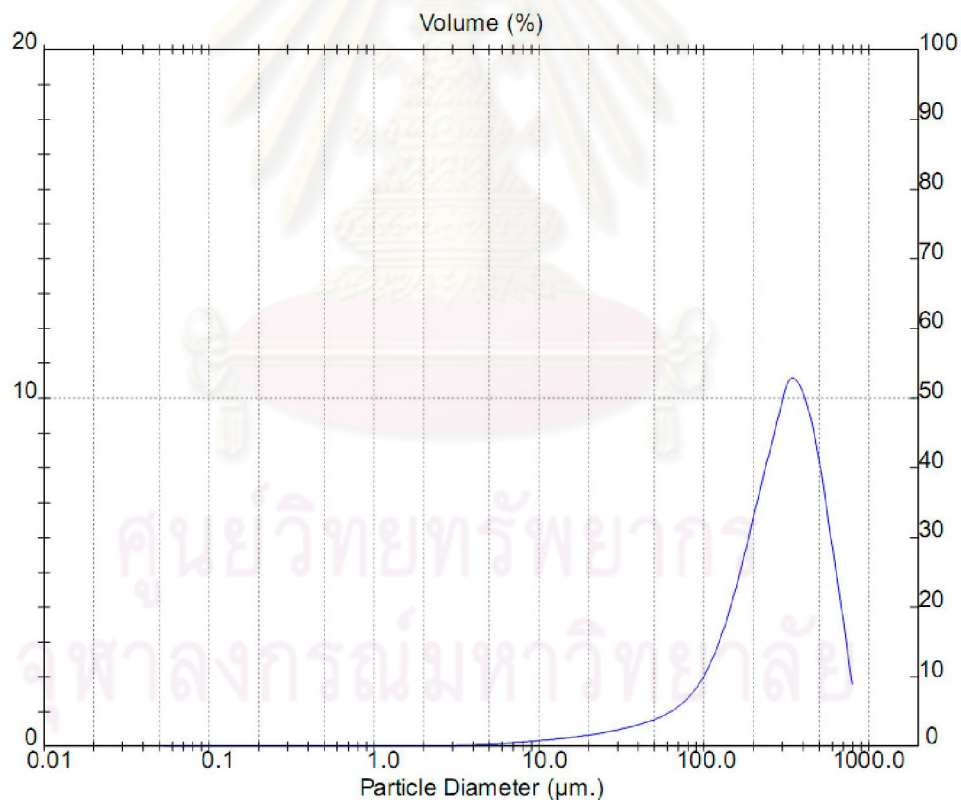
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.11	76.32	3.39
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.14	88.91	3.59
0.07	0.00	0.78	0.01	9.00	0.17	103.58	3.68
0.08	0.00	0.91	0.01	10.48	0.20	120.67	3.71
0.09	0.00	1.06	0.01	12.21	0.24	140.58	3.74
0.11	0.00	1.24	0.01	14.22	0.29	163.77	3.84
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.35	190.80	4.07
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.45	222.28	4.51
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.60	258.95	5.15
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.80	301.68	5.96
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	1.08	351.46	6.89
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	1.43	409.45	7.93
0.31	0.00	3.60	0.04	41.43	1.83	477.01	8.50
0.36	0.00	4.19	0.06	48.27	2.27	555.71	8.24
0.42	0.00	4.88	0.07	56.23	2.70	647.41	6.73
0.49	0.00	5.69	0.09	65.51	3.09	754.23	3.86
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.7 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

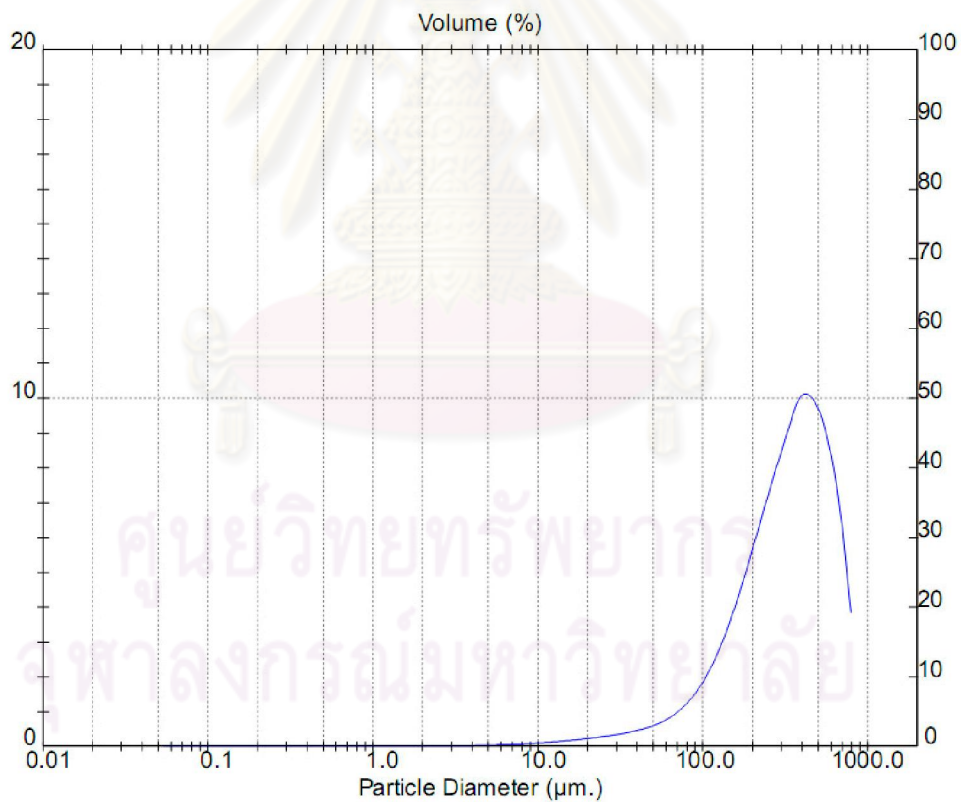
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs': 11.5 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 1.712 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.2188 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0449 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 316.54 um		D[3, 2] = 133.56 um			
D(v, 0.1) = 94.96 um		D(v, 0.5) = 296.79 um		D(v, 0.9) = 567.28 um			
Span = 1.591E+00		Uniformity = 4.872E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.12	76.32	1.46
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.14	88.91	1.88
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.17	103.58	2.49
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.20	120.67	3.30
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.23	140.58	4.32
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.26	163.77	5.53
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.30	190.80	6.83
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.34	222.28	8.12
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.39	258.95	9.34
0.20	0.00	2.28	0.02	26.20	0.45	301.68	10.46
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	0.52	351.46	10.35
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	0.60	409.45	9.44
0.31	0.00	3.60	0.05	41.43	0.70	477.01	7.81
0.36	0.00	4.19	0.06	48.27	0.81	555.71	5.72
0.42	0.00	4.88	0.07	56.23	0.96	647.41	3.63
0.49	0.00	5.69	0.09	65.51	1.17	754.23	
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	1.54



รูปที่ ข.8 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 71 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

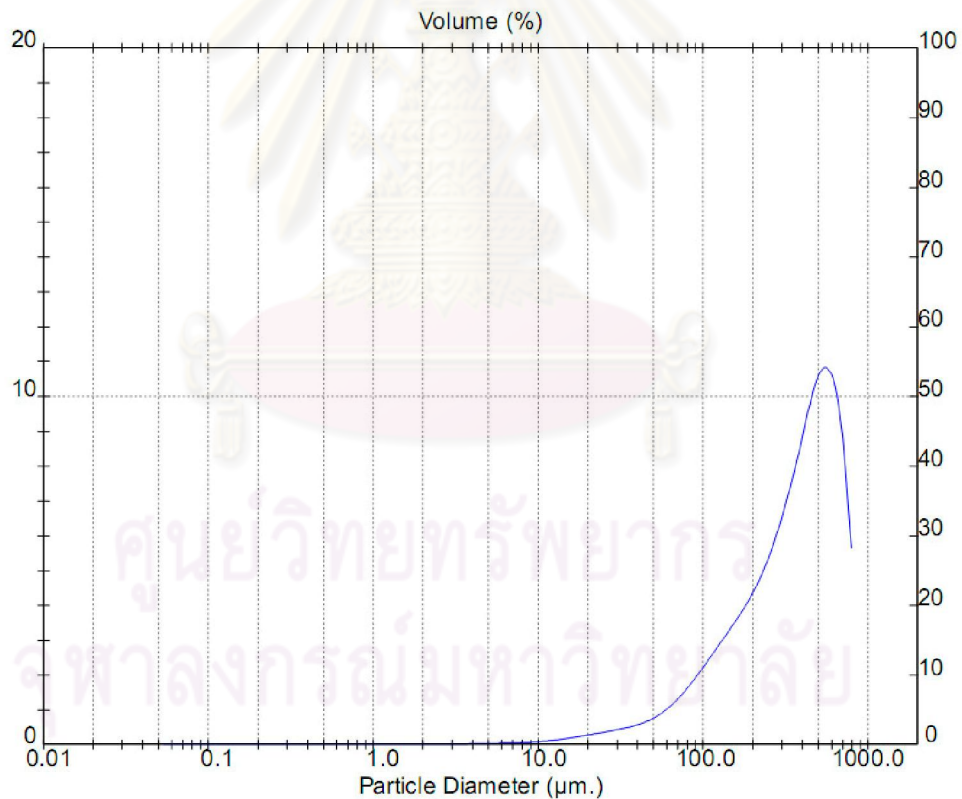
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.07	76.32	1.30
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.08	88.91	1.71
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.10	103.58	2.26
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.12	120.67	2.95
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.15	140.58	3.80
0.11	0.00	1.24	0.01	14.22	0.18	163.77	4.79
0.13	0.00	1.44	0.01	16.57	0.21	190.80	5.85
0.15	0.00	1.68	0.01	19.31	0.24	222.28	6.94
0.17	0.00	1.95	0.01	22.49	0.28	258.95	8.00
0.20	0.00	2.28	0.02	26.20	0.33	301.68	9.98
0.23	0.00	2.65	0.02	30.53	0.38	351.46	9.92
0.27	0.00	3.09	0.02	35.56	0.44	409.45	10.05
0.31	0.00	3.60	0.03	41.43	0.52	477.01	9.54
0.36	0.00	4.19	0.04	48.27	0.63	555.71	8.33
0.42	0.00	4.88	0.05	56.23	0.78	647.41	6.30
0.49	0.00	5.69	0.06	65.51	1.00	754.23	3.48
0.58	0.00	6.63	0.06	76.32		878.67	



รูปที่ ข.9 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 101 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

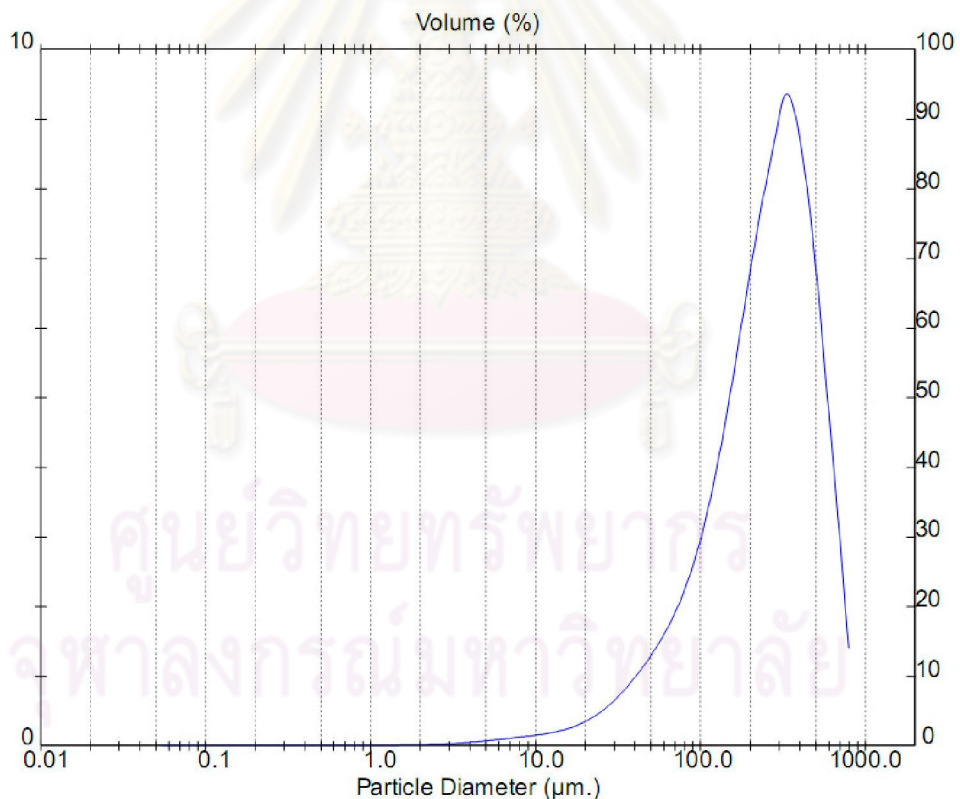
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs': 12.0 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 6.372 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.2823 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0369 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 383.92 μ m		D[3, 2] = 162.64 μ m			
D(v, 0.1) = 97.13 μ m		D(v, 0.5) = 374.75 μ m		D(v, 0.9) = 688.90 μ m			
Span = 1.579E+00		Uniformity = 4.927E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.06	76.32	1.70
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.07	88.91	2.11
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.09	103.58	2.55
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.11	120.67	2.99
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.15	140.58	3.44
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.19	163.77	3.92
0.13	0.00	1.44	0.01	16.57	0.24	190.80	4.47
0.15	0.00	1.68	0.01	19.31	0.30	222.28	5.17
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.35	258.95	6.04
0.20	0.00	2.28	0.02	26.20	0.41	301.68	7.12
0.23	0.00	2.65	0.02	30.53	0.47	351.46	8.37
0.27	0.00	3.09	0.03	35.56	0.55	409.45	9.75
0.31	0.00	3.60	0.03	41.43	0.66	477.01	10.70
0.36	0.00	4.19	0.04	48.27	0.82	555.71	10.60
0.42	0.00	4.88	0.05	56.23	1.04	647.41	8.80
0.49	0.00	5.69	0.05	65.51	1.33	754.23	5.15
0.58	0.00	6.63	0.05	76.32		878.67	



รูปที่ ข.10 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เมื่อวันที่ 129 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

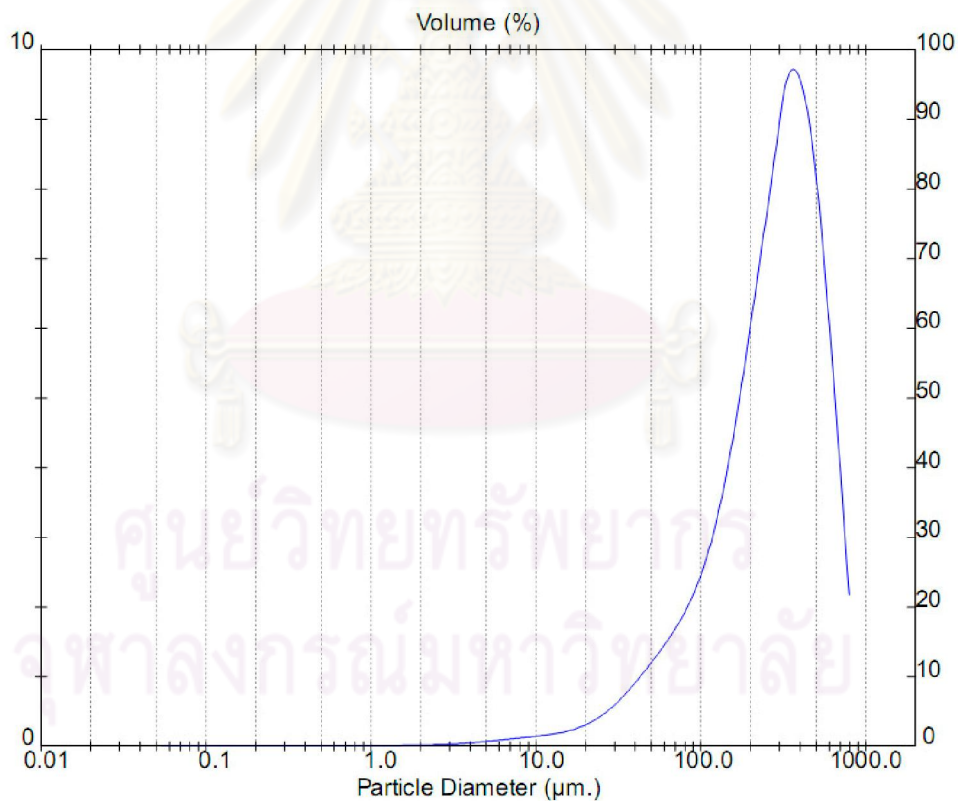
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.12	76.32	2.32
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.14	88.91	2.81
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.15	103.58	3.43
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.18	120.67	4.18
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.20	140.58	5.06
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.24	163.77	6.02
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.30	190.80	6.97
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.37	222.28	7.86
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.47	258.95	8.64
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.60	301.68	9.32
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	0.75	351.46	9.98
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	0.93	409.45	7.99
0.31	0.00	3.60	0.05	41.43	1.13	477.01	6.53
0.36	0.00	4.19	0.07	48.27	1.36	555.71	4.75
0.42	0.00	4.88	0.08	56.23	1.62	647.41	2.97
0.49	0.00	5.69	0.10	65.51	1.93	754.23	1.19
0.58	0.00	6.63	0.10	76.32	1.93	878.67	1.19



รูปที่ ข.11 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนลูกลินทรีในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อเริ่มต้นระบบ

Result: Analysis Table

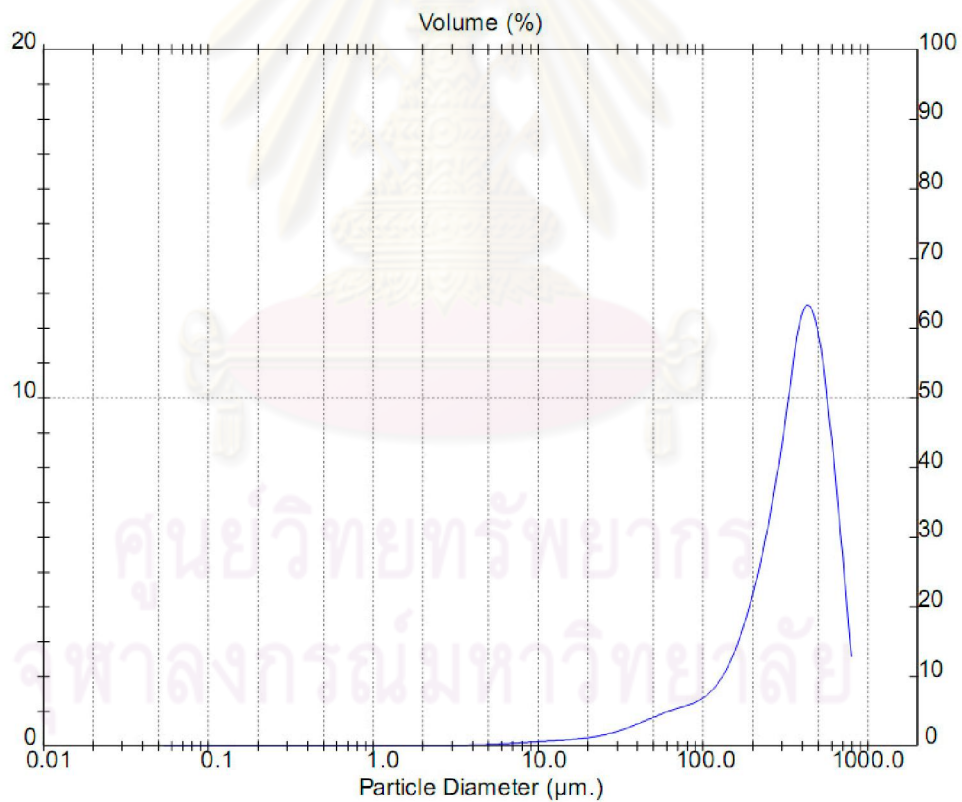
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.11	76.32	1.99
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.13	88.91	2.34
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.15	103.58	2.82
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.16	120.67	3.44
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.19	140.58	4.24
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.22	163.77	5.18
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.26	190.80	6.23
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.33	222.28	7.33
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.42	258.95	8.41
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.55	301.68	9.47
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	0.69	351.46	9.65
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	0.87	409.45	9.10
0.31	0.00	3.60	0.05	41.43	1.05	477.01	7.85
0.36	0.00	4.19	0.06	48.27	1.25	555.71	6.04
0.42	0.00	4.88	0.08	56.23	1.47	647.41	3.98
0.49	0.00	5.69	0.10	65.51	1.70	754.23	1.93
0.58	0.00	6.63	0.10	76.32	1.70	878.67	1.93



รูปที่ ข.12 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 40 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

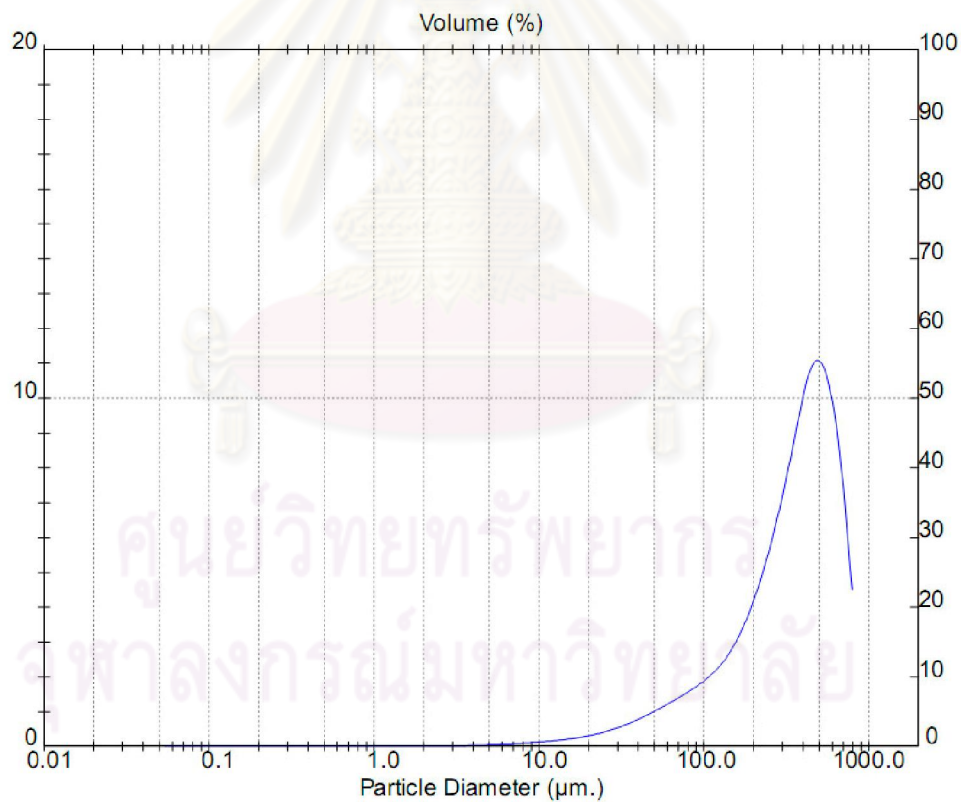
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.09	76.32	1.19
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.11	88.91	1.34
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.13	103.58	1.58
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.15	120.67	1.99
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.17	140.58	2.62
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.19	163.77	3.48
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.22	190.80	4.60
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.26	222.28	6.00
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.32	258.95	7.75
0.20	0.00	2.28	0.02	26.20	0.39	301.68	9.80
0.23	0.00	2.65	0.02	30.53	0.49	351.46	12.02
0.27	0.00	3.09	0.02	35.56	0.61	409.45	12.60
0.31	0.00	3.60	0.03	41.43	0.74	477.01	11.42
0.36	0.00	4.19	0.04	48.27	0.87	555.71	8.79
0.42	0.00	4.88	0.06	56.23	0.99	647.41	5.48
0.49	0.00	5.69	0.07	65.51	1.09	754.23	2.18
0.58	0.00	6.63	0.07	76.32	1.09	878.67	2.18



รูปที่ ข.13 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 71 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

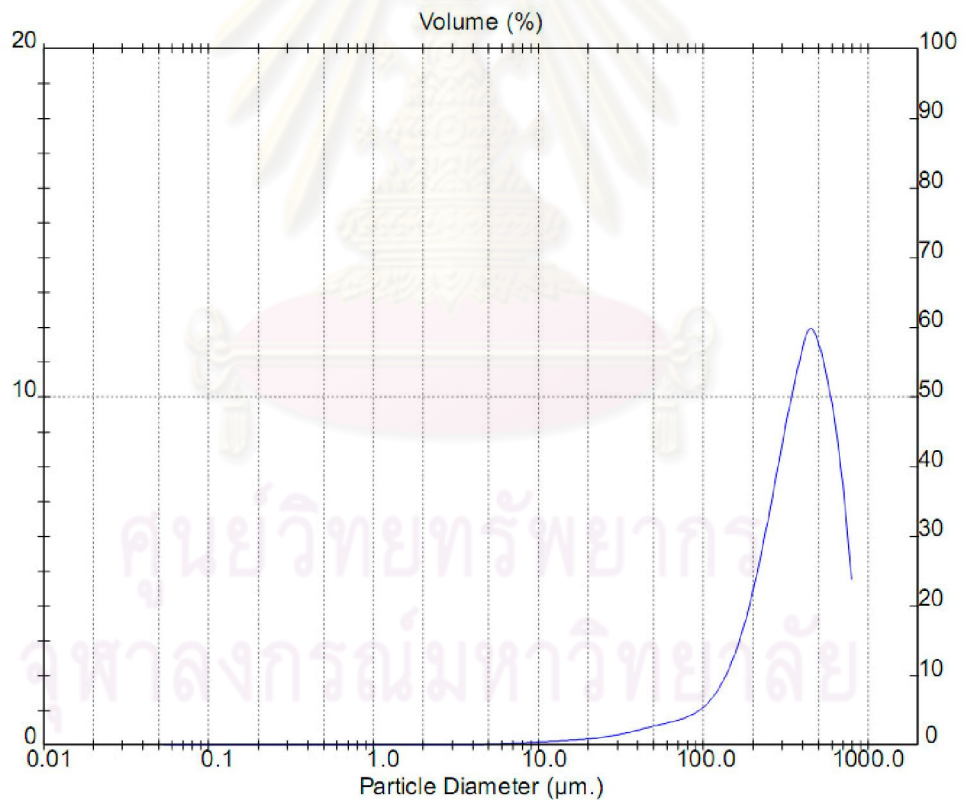
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs': 7.9 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 1.349 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.1631 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A = 0.0409 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 373.85 μ m		D[3, 2] = 146.70 μ m			
D(v, 0.1) = 86.70 μ m		D(v, 0.5) = 368.00 μ m		D(v, 0.9) = 664.62 μ m			
Span = 1.570E+00		Uniformity = 4.779E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.09	76.32	1.60
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.11	88.91	1.82
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.13	103.58	2.08
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.15	120.67	2.42
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.19	140.58	2.89
0.11	0.00	1.24	0.02	14.22	0.22	163.77	3.53
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.27	190.80	4.35
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.33	222.28	5.37
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.40	258.95	6.58
0.20	0.00	2.28	0.02	26.20	0.50	301.68	7.97
0.23	0.00	2.65	0.02	30.53	0.61	351.46	9.54
0.27	0.00	3.09	0.03	35.56	0.74	409.45	10.79
0.31	0.00	3.60	0.04	41.43	0.89	477.01	10.98
0.36	0.00	4.19	0.05	48.27	1.06	555.71	9.90
0.42	0.00	4.88	0.06	56.23	1.23	647.41	7.45
0.49	0.00	5.69	0.07	65.51	1.41	754.23	4.05
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.14 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 101 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

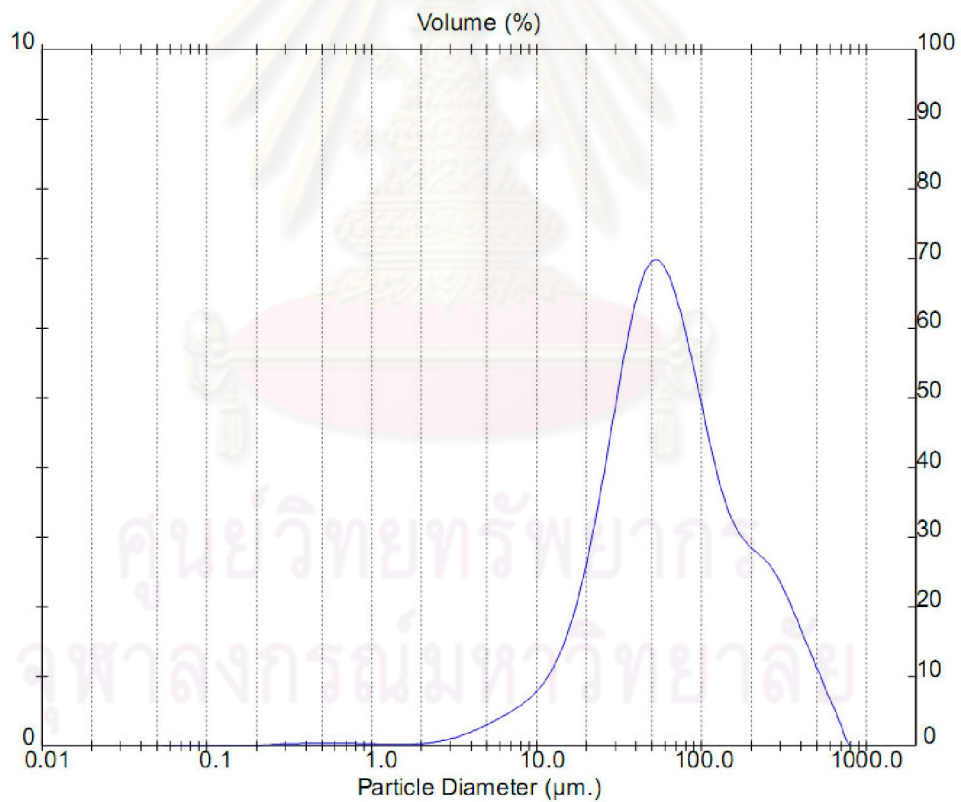
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs: 11.4 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 1.567 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.3070 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0320 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 393.62 μ m		D[3, 2] = 187.70 μ m			
D(v, 0.1) = 140.59 μ m		D(v, 0.5) = 381.85 μ m		D(v, 0.9) = 668.75 μ m			
Span = 1.383E+00		Uniformity = 4.196E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.07	76.32	0.85
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.08	88.91	1.03
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.10	103.58	1.33
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.11	120.67	1.81
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.13	140.58	2.51
0.11	0.00	1.24	0.01	14.22	0.15	163.77	3.46
0.13	0.00	1.44	0.01	16.57	0.17	190.80	4.70
0.15	0.00	1.68	0.01	19.31	0.20	222.28	6.20
0.17	0.00	1.95	0.01	22.49	0.23	258.95	7.85
0.20	0.00	2.28	0.01	26.20	0.28	301.68	9.49
0.23	0.00	2.65	0.02	30.53	0.34	351.46	10.97
0.27	0.00	3.09	0.02	35.56	0.42	409.45	11.93
0.31	0.00	3.60	0.02	41.43	0.49	477.01	11.28
0.36	0.00	4.19	0.03	48.27	0.57	555.71	9.79
0.42	0.00	4.88	0.04	56.23	0.65	647.41	7.46
0.49	0.00	5.69	0.05	65.51	0.74	754.23	4.36
0.58	0.00	6.63	0.05	76.32	0.74	878.67	4.36



รูปที่ ข.15 ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เมื่อวันที่ 129 ของการทดลอง

Result: Analysis Table

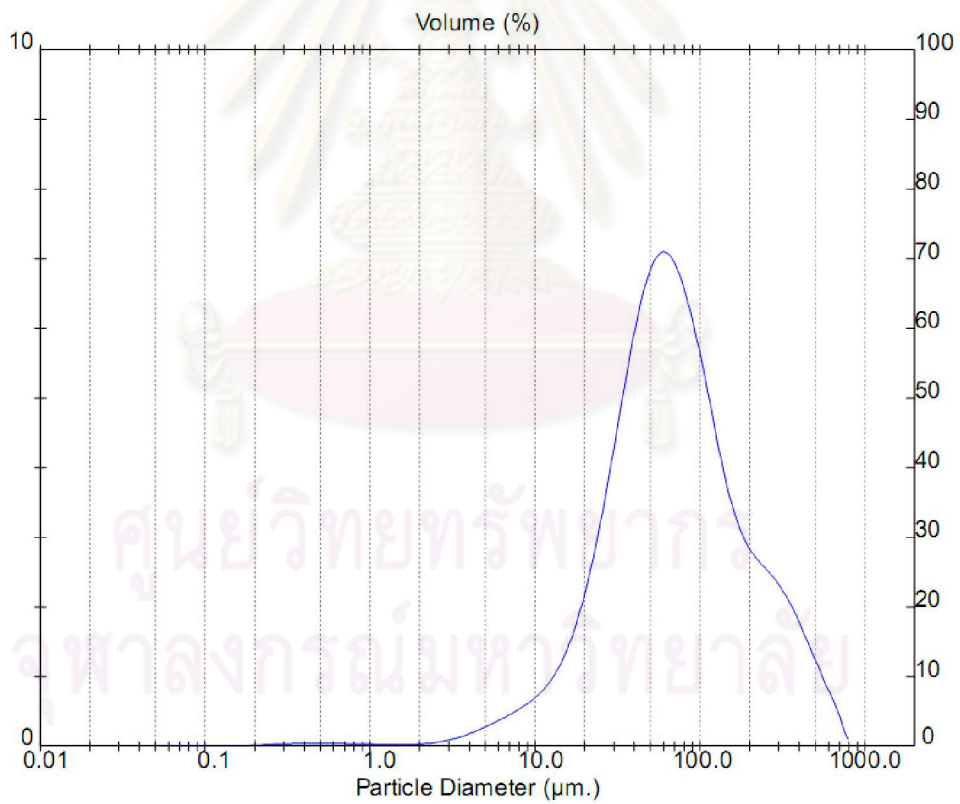
Range: 300RF mm Presentation: 3OHD Modifications: None		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14 Analysis: Polydisperse		Obs: 15.1 % Residual: 0.351 %	
Conc. = 0.0728 %Vol Distribution: Volume D(v, 0.1) = 19.42 um Span = 3.887E+00		Density = 1.000 g/cm ³ D[4, 3] = 103.81 um D(v, 0.5) = 61.20 um Uniformity = 1.141E+00		S.S.A. = 0.2196 m ² /g D[3, 2] = 27.32 um D(v, 0.9) = 257.34 um			
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.05	6.63	0.51	76.32	5.80
0.06	0.00	0.67	0.04	7.72	0.62	88.91	5.09
0.07	0.00	0.78	0.04	9.00	0.76	103.58	4.36
0.08	0.00	0.91	0.04	10.48	0.95	120.67	3.72
0.09	0.00	1.06	0.03	12.21	1.22	140.58	3.26
0.11	0.00	1.24	0.03	14.22	1.61	163.77	2.98
0.13	0.00	1.44	0.03	16.57	2.13	190.80	2.81
0.15	0.00	1.68	0.03	19.31	2.80	222.28	2.68
0.17	0.01	1.95	0.04	22.49	3.61	258.95	2.48
0.20	0.02	2.28	0.06	26.20	4.51	301.68	2.17
0.23	0.02	2.65	0.10	30.53	5.42	351.46	1.80
0.27	0.03	3.09	0.14	35.56	6.21	409.45	1.42
0.31	0.04	3.60	0.20	41.43	6.75	477.01	1.05
0.36	0.04	4.19	0.26	48.27	6.96	555.71	0.67
0.42	0.05	4.88	0.34	56.23	6.83	647.41	0.30
0.49	0.05	5.69	0.42	65.51	6.41	754.23	0.00
0.58	0.05	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.16 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนลูกลินทรีย์เมื่อไม่เติมโพลีเมอร์

Result: Analysis Table

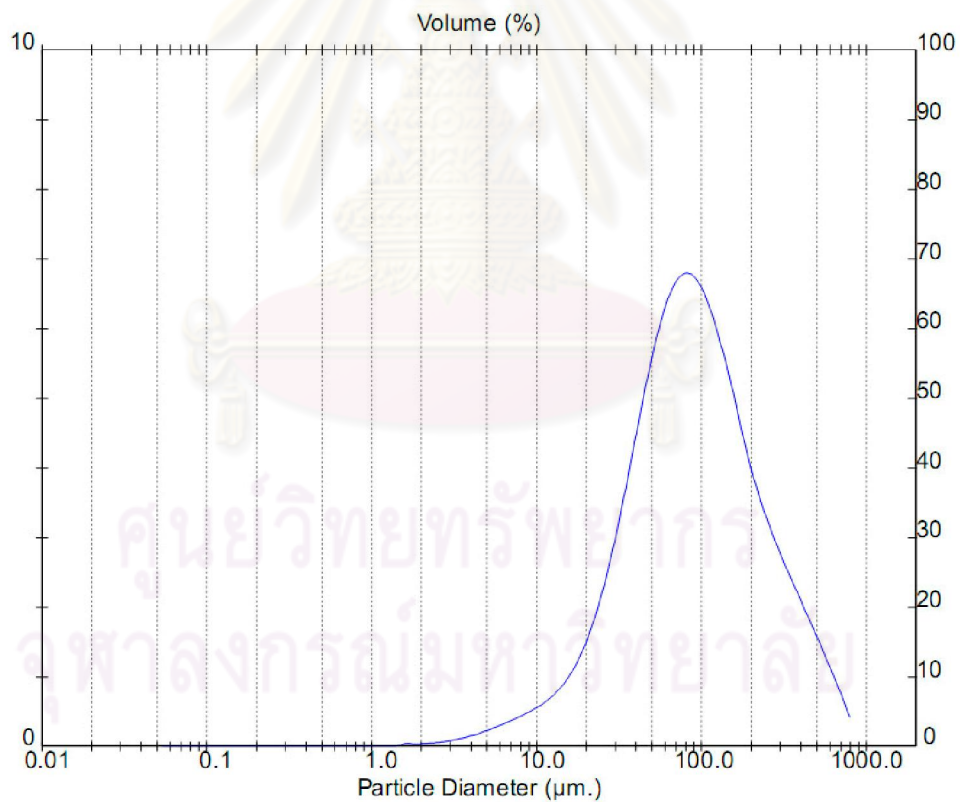
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.04	6.63	0.47	76.32	6.45
0.06	0.00	0.67	0.04	7.72	0.56	88.91	5.81
0.07	0.00	0.78	0.04	9.00	0.67	103.58	5.06
0.08	0.00	0.91	0.03	10.48	0.82	120.67	4.25
0.09	0.00	1.06	0.03	12.21	1.04	140.58	3.56
0.11	0.00	1.24	0.03	14.22	1.34	163.77	3.08
0.13	0.01	1.44	0.03	16.57	1.78	190.80	2.78
0.15	0.01	1.68	0.03	19.31	2.35	222.28	2.59
0.17	0.02	1.95	0.04	22.49	3.07	258.95	2.42
0.20	0.02	2.28	0.06	26.20	3.92	301.68	2.19
0.23	0.03	2.65	0.08	30.53	4.83	351.46	1.89
0.27	0.04	3.09	0.12	35.56	5.71	409.45	1.53
0.31	0.04	3.60	0.17	41.43	6.45	477.01	1.17
0.36	0.04	4.19	0.23	48.27	6.93	555.71	0.80
0.42	0.04	4.88	0.31	56.23	7.08	647.41	0.44
0.49	0.04	5.69	0.38	65.51	6.90	754.23	0.08
0.58	0.04	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.17 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนลูกลินทรีย์เมื่อเติมโพลีเมอร์ 1 มก./ก.วีเอสเอส

Result: Analysis Table

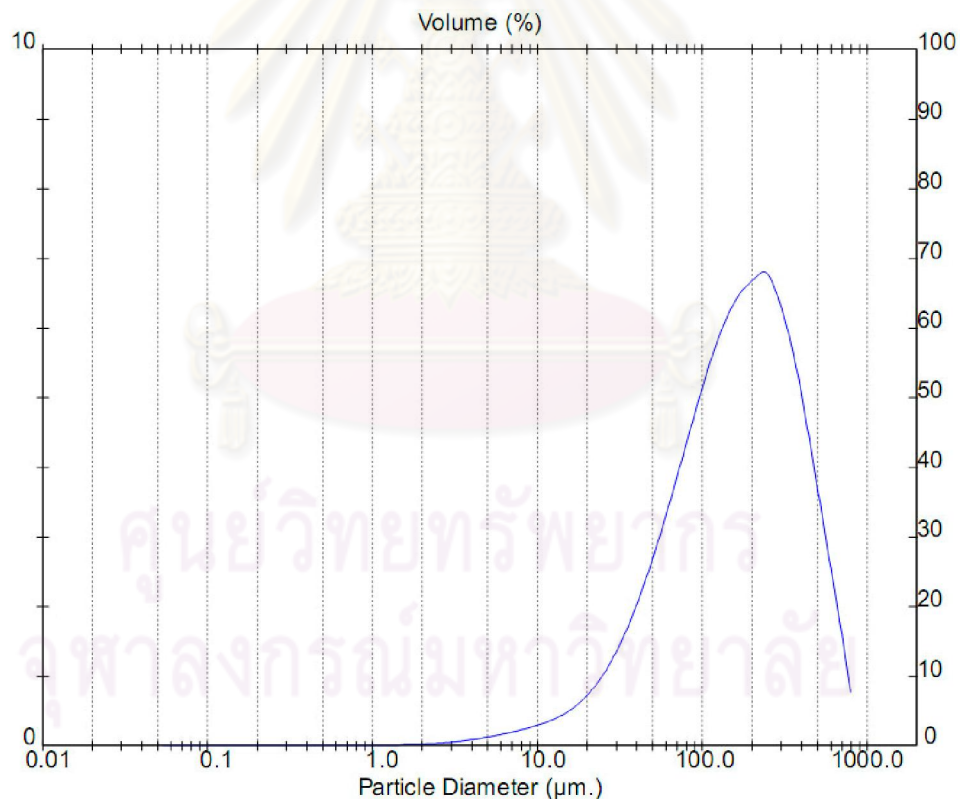
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs: 19.4 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 0.752 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.1420 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.1217 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 133.40 um		D[3, 2] = 49.30 um			
D(v, 0.1) = 26.10 um		D(v, 0.5) = 86.84 um		D(v, 0.9) = 308.81 um			
Span = 3.255E+00		Uniformity = 9.926E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.39	76.32	6.78
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.46	88.91	6.64
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.54	103.58	6.29
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.65	120.67	5.77
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.78	140.58	5.18
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.97	163.77	4.48
0.13	0.00	1.44	0.04	16.57	1.24	190.80	3.87
0.15	0.00	1.68	0.04	19.31	1.62	222.28	3.37
0.17	0.00	1.95	0.05	22.49	2.11	258.95	2.94
0.20	0.00	2.28	0.06	26.20	2.72	301.68	2.56
0.23	0.00	2.65	0.08	30.53	3.45	351.46	2.21
0.27	0.00	3.09	0.11	35.56	4.24	409.45	1.86
0.31	0.00	3.60	0.15	41.43	5.04	477.01	1.51
0.36	0.00	4.19	0.20	48.27	5.75	555.71	1.14
0.42	0.00	4.88	0.25	56.23	6.32	647.41	0.76
0.49	0.00	5.69	0.32	65.51	6.68	754.23	0.38
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.18 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนลูกลินทรีย์เมื่อเติมโพลีเมอร์ 2 มก./ก.วีเอสเอส

Result: Analysis Table

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.21	76.32	4.45
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.25	88.91	5.00
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.29	103.58	5.51
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.34	120.67	5.95
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.41	140.58	6.30
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.50	163.77	6.54
0.13	0.00	1.44	0.00	16.57	0.62	190.80	6.69
0.15	0.00	1.68	0.03	19.31	0.78	222.28	6.79
0.17	0.00	1.95	0.03	22.49	0.98	258.95	6.50
0.20	0.00	2.28	0.04	26.20	1.24	301.68	5.99
0.23	0.00	2.65	0.05	30.53	1.55	351.46	5.29
0.27	0.00	3.09	0.07	35.56	1.92	409.45	4.43
0.31	0.00	3.60	0.09	41.43	2.35	477.01	3.49
0.36	0.00	4.19	0.11	48.27	2.82	555.71	2.55
0.42	0.00	4.88	0.14	56.23	3.34	647.41	1.61
0.49	0.00	5.69	0.17	65.51	3.89	754.23	0.67
0.58	0.00	6.63	0.21	76.32	4.45	878.67	0.67

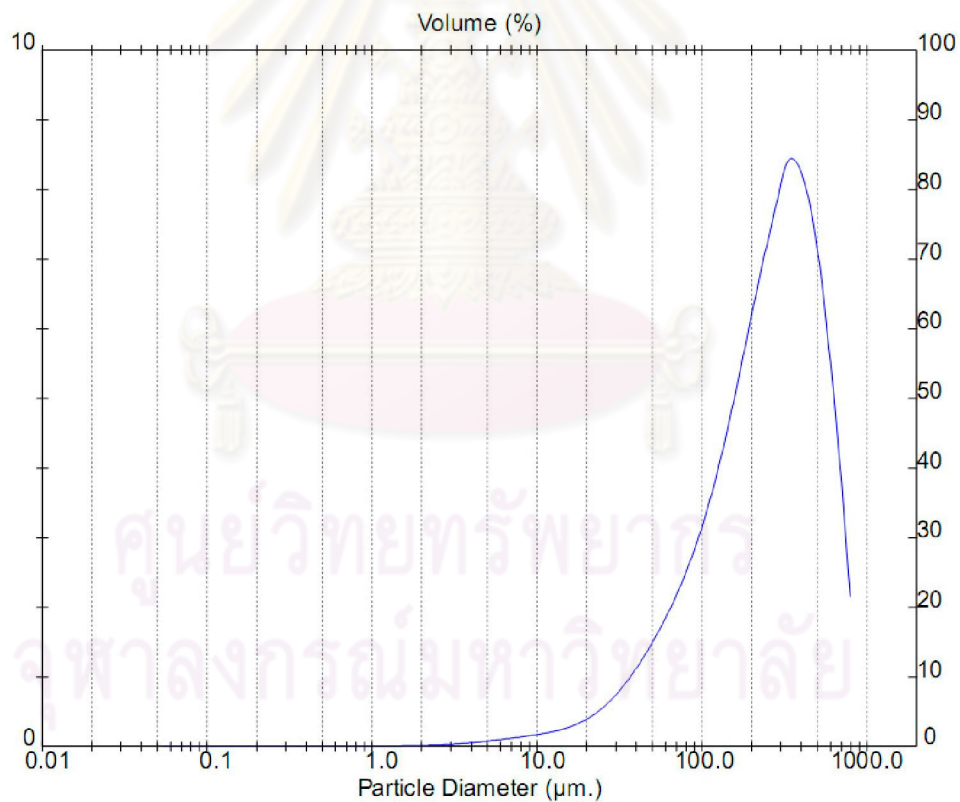


รูปที่ ข.19 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เมื่อเติมโพลีเมอร์ 4 มก./ก.วีเอสเอส

Result: Analysis Table

Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs: 22.0 %	
Presentation: 3OHD				Analysis: Polydisperse		Residual: 1.426 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.3786 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0529 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 292.82 μ m		D[3, 2] = 113.41 μ m			
D(v, 0.1) = 63.95 μ m		D(v, 0.5) = 261.03 μ m		D(v, 0.9) = 573.12 μ m			
Span = 1.951E+00		Uniformity = 6.009E-01					

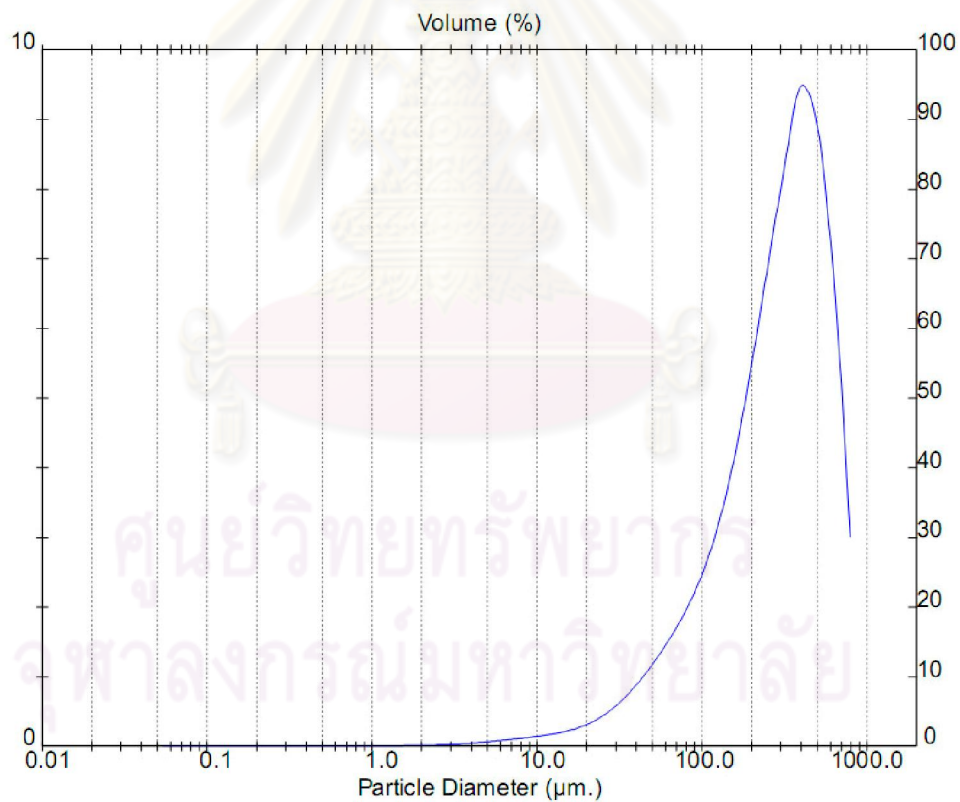
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.13	76.32	2.58
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.15	88.91	3.02
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.17	103.58	3.54
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.20	120.67	4.15
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.23	140.58	4.83
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.28	163.77	5.58
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.34	190.80	6.33
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.42	222.28	7.06
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.54	258.95	7.73
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.68	301.68	8.35
0.23	0.00	2.65	0.04	30.53	0.86	351.46	8.34
0.27	0.00	3.09	0.05	35.56	1.07	409.45	7.85
0.31	0.00	3.60	0.06	41.43	1.30	477.01	6.90
0.36	0.00	4.19	0.07	48.27	1.57	555.71	5.50
0.42	0.00	4.88	0.09	56.23	1.87	647.41	3.81
0.49	0.00	5.69	0.11	65.51	2.20	754.23	1.92
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.20 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนลูกลินทรีย์เมื่อเติมโพลีเมอร์ 6 มก./ก.วีเอสเอส

Result: Analysis Table

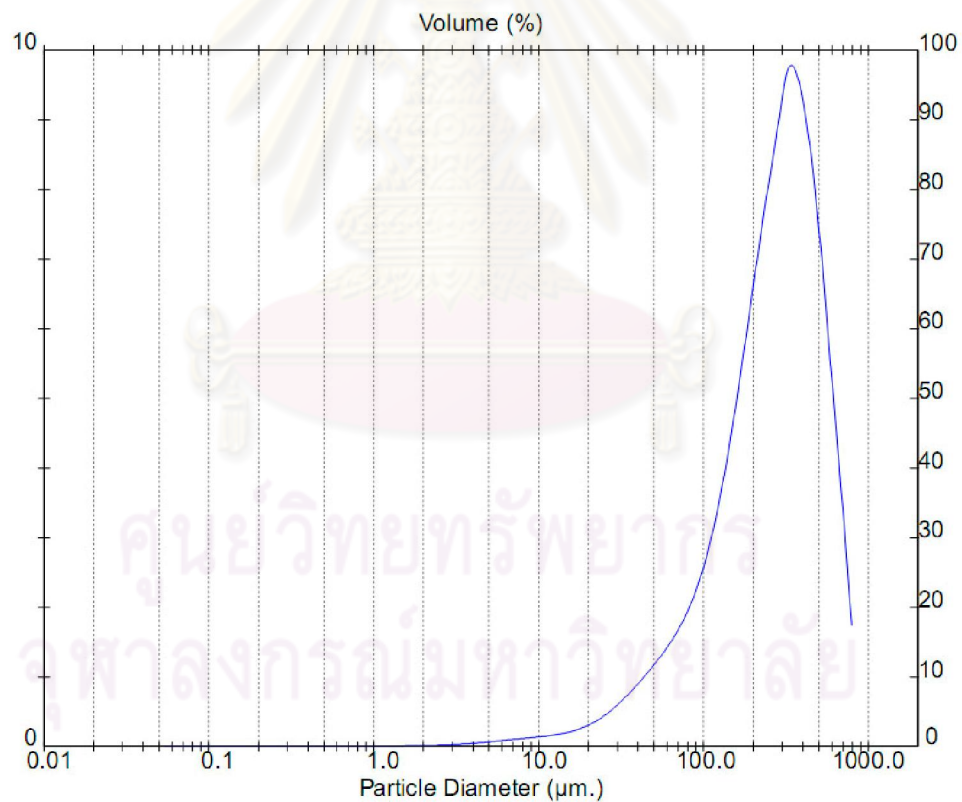
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.11	76.32	2.02
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.13	88.91	2.36
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.14	103.58	2.79
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.17	120.67	3.32
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.19	140.58	3.97
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.23	163.77	4.76
0.13	0.00	1.44	0.02	16.57	0.27	190.80	5.65
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.34	222.28	6.61
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.42	258.95	7.57
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.53	301.68	8.48
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	0.67	351.46	9.36
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	0.84	409.45	9.36
0.31	0.00	3.60	0.05	41.43	1.03	477.01	8.69
0.36	0.00	4.19	0.06	48.27	1.24	555.71	7.25
0.42	0.00	4.88	0.08	56.23	1.47	647.41	5.20
0.49	0.00	5.69	0.09	65.51	1.72	754.23	2.68
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.21 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนลูกลินทรีย์เมื่อเติมโพลีเมอร์ 8 มก./ก.วีเอสเอส

Result: Analysis Table

Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: MS14		Obs': 16.6 %	
Presentation: 3OHD		Analysis: Polydisperse				Residual: 3.581 %	
Modifications: None							
Conc. = 0.3121 %Vol		Density = 1.000 g/cm ³		S.S.A. = 0.0471 m ² /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 300.57 μ m		D[3, 2] = 127.27 μ m			
D(v, 0.1) = 77.00 μ m		D(v, 0.5) = 277.20 μ m		D(v, 0.9) = 557.41 μ m			
Span = 1.733E+00		Uniformity = 5.276E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	0.11	76.32	2.01
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	0.13	88.91	2.44
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	0.14	103.58	3.02
0.08	0.00	0.91	0.00	10.48	0.16	120.67	3.76
0.09	0.00	1.06	0.00	12.21	0.18	140.58	4.68
0.11	0.00	1.24	0.00	14.22	0.21	163.77	5.72
0.13	0.00	1.44	0.00	16.57	0.26	190.80	6.81
0.15	0.00	1.68	0.02	19.31	0.33	222.28	7.86
0.17	0.00	1.95	0.02	22.49	0.43	258.95	8.82
0.20	0.00	2.28	0.03	26.20	0.55	301.68	9.70
0.23	0.00	2.65	0.03	30.53	0.69	351.46	9.50
0.27	0.00	3.09	0.04	35.56	0.86	409.45	8.58
0.31	0.00	3.60	0.05	41.43	1.04	477.01	7.09
0.36	0.00	4.19	0.06	48.27	1.23	555.71	5.23
0.42	0.00	4.88	0.08	56.23	1.44	647.41	3.37
0.49	0.00	5.69	0.09	65.51	1.69	754.23	1.52
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	



รูปที่ ข.22 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เมื่อเติมโพลีเมอร์ 10 มก./ก.วีเอสเอส

ภาคผนวก ค

Jar Test

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการทำ Jar Test

ปริมาณพอลิเมอร์		0	1	2	4	6	8	10
SV30 (ml/l)	15 s	570	550	495	400	350	360	350
	30 s	475	460	440	375	350	355	350
ค่าความขุ่น(NTU)		78	64	55	42	36	34	35



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การหาค่าความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity)

การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity)

การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี ทำโดยใช้แบบจำลองแบบเบคซ์ โดยการนำตะกอนจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีมาทำการทดลองกับสารอาหารที่เตรียมไว้และวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น โดยเติมอาหารเพียงครั้งเดียวและไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่ม การทดลองควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์และการทดลอง

ในการทดลองใช้ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร สำหรับใส่มีดตะกอนจากถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี ด้านบนมีจุกยางสำหรับปิดปากขวด และมีหลอดแก้วกับสายยางซิลิโคนเพื่อนำแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นผ่านไปยังขวดที่ใส่สารละลาย NaOH ความเข้มข้นประมาณ 1 N เพื่อทำน้ำที่ดักแก๊สอื่นที่ไม่ใช่แก๊สมีเทน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ให้ละลายอยู่ในสารละลายดังกล่าว ส่วนแก๊สมีเทนจะแยกตัวออกแล้วเข้าสู่หลอดแก้วกับสายยางซิลิโคนที่ต่อแยกไว้ เพื่อนำแก๊สมีเทนไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้น โดยอุปกรณ์วัดปริมาณแก๊สมีเทนจะใช้บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 ชุด และใช้สายยางซิลิโคนเชื่อมต่อบิวเรตทั้ง 2 ชุดเข้าด้วยกันที่บริเวณด้านล่างของบิวเรตให้มีลักษณะคล้ายกับตัว U โดยแก๊สมีเทนจะผ่านสายยางซิลิโคนเข้าสู่ทางด้านบนของบิวเรต ซึ่งแก๊สมีเทนจะไปแทนที่น้ำที่อยู่ในบิวเรตทำให้สามารถวัดปริมาณแก๊สมีเทนได้ ขวดชมพู่ที่นำมาใช้ในการทดลองให้ไล่อากาศด้วยอัดแก๊ส N₂ กับ CO₂ (70 : 30 v/v)

สารอาหารที่ใช้คือกรดอะซิติก ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ซีไอดีประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.2 – 7.5 ด้วยสารละลาย NaHCO₃ ใช้มีดตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 25 มิลลิลิตร (ที่สภาวะตกตะกอน) ผสมกับสารอาหารปริมาตร 125 มิลลิลิตร รวมเป็นปริมาตรทั้งหมด 150 มิลลิลิตร นำขวดไปวางบนอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในช่วง 35 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง แล้วนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สมีเทนสะสมกับเวลาที่ทำการทดลอง เพื่อหาความชันของกราฟสำหรับคำนวณความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน(กรัมซีไอดี มีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน)การคำนวณความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนจะใช้อัตราการเกิดแก๊สสูงสุดในระหว่างการทดลอง ซึ่งก็คือค่าความชันสูงสุดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สมีเทนสะสมกับเวลา โดยสามารถทำการทดลองได้จากสูตรดังนี้

$$SMA = R \times 24 / (CF \times V \times VSS)$$

โดยที่

- SMA คือ Specific Methanogenic Activity
(กรัมซีโอดี มีเทนต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน)
- R คือ อัตราการเกิดแก๊สมีเทน (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)หรือค่าความเข้มข้นของกราฟ
ระหว่างปริมาตรแก๊สมีเทนสะสมกับเวลา
- CF คือ Conversion Factor (มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี) ดังตาราง
- V คือ Effective Liquid Volume Digester (ลิตร)
- VSS คือ Volatile Suspended Solid (กรัมวีเอสเอสต่อลิตร)

ตารางที่ ง.1 ค่า Conversion Factor

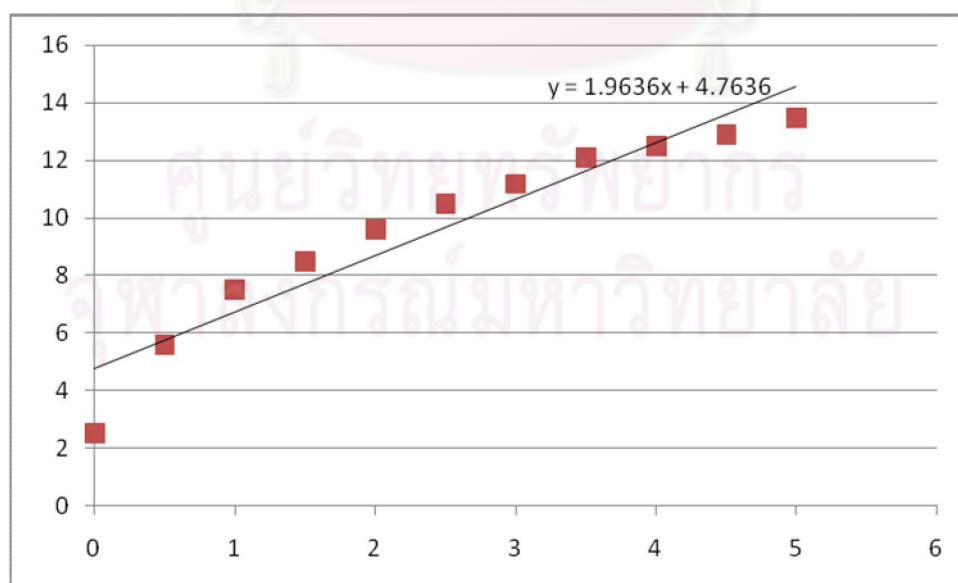
Temperature (องศาเซลเซียส)	Conversion Factor (มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมซีโอดี)
10	363
15	369
20	376
25	382
30	388
35	395
40	401
45	408

ในการทดลองนี้จะทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบี โดยเลือกที่ระดับความสูง 30 ซม. จากก้นถึงปฏิกรณ์ มาเป็นตัวแทนของตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดของแต่ละถังปฏิกรณ์ เพื่อนำมาใช้ในการหาความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน โดยตัวอย่างการคำนวณหาความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนนั้น เมื่อนำตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ไปดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นแล้ว จะได้ข้อมูลของปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆตลอดการทดลอง แสดงดังตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลของปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลอง

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้น
0	2.5
0.5	5.6
1	7.5
1.5	8.5
2	9.6
2.5	10.5
3	11.2
3.5	12.1
4	12.5
4.5	12.9
5	13.5
5.5	13.6
6	13.6

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ ง.2 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นสะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เมื่อนำกราฟช่วงที่มีความชันมากที่สุดไปหาค่าความชันจะได้ดังรูปที่ ง.2 ซึ่งค่าความชันที่ได้ คือ ค่าอัตราการเกิดแก๊สมีเทน (R) จากรูปที่ ง.1 ค่าอัตราการเกิดแก๊สมีเทน

$$\text{จากสูตร SMA} = R / (CF \times V \times VSS)$$

$$\text{แทนค่า SMA} = (1.9636 \times 24) / (395 \times 0.225 \times 5.0543)$$

$$\text{ดังนั้น SMA} = 0.10491 \text{ gCOD-CH}_4/\text{gVSS-day}$$

ตารางที่ ง.3 ค่าอัตราการเกิดแก๊สมีเทน

ช่วงการทดลอง	อัตราการเกิดแก๊สมีเทน gCOD-CH ₄ /gVSS-day		
	คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 2	คอลัมน์ที่ 3
เริ่ม	0.075205	0.075205	0.075205
สิ้นสุดช่วงที่ 1	0.10072	0.10491	0.104014
สิ้นสุดช่วงที่ 2	0.123517	0.129113	0.140612

ภาคผนวก จ

เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน

FM

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	โทร 0-2218-7523-5 โทรสาร 0-2255-5831
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	ลำดับการแก้ไข 0 หน้าที่ 1

วันที่ 9 กันยายน 2552

รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการทดสอบหาองค์ประกอบในตัวอย่าง GAS


ผู้ส่งตัวอย่าง : นายสุทธิศักดิ์ พงกษานุศักดิ์ ใบเสนอราคาเลขที่ CT0226/52
 หน่วยงาน : -
 ชนิดตัวอย่าง : Gas
 วันที่รับตัวอย่าง : 7 กันยายน 2552 วันที่วิเคราะห์ : 8 กันยายน 2552

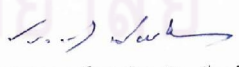
เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ : GAS CHROMATOGRAPH MODEL TRACE GC ยี่ห้อ THERMO FINNIGAN
 สภาวะการวิเคราะห์ :
 Carrier gas : Helium flow rate: 25 ml/min
 Injector Temperature : 120 °C
 Column : MOLECULA SIEVE, Temperature program set at 40 °C for 10 min
 Detector : TCD at 150 °C
 Injection Volume : 1 ml
 มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ : -

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ :

ลำดับ	Sample ID	% Methane
1	Poly = 0	50.6
2	Poly = 6	61.7
3	Poly = 8	50.3

รับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง


 (นางดาวใจ แก้วอัครชาติ)
 นักวิทยาศาสตร์
 วันที่ 9 กันยายน 2552


 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)
 หัวหน้าห้องวิจัย Fuel Research
 วันที่ 9 กันยายน 2552

- หมายเหตุ : 1. ผลการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ใช้อ้างอิงสำหรับตัวอย่างที่ส่งมาเท่านั้น
 2. ห้ามทำสำเนารายงานฉบับนี้เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/แพ้มที่เก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์	เข้าแฟ้ม	แฟ้มเก็บภาควิชาของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

FM

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	โทร 0-2218-7523-5 โทรสาร 0-2255-5831
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	ลำดับการแก้ไข 0 หน้าที่ 1

วันที่ 24 ธันวาคม 2552

รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการทดสอบหาองค์ประกอบในตัวตัวอย่าง GAS

ผู้ส่งตัวอย่าง : นายสุทธิศักดิ์ พุกษานุกศักดิ์ โบนเรนราคาเลขที่ CT067/53
 หน่วยงาน : 79/480 ปทุมวันรีสอร์ท ถ.พญาไท เขตราชเทวี กทม. 10400
 ชนิดตัวอย่าง : Gas
 วันที่รับตัวอย่าง : 23 ธันวาคม 2552 วันที่วิเคราะห์ : 23 ธันวาคม 2552

เครื่องมือวิเคราะห์/ทดสอบ : GAS CHROMATOGRAPH MODEL TRACE GC ยี่ห้อ THERMO FINNIGAN
 สภาพการวิเคราะห์ :

Carrier gas : Helium flow rate: 25 ml/min
 Injector Temperature : 120 °C
 Column : MOLECULA SIEVE, Temperature program set at 40 °C for 10 min
 Detector : TCD at 150 °C
 Injection Volume : 1 ml

มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ :

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ :

ลำดับ	Sample ID	% Methane
1.	Sample 1	89.1
2.	Sample 2	89.4
3.	Sample 3	84.0

รับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

(นางสาววันวิสา อาศัยญาติ)

นักวิทยาศาสตร์

วันที่ 24 ธันวาคม 2552

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

หัวหน้าห้องวิจัย Fuel Research

วันที่ 24 ธันวาคม 2552

หมายเหตุ : 1. ผลการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ใช้อ้างอิงสำหรับตัวอย่างที่ส่งมาเท่านั้น
 2. ห้ามทำสำเนารายงานฉบับนี้เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/แพ็คเกจเก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	แช่แข็ง	แฟ้มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

FM

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	โทร 0-2218-7523-5 โทรสาร 0-2255-5831
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	ลำดับการแก้ไข 0 หน้า 1

วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2553

รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการทดสอบห้องปฏิบัติการในตัวอย่าง GAS

ผู้ส่งตัวอย่าง : นายสุทธิศักดิ์ ทฤกษ์านุกิตติ โบเลนราคาเลขที่ CT078/53
 หน่วยงาน : 79/480 ปทุมวันรีสอร์ท ถ.พญาไท ราชเทวี กทม. 10400
 ชนิดตัวอย่าง : Gas
 วันที่รับตัวอย่าง : 26 มกราคม 2553 วันที่วิเคราะห์ : 26 มกราคม 2553

เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ : GAS CHROMATOGRAPH MODEL TRACE GC ยี่ห้อ THERMO FINNIGAN
 สภาวะการวิเคราะห์ :

Carrier gas : Helium flow rate: 25 ml/min
 Injector Temperature : 120 °C
 Column : MOLECULA SIEVE, Temperature program set at 40 °C for 10 min
 Detector : TCD at 150 °C
 Injection Volume : 1 ml

มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ :

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ :

ลำดับ	Sample ID	% Methane
1.	Sample CH ₃ -1	86.4
2.	Sample CH ₃ -2	87.2
3.	Sample CH ₃ -3	83.5

รับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

W
 (นางสาววันวิสา อาศัยญาติ)
 นักวิทยาศาสตร์
 วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2553

Leila Srisri
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)
 หัวหน้าห้องวิจัย Fuel Research
 วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2553

- หมายเหตุ : 1. ผลการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ใช้อ้างอิงสำหรับตัวอย่างที่ส่งมาเท่านั้น
 2. ห้ามทำสำเนารายงานฉบับนี้เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/เพิ่มที่เก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	แช่แข็ง	เพิ่มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่ผู้วิเคราะห์

FM

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เอกสาร: ScFM-CT-06-002-A	โทร 0-2218-7523-5
	แบบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ	โทร โทร 0-2255-5831
		ลำดับการแก้ไข 0
		หน้าที่ 1

วันที่ 8 มีนาคม 2553

รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการทดสอบหาองค์ประกอบในตัวอย่าง GAS

ผู้ส่งตัวอย่าง : นายสุทธิศักดิ์ พุกขานุกัณฑ์ ใบเสนอราคาเลขที่ CT095/53
 หน่วยงาน : 79/480 ปทุมวันรีสอร์ท ถ.พญาไท ราชเทวี กทม. 10400
 ชนิดตัวอย่าง : Gas
 วันที่รับตัวอย่าง : 26 กุมภาพันธ์ 2553 วันที่วิเคราะห์ : 26 กุมภาพันธ์ 2553

เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ : GAS CHROMATOGRAPH MODEL TRACE GC ยี่ห้อ THERMO FINNIGAN

สภาวะการวิเคราะห์ :

Carrier gas : Helium flow rate: 25 ml/min
 Injector Temperature : 120 °C
 Column : MOLECULA SIEVE, Temperature program set at 40 °C for 10 min
 Detector : TCD at 150 °C
 Injection Volume : 1 ml

มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ :

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ :

ลำดับ	Sample ID	% Methane
1.	Sample CH ₄ -2	81.7
2.	Sample CH ₄ -3	80.2
3.	Sample CH ₄ -4	87.8

รับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

(นางสาววันวิสา อาศัยญาติ)

นักวิทยาศาสตร์

วันที่ 8 มีนาคม 2553

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

หัวหน้าห้องวิจัย Fuel Research

วันที่ 8 มีนาคม 2553

- หมายเหตุ : 1. ผลการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ให้อ้างอิงสำหรับตัวอย่างที่ส่งมาเท่านั้น
 2. ห้ามทำสำเนารายงานฉบับนี้เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการ

เอกสาร	ผู้จัดเก็บ	วิธีการจัดเก็บ	สถานที่เก็บ/พื้นที่เก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ	ผู้อนุมัติให้ทำลาย	วิธีการทำลาย	ผู้มีหน้าที่ทำลาย
ScFM-CT-06-002-A	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์	เข้าแฟ้ม	แฟ้มบริการวิชาการของ เจ้าหน้าที่วิเคราะห์	1 ปี	QMR	ทิ้ง	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์

ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์ไนเตรทแบบ Brucine Method

สารเคมี

1. สารละลายสต็อกไนเตรท (Stock Nitrate Solution) ละลายแอนไฮดรัสโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) 0.7218 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร (สารละลายสต็อกนี้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร $\text{NO}_3\text{-N}$)

2. สารละลายมาตรฐานไนเตรท (Standard Nitrate Solution)

นำสารละลายสต็อกไนเตรทมา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (สารละลายมาตรฐานไนเตรทมีความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร)

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานไนเตรทดังนี้

เตรียมอนุกรมของสารละลายไนเตรทมาตรฐาน โดยการเปิดสารละลายมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดที่กำหนดตามลำดับ เขย่าให้เข้ากัน จะได้ สารละลายไนเตรทมีความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำไปทำการทดลองเช่นเดียวกับ ตัวอย่างน้ำ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

4. สารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิก (Brucine-Sulfanilic Acid Solution)

ละลายบรูซีนซัลเฟต (Brucine Sulfate) 1 กรัม และกรดซัลฟานิลิก 0.1 กรัม ในน้ำร้อน 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลือเข้มข้น (conc. HCl) 3 มิลลิลิตร ทำให้เย็นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ได้นานหลายเดือน ถ้ามีสีชมพูเกิดขึ้นจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์

5. สารละลายกรดซัลฟูริก (4+1)

ค่อย ๆ เทกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 500 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร ที่งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl Solution)

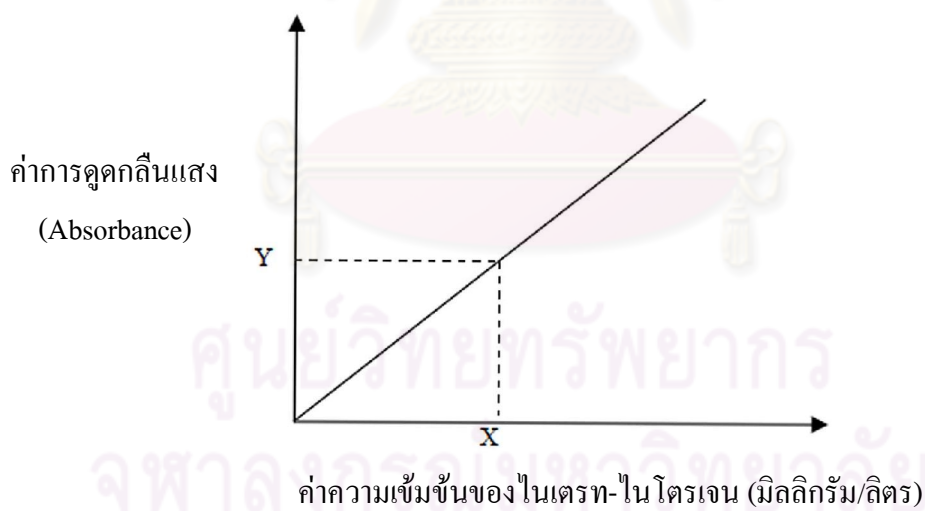
ละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 75 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร เขย่าขวด
3. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (4+1) จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำขวดรูปชมพู่ไปแช่ในถาดน้ำเพื่อให้หายร้อน
4. เมื่อเย็นแล้วให้นำมาเติมสารละลายบรูซิน-กรดซัลฟานิลิก จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปแช่ในเครื่องอังไอน้ำ (Water Bath) ซึ่งมีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (ควรเปิดเครื่องอังไอน้ำไว้ล่วงหน้าและตั้งอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงจะทดลองได้)
5. เมื่อครบเวลา 20 นาทีแล้ว ให้นำขวดรูปชมพู่แช่ลงในถาดน้ำเย็น ตั้งทิ้งไว้จนเท่าอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร
6. บันทึกค่าที่วัดได้เพื่อนำไปตัดกับกราฟมาตรฐานในเตรท

การคำนวณ หาปริมาณไนเตรทกับกราฟมาตรฐาน



$Y =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

$X =$ ความเข้มข้นของไนเตรทที่ตรวจวัดได้ หน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุทธิศักดิ์ พุกขานุกศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 ปัจจุบันได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

บางส่วนของงานวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอผลงานในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 14 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในวันที่ 11 กันยายน 2552



ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย