

ความเป็นไปได้ในการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
ของกรุงเทพมหานคร



นางสาวสุภารัตน์ โรจน์ศิริลาวัณย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2587-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FEASIBILITY OF POLYHYDROXYALKANOATE PRODUCTION FROM SLUDGE OF
BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION WASTEWATER TREATMENT PLANTS



Miss Sudarat Rodsirilawan

สภามหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2587-2

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ความเป็นไปได้ในการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากกาก ตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร |
| โดย | นางสาวสุศรารัตน์ โรจน์ศิริลาวัณย์ |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล |

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. อางอง ประทัตสุนทรสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

ศุภรัตน์ โรจน์ศิริลาวัณย์ : ความเป็นไปได้ในการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร. FEASIBILITY OF POLYHYDROXYALKANOATE PRODUCTION FROM SLUDGE OF BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION WASTEWATER TREATMENT PLANTS.
 อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล,
 187 หน้า. ISBN 974-53-2587-2.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHA) และศึกษาต้นทุนในการผลิต PHA จากกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร 4 แห่ง คือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ซึ่งเป็นระบบ Activated Sludge แบบ Contact Stabilization โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี ซึ่งเป็นระบบ Cyclic Activated Sludge System (CASS) โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ซึ่งเป็นระบบ Two-Stage Activated Sludge และโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ซึ่งเป็นระบบ Activated Sludge with Nutrients Removal แบบ Vertical Loop Reactor (VLR) ซึ่งการเปรียบเทียบความสามารถในการสะสม PHA พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีการสะสม PHA สูงสุดรองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ โดยมีความสามารถในการสะสม PHA คือ 0.292 , 0.198, 0.184 และ 0.168 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้งตามลำดับ โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมสามารถผลิต PHA ได้สูงสุด รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาซึ่งสามารถผลิต PHA ได้ 3331, 2416, 571 และ 139 กิโลกรัม/ปี ตามลำดับ ส่วนการศึกษาด้านต้นทุนการผลิต PHA พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 174,541, 180,830, 188,185 และ 212,441 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ

สาขาวิชา..วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(สหสาขาวิชา).. ลายมือชื่อนิสิต...ศุภรัตน์ โรจน์ศิริลาวัณย์.....
 ปีการศึกษา.....2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...ผศ.ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ผศ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล.....

4689171020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : POLYHYDROXYALKANOATE / CONTACT STABILIZATION ACTIVATED SLUDGE / CYCLIC ACTIVATED SLUDGE SYSTEM / TWO-STAGE ACTIVATED SLUDGE / VERTICAL LOOP REACTOR ACTIVATED SLUDGE

SUDARAT RODSIRILAWAN : FEASIBILITY OF POLYHYDROXYALKANOATE PRODUCTION FROM SLUDGE OF BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION WASTEWATER TREATMENT PLANTS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHARNWIT KOSITANONT, THESIS COADVISOR : ASST. PROF. CHAWALIT RATTANATHAMSAKUL, 187 pp. ISBN 974-53-2587-2.

The objective of this thesis is to quantitatively compare polyhydroxyalkanoate (PHA) and its economical feasibility of the production from sludge of the four Bangkok Metropolitan Administration Wastewater Treatment Plants. They are Si Phraya Water Environment Control Plant (SPWECP), Chongnonsi Water Environment Control Plant (CWECP), Rattanakosin Water Environment Control Plant (RWECP) and Nongkhaem Water Environment Control Plant (NWECP). Their operating systems are Contact Stabilization Activated Sludge, Cyclic Activated Sludge System, Two-Stage Activated Sludge and Vertical Loop Reactor Activated Sludge with Nutrients Removal respectively. The result showed that the PHA accumulation of SPWECP, CWECP, RWECP and NWECP are 0.292, 0.198, 0.184 and 0.168 percent of sludge dry weight severally. The PHA production was calculated to be 3331, 2416, 571 and 139 kg/year for NWECP, CWECP, RWECP and SPWECP respectively. In case of process modifying were done for PHA production, the product cost were 212,441 (RWECP), 188,185 (NWECP), 180,830 (SPWECP) and 174,541 baht/kg (CWECP).

Field of study..Environmental Science(Inter-Department).. Student's signature.....*S. Rodsirilawan*.....

Academic year2005..... Advisor's signature.....*C. Kositanont*.....

Co-advisor's signature.....*Chawalit Rattathamsakul*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์.ดร. อาจอง ประทัดสุนทรสาร ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์.ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์ และรองศาสตราจารย์.ดร. สมใจ เพ็งปรีชา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์, โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม, โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและการเก็บตัวอย่างงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ โรงแรมบันยันทรี, บัณฑิตวิทยาลัย และบิดามารดา ที่สนับสนุนให้ทุนสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ประเทศเยอรมัน ซึ่งให้ทุน DAAD สำหรับเป็นค่าใช้จ่ายในการไปนำเสนองานวิจัยนี้ ณ. ประเทศเวียดนาม

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆ ซึ่งคอยให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| คำย่อ..... | ด |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ตำราจเอกสาร..... | 3 |
| 2.1 พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต..... | 3 |
| 2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก..... | 3 |
| 2.1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ PHA..... | 4 |
| 2.1.3 การจำแนกชนิดของ PHA..... | 6 |
| 2.1.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิไฮดรอกซีบีวทิเรต..... | 8 |
| 2.1.5 จุลินทรีย์ที่สังเคราะห์และสะสม PHA..... | 10 |
| 2.1.6 วัฏจักรของ PHA..... | 10 |
| 2.1.7 การสะสม PHA..... | 12 |
| 2.1.8 วิธีการสังเคราะห์และย่อยสลาย PHA..... | 13 |
| 2.1.9 การย่อยสลาย PHA ในธรรมชาติ..... | 15 |
| 2.1.10 การสกัดผลิตภัณฑ์ PHA ให้บริสุทธิ์..... | 16 |
| 2.1.11 การนำ PHA มาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์..... | 18 |
| 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง PHA และระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ..... | 22 |
| 2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ..... | 22 |
| 2.2.2 การผลิต PHA จากกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ..... | 22 |
| 2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานครทั้ง 4 โรง..... | 26 |

| | หน้า |
|--|------|
| 2.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 26 |
| 2.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 29 |
| 2.3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 32 |
| 2.3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำลำพระยา..... | 34 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย..... | 37 |
| 3.1 อุปกรณ์..... | 37 |
| 3.2 สารเคมี..... | 38 |
| 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์..... | 39 |
| 3.4 การหาปริมาณ PHA โดยวิธี gas chromatography..... | 46 |
| 3.5 การย้อมเซลล์ที่มีการสะสม PHA โดยวิธี fat (poly-B-hydroxybutyric acid) stain..... | 47 |
| 3.6 การย้อมเซลล์ที่มีการสะสม โพลีฟอสเฟต โดยวิธี volutin stain..... | 47 |
| 3.7 การย้อมเซลล์ทั้งหมดโดยวิธี direct smear method..... | 47 |
| 3.8 การหาปริมาณกลูโคสโดยวิธี enzyme-colorimetric method..... | 48 |
| 3.9 การพิสูจน์หาเอกลักษณ์ของ PHA โดยวิธี NMR spectrometry..... | 49 |
| 3.10 การหาปริมาณ VFAs โดยวิธี direct titration..... | 49 |
| 3.11 การหาปริมาณ TP โดยวิธี vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method..... | 50 |
| 3.12 การหาปริมาณ COD โดยวิธี close reflux method..... | 51 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์..... | 54 |
| 4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสม PHA..... | 54 |
| 4.1.1 COD..... | 54 |
| 4.1.2 TP..... | 62 |
| 4.1.3 VFAs..... | 67 |
| 4.1.4 กลูโคส..... | 73 |
| 4.1.5 จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA..... | 73 |
| 4.1.6 จำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต..... | 75 |
| 4.1.7 จำนวนเซลล์ทั้งหมด..... | 76 |
| 4.1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA จำนวนเซลล์ที่ สะสม โพลีฟอสเฟตและจำนวนเซลล์ทั้งหมด..... | 77 |

| | |
|--|-----|
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ PHA..... | 82 |
| 4.2.1 ด้านอัตราการสะสม PHA..... | 82 |
| 4.2.2 ด้านอัตราการผลิต PHA..... | 84 |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของ PHA..... | 87 |
| 4.3.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรั้นโกสินทร์..... | 87 |
| 4.3.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 88 |
| 4.3.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 90 |
| 4.3.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 92 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆกับอัตราการสะสม PHA..... | 94 |
| 4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิต PHA..... | 95 |
| 4.5.1 ต้นทุนการผลิต PHA..... | 100 |
| 4.5.2 ค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 104 |
| 4.5.3 เปรียบเทียบในกรณีที่มีการบำบัดกากตะกอนและในกรณีที่มีการ ผลิต PHA..... | 105 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 109 |
| รายการอ้างอิง..... | 111 |
| ภาคผนวก..... | 116 |
| ภาคผนวก ก..... | 117 |
| ภาคผนวก ข..... | 127 |
| ภาคผนวก ค..... | 142 |
| ภาคผนวก ง..... | 143 |
| ภาคผนวก จ..... | 144 |
| ภาคผนวก ฉ..... | 146 |
| ภาคผนวก ช..... | 150 |
| ภาคผนวก ซ..... | 169 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 187 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยพื้นฐานของ PHA | 5 |
| ตารางที่ 2.2 แสดง โมโนเมอร์ที่พบใน mcl-PHAs..... | 8 |
| ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพของ PP และ PHB | 10 |
| ตารางที่ 2.4 จุลินทรีย์ที่สะสม PHA | 11 |
| ตารางที่ 2.5 บริษัทและจุลชีพหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ ทางชีวภาพ..... | 17 |
| ตารางที่ 2.6 ผลของราคา सबเซรทและผลผลิต P(3HB) ต่อต้นทุนการผลิต..... | 18 |
| ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต P(3HB) (100,000 ตัน/ปี) โดย <i>A.latus M.organophilum</i> และ recombinant <i>E. coli</i> ซึ่งใช้สารลดแรงตึงผิว หรือใช้ไฮโปคลอไรท์..... | 19 |
| ตารางที่ 3.1 แสดงวันที่เก็บตัวอย่าง..... | 39 |
| ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์..... | 44 |
| ตารางที่ 3.3 แสดงการผสมสารเพื่อนำไปวิเคราะห์..... | 48 |
| ตารางที่ 3.4 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม..... | 52 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการสะสม PHA ต่อปริมาณ COD ที่ลดลง..... | 61 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ทั้งหมดและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA..... | 82 |
| ตารางที่ 4.3 ปริมาณ PHA ที่คาดว่าจะผลิตได้ในปี พ.ศ. 2547..... | 85 |
| ตารางที่ 4.4 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตน โกสินทร์ใน ระยะเวลา 1 ปี..... | 100 |
| ตารางที่ 4.5 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมในระยะเวลา 1 ปี..... | 100 |
| ตารางที่ 4.6 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีในระยะเวลา 1 ปี..... | 101 |
| ตารางที่ 4.7 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาในระยะเวลา 1 ปี..... | 102 |
| ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต PHA ของทั้ง 4 โรง..... | 103 |
| ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 104 |
| ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่มีการบำบัดกากตะกอนและในกรณีที่มีการ ผลิตPHA..... | 105 |
| ตารางที่ ข.1 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตน โกสินทร์..... | 127 |
| ตารางที่ ข.2 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 128 |
| ตารางที่ ข.3 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 128 |

| | |
|--|-----|
| ตารางที่ ข.4 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 129 |
| ตารางที่ ข.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง | 129 |
| ตารางที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และปริมาณ PHA..... | 130 |
| ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 130 |
| ตารางที่ ข.8 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 131 |
| ตารางที่ ข.9 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 131 |
| ตารางที่ ข.10 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 132 |
| ตารางที่ ข.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 132 |
| ตารางที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TP และปริมาณ PHA..... | 133 |
| ตารางที่ ข.13 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 133 |
| ตารางที่ ข.14 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 134 |
| ตารางที่ ข.15 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 134 |
| ตารางที่ ข.16 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 135 |
| ตารางที่ ข.17 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 135 |
| ตารางที่ ข.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFAs และปริมาณ PHA..... | 136 |
| ตารางที่ ข.19 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 136 |
| ตารางที่ ข.20 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 137 |
| ตารางที่ ข.21 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 137 |
| ตารางที่ ข.22 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1)..... | 138 |
| ตารางที่ ข.23 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2)..... | 138 |
| ตารางที่ ข.24 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 139 |
| ตารางที่ ข.25 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 139 |
| ตารางที่ ข.26 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่ สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 140 |

| | |
|---|-----|
| ตารางที่ ข.27 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 140 |
| ตารางที่ ข.28 แสดงปริมาณ PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 141 |
| ตารางที่ ข.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 151 |
| ตารางที่ ข.2 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 151 |
| ตารางที่ ข.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 152 |
| ตารางที่ ข.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 152 |
| ตารางที่ ข.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 153 |
| ตารางที่ ข.6 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 155 |
| ตารางที่ ข.7 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 156 |
| ตารางที่ ข.8 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 159 |
| ตารางที่ ข.9 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 160 |
| ตารางที่ ข.10 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 162 |
| ตารางที่ ข.11 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 164 |
| ตารางที่ ข.12 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 165 |
| ตารางที่ ข.13 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองการผลิต..... | 166 |

| | |
|--|-----|
| ตารางที่ ซ.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 169 |
| ตารางที่ ซ.2 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 170 |
| ตารางที่ ซ.3 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 170 |
| ตารางที่ ซ.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 172 |
| ตารางที่ ซ.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 177 |
| ตารางที่ ซ.6 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 179 |
| ตารางที่ ซ.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 180 |
| ตารางที่ ซ.8 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 181 |
| ตารางที่ ซ.9 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 181 |
| ตารางที่ ซ.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 184 |
| ตารางที่ ซ.11 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 184 |
| ตารางที่ ซ.12 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2..... | 185 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ PHA | 6 |
| รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของเซลล์ <i>Alcaligenes eutrophus</i> จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดง PHB ภายในแกรนูลของเซลล์..... | 9 |
| รูปที่ 2.3 วัฏจักรของ PHA และพลาสติกชีวภาพในธรรมชาติ | 12 |
| รูปที่ 2.4 แสดงการสังเคราะห์ PHA ใน <i>Pseudomonas</i> | 13 |
| รูปที่ 2.5 วงจรการสังเคราะห์ การย่อยสลาย PHB และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง..... | 14 |
| รูปที่ 2.6 แท็บปลาที่ผลิตจากสาร PHA..... | 20 |
| รูปที่ 2.7 บัตรเครดิตที่ทำจาก PHA..... | 22 |
| รูปที่ 2.8 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 27 |
| รูปที่ 2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 28 |
| รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 30 |
| รูปที่ 2.11 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 31 |
| รูปที่ 2.12 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 32 |
| รูปที่ 2.13 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 33 |
| รูปที่ 2.14 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 35 |
| รูปที่ 2.15 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 36 |
| รูปที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 40 |
| รูปที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 41 |
| รูปที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 42 |
| รูปที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 43 |
| รูปที่ 4.1 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 54 |
| รูปที่ 4.2 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 56 |
| รูปที่ 4.3 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 57 |
| รูปที่ 4.4 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 58 |
| รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 60 |
| รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ที่ลดลงและปริมาณ PHA..... | 61 |
| รูปที่ 4.7 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 62 |
| รูปที่ 4.8 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 63 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 4.9 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี..... | 64 |
| รูปที่ 4.10 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 64 |
| รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 66 |
| รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TP ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณ PHA..... | 67 |
| รูปที่ 4.13 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 68 |
| รูปที่ 4.14 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 69 |
| รูปที่ 4.15 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี..... | 69 |
| รูปที่ 4.16 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 70 |
| รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 71 |
| รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFAs ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณ PHA..... | 72 |
| รูปที่ 4.19 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 74 |
| รูปที่ 4.20 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 76 |
| รูปที่ 4.21 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 77 |
| รูปที่ 4.22 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1)..... | 78 |
| รูปที่ 4.23 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2)..... | 78 |
| รูปที่ 4.24 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 79 |
| รูปที่ 4.25 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี..... | 80 |
| รูปที่ 4.26 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 80 |
| รูปที่ 4.27 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟต..... | 81 |
| รูปที่ 4.28 ปริมาณ PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง..... | 83 |
| รูปที่ 4.29 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ¹ H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 87 |

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 4.30 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 88 |
| รูปที่ 4.31 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 89 |
| รูปที่ 4.32 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 90 |
| รูปที่ 4.33 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 91 |
| รูปที่ 4.34 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 92 |
| รูปที่ 4.35 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 93 |
| รูปที่ 4.36 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจาก โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 94 |
| รูปที่ 4.37 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์..... | 96 |
| รูปที่ 4.38 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม..... | 97 |
| รูปที่ 4.39 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี..... | 98 |
| รูปที่ 4.40 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา..... | 99 |
| รูปที่ ค.1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน PHB | 142 |
| รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้คำนวณหาปริมาณ PHA..... | 143 |
| รูปที่ จ.1 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของสาร PHB มาตรฐาน..... | 144 |
| รูปที่ จ.2 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของสาร PHB มาตรฐาน..... | 145 |

คำย่อ

คำย่อทั่วไป

| | | |
|-------------------|---|--|
| มล. | = | มิลลิลิตร |
| ล. | = | ลิตร |
| 3HB | = | 3-hydroxybuterate |
| 3HV | = | 3-hydroxyvalerate |
| ABS | = | Acrylonitrile-Butadiene-Styrene |
| ACP | = | Acyl Carrier Protein |
| ATP | = | Adenosine Triphosphate |
| BOD | = | Biochemical Oxygen Demand |
| CASS | = | Cyclic Activated Sludge System |
| CDCl ₃ | = | Deuterated Chloroform |
| COD | = | Chemical Oxygen Demand |
| Conc. | = | Concentration |
| DO | = | Dissolved Oxygen |
| DWF | = | Dry Water Flow |
| F _t | = | Fuel Adjustment Charge |
| FAS | = | Ferrous Ammonium Sulfate |
| GC | = | Gas Chromatography |
| GOD | = | Glucose Oxidase |
| hr | = | Hour |
| kg | = | Kilogram |
| KVar | = | Kilovar |
| kw | = | Kilowatt |
| l | = | Liter |
| lcl-PHAs | = | Long Chain Length-Polyhydroxyalkanoates |
| m ³ | = | Cubic Meter |
| mcl-PHAs | = | Medium Chain Length-Polyhydroxyalkanoate |
| mg | = | Milligram |
| MHz | = | Megahertz |
| min | = | Minute |

| | | |
|---------------|---|---|
| ml. | = | Milliliter |
| MLSS | = | Mixed Liquor Suspended Solids |
| MLVSS | = | Mixed Liquor Volatile Suspended Solids |
| NAD | = | Nicotinamide Adinide Dinucleotide |
| NADH | = | Nicotinamide Adinide Dinucleotide Hydrogen |
| NMR | = | Nuclear Magnetic Rasonance |
| OAA | = | Oxaloacetate |
| P(3HB) | = | Poly-3- Hydroxybuterate |
| P(3HB-co-3HV) | = | Poly-3-Hydroxybuterate-co-3-Hydroxyvalerate |
| PE | = | Polyethylene |
| pH | = | Potential Hydrogen |
| PHA | = | Polyhydroxyalkanoate |
| PHB | = | Polyhydroxybuterate |
| PHV | = | Polyhydroxyvalerate |
| POD | = | Peroxidase |
| PP | = | Polypropylene |
| ppm. | = | Parts Per Million |
| PS | = | Polystyrene |
| PVC | = | Polyvinyl Chloride |
| SBR | = | Sequencing Batch Reactor |
| scl-PHAs | = | Short Chain Length-Polyhydroxyalkanoates |
| S.D. | = | Standard Deviation |
| sec | = | Second |
| TCA | = | Tricarboxylic Acid Cycle |
| TP | = | Total Phosphorus |
| VFAs | = | Volatile Fatty Acids |
| VLR | = | Vertical Loop Reactor |
| μl. | = | Microliter |

คำย่อจุดเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอน

| | | |
|------|---|---|
| CC | = | น้ำในถัง CASS ขณะตกตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี |
| CA | = | น้ำในถัง CASS ขณะเติมอากาศของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี |
| CE | = | น้ำที่ออกจากระบบของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี |
| CR | = | น้ำก่อนเข้า Reactor ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี |
| ESC | = | กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี |
| ESS | = | กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา |
| N | = | น้ำในถัง Clarifier ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม |
| NC | = | น้ำก่อนเข้า Clarifier ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม |
| NE | = | น้ำที่ออกจากระบบ ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม |
| NR | = | น้ำก่อนเข้า Reactor ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม |
| R1 | = | น้ำในถัง Clarifier ชั้นที่ 1 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| R2 | = | น้ำในถัง Clarifier ชั้นที่ 2 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RC1 | = | น้ำก่อนเข้า Clarifier ชั้นที่ 1 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RC2 | = | น้ำก่อนเข้า Clarifier ชั้นที่ 2 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RE | = | น้ำที่ออกจากระบบ ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RR1 | = | น้ำก่อนเข้า Reactor ชั้นที่ 1 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RR2 | = | น้ำก่อนเข้า Reactor ชั้นที่ 2 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RSN | = | กากตะกอน ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม |
| RSR1 | = | กากตะกอน ชั้นที่ 1 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| RSR2 | = | กากตะกอน ชั้นที่ 2 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ |
| S | = | น้ำในถัง Clarifier ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา |
| SC | = | น้ำก่อนเข้า Clarifier ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา |
| SE | = | น้ำที่ออกจากระบบของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา |
| SR | = | น้ำก่อนเข้า Reactor ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลาสติกสังเคราะห์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ทั้งเป็นภาชนะบรรจุ เป็นสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ และในอนาคตก็มีแนวโน้มที่จะใช้พลาสติกแทนวัสดุอื่นๆ มากขึ้น พลาสติกเหล่านี้ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น พอลิเอทิลีน (polyethylene) หรือ PE พอลิโพรพิลีน (polypropylene) หรือ PP พอลิสไตลีน (polystyrene) หรือ PS พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) หรือ PVC และพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (polyethylene terephthalate) หรือ PET (Evans และ Sikdar, 1990) การที่ผลิตภัณฑ์พลาสติกได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่เป็นสนิม มีสีสันสวยงาม น้ำหนักเบา สามารถผลิตเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย อีกทั้งยังทำให้เป็นเส้นใยและฟิล์มบางๆ ได้ มีการผลิตพลาสติกปริมาณมากกว่า 100 ล้านตันในทุกๆ ปี (Kalia และคณะ, 2000 อ้างถึงใน Reddy และคณะ, 2003) แต่หลังจากใช้พลาสติกเหล่านี้แล้วจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากพลาสติกเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ ยังคงมีส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ก่อให้เกิดปัญหาต่อไป ปัจจุบันวิธีการกำจัดพลาสติกมี 3 วิธีคือ 1. การฝังกลบ มีข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่าย แต่ก็มีข้อเสียคือพื้นที่รองรับมีจำกัด ใช้เวลาในการสลายตัวนานเป็นอุปสรรคต่อการไหลซึมของน้ำเป็นวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพ (Evans และ Sikdar, 1990) 2. การนำกลับมาใช้ใหม่ มีข้อดีคือเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุอย่างสูงสุด แต่ก็มีข้อเสียในส่วนของข้อจำกัดในการใช้งานอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ไม่ควรนำมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหาร เครื่องดื่ม มีปัญหาในการผลิต อายุการใช้งานสั้นลง (Leaversuch, 1987) 3. การเผา มีข้อดีคือเป็นวิธีที่สะดวก มีประสิทธิภาพ แต่ใช้ต้นทุนสูง มีปัญหาเรื่องการควบคุมควันหรือเขม่า รวมทั้งก๊าซพิษเช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการเผา (Reddy และคณะ, 2003) ซึ่งเป็นการสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

Brandl และคณะ (1990) รายงานว่าพบพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะถูกสร้างและสะสมอยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เป็นกลุ่มสารที่เรียกว่า PHA หรือ พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (polyhydroxyalkanoate) ซึ่งการศึกษาการผลิต PHA ในเชิงพาณิชย์เพื่อการผลิตพลาสติกโดยเฉพาะ โดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์เพาะเลี้ยงในสภาวะปลอดเชื้อและต้องจัดหาสารอาหารมาเลี้ยงจุลินทรีย์ ราคาของ PHA จึงแพงมากกว่าพลาสติกทั่วไป (Chua และคณะ, 1997) ดังนั้นจึงมีการสนใจจะผลิต PHA จากกากตะกอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

กรุงเทพมหานครมีปริมาณน้ำเสียจากกิจกรรมชุมชนมากที่สุดคือ 72 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด (สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2547) โรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร 4 แห่ง คือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ซึ่งเป็นระบบ Activated Sludge แบบ Contact Stabilization โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี ซึ่งเป็นระบบ Cyclic Activated Sludge System (CASS) โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ซึ่งเป็นระบบ Two-Stage Activated Sludge และเฉพาะโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมโรงเดียว ซึ่งเป็นระบบ Activated Sludge with Nutrients Removal แบบ Vertical Loop Reactor (VLR) มีน้ำเสียที่เข้าสู่โรงบำบัดเป็นน้ำเสียชุมชนคิดเป็น 33.73 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำเสียทั้งหมดของกรุงเทพมหานคร (สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2547) และมีกากตะกอนเกิดขึ้นรวมกันประมาณ 36 ตันต่อวันที่ต้องนำไปบำบัด ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายถึง 263 บาทต่อตัน (ปริญญาญ์ ดึงมี, สัมภาษณ์, 27 สิงหาคม 2547) ซึ่งกากตะกอนเหล่านี้มี PHA สะสมอยู่

งานวิจัยนี้มุ่งสนใจความเป็นไปได้ในการผลิต PHA จากกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนและได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่นำจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการผลิตโดยวิธีการเลี้ยงจุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์ อีกทั้งไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เปรียบเทียบปริมาณ PHA ที่มีในกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่ใช้ระบบบำบัดต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิต PHA จากกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ใช้กากตะกอนและน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร 4 แห่ง คือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ และโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ซึ่งใช้ระบบบำบัดแตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบความเป็นไปได้ในการผลิต PHA จากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน

บทที่ 2

สำรวจเอกสาร

2.1 พอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอต (Polyhydroxyalkanoate, PHA)

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติก คือ สารอินทรีย์ที่นำไปสังเคราะห์โดยวิธีทางเคมี และทำให้เกิดการเชื่อมต่อกของโมเลกุลเป็นจำนวนมากๆ ทำให้มีคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรง ความเหนียว ความทนต่อการกัดกร่อน และเป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น พลาสติกเป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีธาตุคาร์บอนที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางรวมการเกาะตัวของธาตุต่างๆในพลาสติก เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และอื่นๆ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา, 2544)

2.1.1.1 พลาสติกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา, 2544)

2.1.1.1.1 เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) มีลักษณะโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบเส้นยาวตลอด ทำให้มีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้ดี และแบบแตกแขนง ทำให้มีความหนาแน่นน้อย ซึ่งทั้ง 2 แบบ จะมีความยืดหยุ่นเมื่อได้รับความร้อน เมื่อเย็นตัวจะมีสภาพคงเดิม เมื่อถึงจุดหลอมละลายจะหลอมเหลวและนำกลับมาใช้ได้ใหม่

2.1.1.1.2 เทอร์โมเซตติง (thermosetting) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบตาข่ายแบบแฉบหรือร่างแห ทำให้มีความหนาแน่นสูง แข็งแรงและทนความร้อนสูง เมื่อได้รับความร้อนจึงไม่ยืดหดตัว เมื่อถึงจุดหลอมละลายจะไหม้ไฟและนำมาใช้งานอีกไม่ได้

2.1.1.1.3 อีลาสโตเมอร์ (elastomer) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบตาข่ายแบบแฉบ อยู่ในสภาพอ่อนตัวได้ ทนความร้อนสูง เมื่อได้รับความร้อนจะยืดหยุ่นตัวได้เล็กน้อยมีคุณสมบัติคล้ายแบบเทอร์โมพลาสติก

2.1.1.2 การสลายตัวของพลาสติกมี 3 วิธีทาง คือ

2.1.1.2.1 พลาสติกที่มีการสลายตัวโดยแสง (photodegradable plastic)

พลาสติกชนิดนี้มีกลุ่มคาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบที่มีความไวต่อแสง เมื่อสัมผัสกับแสงจะเกิดการแตกตัวของกลุ่มคาร์บอนิล ซึ่งจะทำให้พลาสติกกรอบและแตกเป็นชิ้นเล็กๆ แต่ย่อยสลายได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการย่อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก ความหนาของชิ้นส่วนพลาสติก และปริมาณของสารประกอบอื่นในพลาสติก ปัจจุบันพลาสติกที่สามารถที่สามารถทำลายโดยวิธีนี้ได้แก่ พอลิเอทิลีน (polyethylene) หรือ PE พอลิสไตรีน (polystyrene) หรือ PS พอลิโพรพิลีน (polypropylene) หรือ PP พอลิบิวทีน (polybutene) พอลิบิวทาไดอิน (polybutadiene) พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) หรือ PVC และอะซิลโลไนไตรล์-บิวทาไดเอน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene) หรือ ABS ซึ่งได้ผสมสาร photoactivator ลงไป (Harper และ Kallar, 1972)

2.1.1.2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้บางส่วน คือพลาสติกที่เติมสารพอลิเมอร์

ธรรมชาติซึ่งย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน ชีลื้อย แล็กโตส แป้ง ชนิดต่างๆ เช่น แป้งข้าวโพด และสารเติมแต่งอื่นๆ ลงในพลาสติก เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) หรือ PE พอลิโพรพิลีน (polypropylene) หรือ PP พอลิสไตรีน (polystyrene) หรือ PS เป็นต้น เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินซึ่งอยู่ในที่ๆ มีความชื้น หรือน้ำ ย่อยสลายอนุภาคสารดังกล่าว ทำให้พลาสติกมีความพรุนมากขึ้น ช่วยในการทำลายร่างแหของพลาสติกต่อไป แต่ยังคงเหลือชิ้นส่วนของพลาสติกซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ (ส่วนที่ไม่ใช่สารพอลิเมอร์ธรรมชาติ)

2.1.1.2.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์

(biodegradable plastic) ได้แก่เทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิเอสเทอร์ ซึ่งเป็นพลาสติกที่สลายตัวด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในธรรมชาติไปย่อยหมู่เอสเทอร์ชนิดเอลาติกของพอลิเมอร์ และได้สารที่ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะถูกสร้างและสะสมอยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์บางชนิด เป็นกลุ่มสารที่เรียกว่า PHA หรือพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (polyhydroxyalkanoates) (Brandl และคณะ, 1990)

2.1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ PHA

PHA เป็นพอลิเอสเทอร์ชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในกลุ่มไฮดรอกซีอัลคาโนเอต สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ในภาวะที่มีการจำกัดสารอาหารบางชนิด เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ หรือ ออกซิเจน และมีแหล่งคาร์บอนมากเกินไป โดย PHA ที่สังเคราะห์ขึ้นจะถูกเก็บไว้อยู่ในรูปของแกรนูลภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์

จำนวนและขนาดของแกรนูลในแต่ละเซลล์ จะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ เช่น *Ralstonia eutropha* จะมีแกรนูล 8-13 แกรนูลต่อเซลล์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.2-0.5 ไมครอน (Doi, 1990) จุลินทรีย์เก็บ PHA ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นแหล่งพลังงาน แหล่งคาร์บอน หรือแหล่งของรีดิวซ์เฟอเวอ์ PHA ประกอบด้วยโมโนเมอร์หลายชนิดโดยพบมากกว่า 90 ชนิด ซึ่งอยู่ในรูป R-configuration เนื่องจากความจำเพาะของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในวิธีการสังเคราะห์

PHA มีคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก คือ สามารถนำมาขึ้นรูป และทำให้เป็นฟิล์ม ชีท ไฟเบอร์ได้ และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ PP และ PE แต่มีข้อที่ดีกว่าคือ สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีเอนไซม์เอสเตอเรส (esterase) และ ดีพอลิเมอร์เอส (depolymerase) จึงมีความน่าสนใจในการนำมาทดแทนการใช้พลาสติกที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีบางชนิด เช่น PP PE และ PVC ซึ่งในปัจจุบันก่อปัญหาด้านการกำจัดและตกค้างในธรรมชาติเป็นเวลานาน PHA สามารถทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ชัดเจน ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งคาร์บอน (Byrom, 1987)

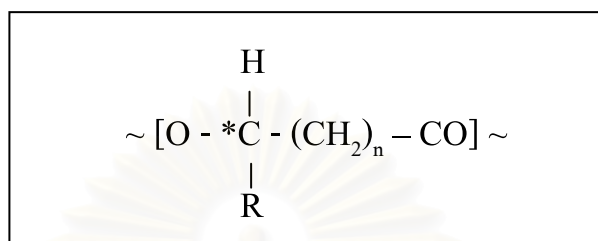
ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยพื้นฐานของ PHA

| | 3-ไฮดรอกซี- บิวทีเรต (3HB) | 3-ไฮดรอกซี- วาเลอเรต (3HV) | 3-ไฮดรอกซี- 2-เมทิลบิวทีเรต (3H2MB) | 3-ไฮดรอกซี- 2-เมทิลวาเลอเรต (3H2MV) |
|--------------------------------|---|---|--|---|
| จำนวน คาร์บอน ที่สายหลัก | 4 | 5 | 4 | 5 |
| กรดอิสระ | $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3\text{-CH-CH}_2\text{-COOH} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH-CH}_2\text{-COOH} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3\text{-CH-CH-COOH} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH-CH-COOH} \end{array}$ |
| ในพีเอชเอ | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{(-O-CH-CH}_2\text{-CO-)} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{(-O-CH-CH}_2\text{-CO-)} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{(-O-CH-CH-CH-CO-)} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{(-O-CH-CH-CH-CO-)} \end{array}$ |
| สารเริ่มต้น | 2 อะซิทิล-โคเอ | 1 อะซิทิล-โคเอ 1 โพรไพโอนิล-โคเอ | 1 อะซิทิล-โคเอ 1 โพรไพโอนิล-โคเอ | 2 โพรไพโอนิล-โคเอ |

ที่มา : Satoh และคณะ (1992) อ้างถึงใน ชงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544)

PHA มีโครงสร้างเป็นพอลิเอสเทอร์สายตรง (aliphatic polyesters) ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน สูตรโครงสร้างทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.1 โมโนเมอร์ของสาย

พอลิเมอร์ต่อกันแบบหัวต่อหาง โดยโมโนเมอร์ในกลุ่มไฮดรอกซีเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกของโมโนเมอร์ตัวถัดไปตรงตำแหน่งปีต้าคาร์บอน (Madison และ Huisman, 1999) นอกจากนี้ยังสามารถต่อกันได้มากกว่า 1 โมโนเมอร์ ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ PHA

~ คือพันธะเอสเทอร์

*C คือตำแหน่งปีต้าคาร์บอน

| | | | |
|-------------|--|---|------------|
| เมื่อ n = 1 | R = ไฮโดรเจน (H) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีโพรพิโอเนต) | ; P (3HP) |
| | R = เมทิล (CH ₃) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต) | ; P (3HB) |
| | R = เอทิล (C ₂ H ₅) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) | ; P (3HV) |
| | R = โพรพิล (C ₃ H ₇) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีเฮกซะโนเอต) | ; P (3HHx) |
| | R = บิวทิล (C ₄ H ₉) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีเฮปตะโนเอต) | ; P (3HH) |
| | R = เพนทิล (C ₅ H ₁₁) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีออกตะโนเอต) | ; P (3HO) |
| | R = เฮกซิล (C ₆ H ₁₃) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีโนนาโนเอต) | ; P (3HN) |
| | R = เฮปทิล (C ₇ H ₁₅) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีเดคาโนเอต) | ; P (3HD) |
| | R = ออกทิล (C ₈ H ₁₇) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีอันเดคาโนเอต) | ; P (3HUD) |
| | R = โนทิล (C ₉ H ₁₉) | สารนี้คือ พอลิ (3-ไฮดรอกซีโดเดคาโนเอต) | ; P (3HDD) |
| เมื่อ n = 2 | R = ไฮโดรเจน (H) | สารนี้คือ พอลิ (4-ไฮดรอกซีบิวทีเรต) | ; P (4HB) |
| เมื่อ n = 3 | R = ไฮโดรเจน (H) | สารนี้คือ พอลิ (5-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) | ; P (5HV) |

2.1.3 การจำแนกชนิดของ PHA

2.1.3.1 การจัดจำแนกกลุ่มโดยแบ่งตามชนิดของโมโนเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในสายพอลิเมอร์ แบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

2.1.3.1.1 โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย โมนิเมอร์เพียงชนิดเดียวมาต่อกัน เช่น พอลิ-3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต (poly-3-hydroxybutyrate) และ พอลิ-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต (poly-3-hydroxyvalerate) เป็นต้น

2.1.3.1.2 เฮเทอโรพอลิเมอร์ (heteropolymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย โมนิเมอร์มากกว่า 2 ชนิดมาต่อกัน โดยเรียกชื่อตามจำนวนของ โมนิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบดังนี้

2.1.3.1.2.1 โคพอลิเมอร์ (copolymer) ประกอบด้วย โมนิเมอร์ 2 ชนิดมาต่อกันเป็นสายพอลิเมอร์ เช่น พอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) [poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) หรือ PHBV] พอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-4-ไฮดรอกซีบิวทิเรต) [poly (3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) หรือ P(3HB-co-4HB)] เป็นต้น

2.1.3.1.2.2 เทอริพอลิเมอร์ (terpolymer) ประกอบด้วย โมนิเมอร์ 3 ชนิดต่อกันเป็นสายพอลิเมอร์ เช่น พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต-โค-4-ไฮดรอกซีบิวทิเรต)[poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate-co-4-hydroxybutyrate) หรือ P(3HB-co-3HV-co-4HB)] เป็นต้น

2.1.3.2 การจัดจำแนกกลุ่มโดยแบ่งตามจำนวนคาร์บอนในหน่วยโมนิเมอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ (Lee, 1996b)

2.1.3.2.1 PHAs สายสั้น (short chain length, SCL) หรือ scl-PHAs เป็น PHA ที่มีคาร์บอนอะตอม 3-5

2.1.3.2.2 PHAs สายกลาง (medium chain length, MCL) หรือ mcl-PHAs เป็น PHA ที่มีคาร์บอนอะตอม 6-14 โดยมีการค้นพบ mcl-PHAs ที่มีความแตกต่างของโมนิเมอร์ประมาณ 100 ชนิด ตัวอย่างดังตารางที่ 2.2 ซึ่งตำแหน่งที่ถูกลอกซิดซ์ในโมนิเมอร์ได้ อาจไม่ใช่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 3 แต่เป็นตำแหน่งอื่นๆ ได้ เช่น 4-ไฮดรอกซีบิวทิเรต และ 5-ไฮดรอกซีวาเลอเรต เป็นต้น

2.1.3.2.3 PHAs สายยาว (long chain length, LCL) หรือ lcl-PHAs เป็น PHA ที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 14 อะตอมขึ้นไป

ตารางที่ 2.2 แสดงโมโนเมอร์ที่พบใน mcl-PHAs

| 3-Hydroxy acids | 3-Hydroxy acids (unsaturated) | 3-Hydroxy acids (branched) | 3-Hydroxy acids (substituted sidechain) | Other than 3-Hydroxy acids |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| Propionic | 2-butenoic | 2-methylbutyric | Cyclohexylbutyric | 4-hydroxybutyric |
| Butyric | 4-pentenoic | 2-methylvaleric | 5-phenylvaleric | 4-hydroxyvaleric |
| Valeric | 4-hexanoic | 2,6-dimethyl-5-hepenoic | 7-fluoroheptanoic | 4-hydroxyhexanoic |
| Hexanoic | 5-hexanoic | 4-methylhexanoic | 9-fluorononanoic | 4-hydroxyheptanoic |
| Heptanoic | 6-heptenoic | 5-methylhexanoic | 6-chlorohexanoic | 4-hydroxyoctanoic |
| Octanoic | 6-octenoic | 4-methyloctanoic | 8-chlorooctanoic | 5-hydroxyvaleric |
| Nonanoic | 7-octenoic | 5-methyloctanoic | 6-bromohexanoic | 5-hydroxyhexanoic Malic |
| Decanoic | 8-nonenoic | 6-methyloctanoic | 8-bromooctanoic | |
| Undecanoic | 9-decenoic | 7-methyloctanoic | 11-bromoundecanoic | |
| Dodecanoic | 10-undecenoic | 6-methylnonanoic | 7-cyanoheptanoic | |
| Tetradecanoic | 6-dodecenoic | 7-methylnonanoic | 9-cyanononanoic | |
| Hexadecanoic | 5-tetradecenoic | 8-methylnonanoic | 12-hydroxydodecanoic | |
| | 5,8-tetradecadienoic | 7-methyldecanoic | Succinic methylester acid | |
| | 5,8,11-tetradecatrienoic | 9-methyldecanoic | Adipic acid methylester | |
| | 4-hexadecenoic | | Suberic acid methylester | |
| | 4,7-hexadecadienoic | | Suberic acid ethylester | |
| | | | Pimelic acid propylester | |
| | | | Sebacic acid benzylester | |

ที่มา : Witholt and Kessler. (1999)

2.1.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (Polyhydroxybutyrate) หรือ

PHB

PHB เป็นสารในกลุ่ม PHA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สร้างและสะสมอยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์เซลล์เดี่ยวต่างๆ ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารประเภทคาร์บอนและแหล่งพลังงานให้แก่เซลล์ PHB ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นถูกเก็บไว้ในแกรนูลภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 – 0.5 ไมครอน และมีเมมเบรนซึ่งประกอบด้วยไขมัน และ โปรตีนหนา 2 นาโนเมตร PHB ที่แยกได้จากเซลล์แบคทีเรียมีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ $10^5 - 10^6$ และมีโครงสร้างเป็นผลึก (crystalline) มีระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity) สูง (มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสะท้อนแสงได้และมีโครงสร้างภายในเป็น fibril ที่ยึดหยุ่นได้ PHB เป็นโฮโมพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ กรด 3-ไฮดรอกซีบิวทีริก จำนวน

23,000-25,000 โมเลกุล มีจุดหลอมเหลวประมาณ 180 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุลของ PHB จะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ วิธีการสกัด ช่วงการเจริญของเซลล์ที่นำมาสกัด และสถานะที่ใช้เลี้ยงเซลล์ เช่น ค่าพีเอช อุณหภูมิ ปริมาณสารอาหารที่จำเป็น เป็นต้น (Anderson และคณะ, 1990)



รูปที่ 2.2 ภาพตัดของเซลล์ *Alcaligenes eutrophus* จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดง PHB ภายในแกรนูลของเซลล์
ที่มา : Byrom (1987)

PHB เป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำไปใช้งานหลายประเภท เนื่องจากความสามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น PP แต่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการที่ดีกว่า เช่น การทนทานต่อ UV ความหนาแน่น จุดหลอมเหลว ระดับความเป็นผลึก เป็นต้น แต่จะทนต่อตัวทำละลายน้อยกว่า และเปราะกว่า (Evans และ Sikdar, 1990) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

อย่างไรก็ตามมี PHA ไม่กี่ชนิดที่มีปริมาณสะสมอยู่ในเซลล์มากพอที่จะนำมาสกัด และมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ Lee (1996b) ได้รายงานว่ PHA ที่ผลิตได้ในเชิงพาณิชย์แล้ว ได้แก่ P(3HB) หรือ PHB และ P(3HB-co-3HV) หรือ PHB+PHV ทั้งนี้สมบัติบางอย่างใกล้เคียงกับพลาสติกชนิด PP หรือโพลีโพรพิลีน แต่เปราะและแตกหักง่ายกว่า ทำให้เป็นอุปสรรคในการนำพลาสติกที่ผลิตจาก P(3HB) นี้ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงได้มีการพัฒนาไปเป็นโพลิเมอร์ร่วมประเภท P(3HB-co-3HV) ซึ่งพบว่าถ้าสารโพลิเมอร์นี้มีสัดส่วนของ 3HV เพิ่มขึ้น สมบัติทางกลของพลาสติกจะดีขึ้น คือมีความเปราะลดลงแต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีคุณภาพดีขึ้น

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพของ PP และ PHB

| สมบัติ | PP | PHB |
|---|-----------|-----------|
| จุดหลอมเหลว(°ซ) | 171-186 | 171-182 |
| ความสามารถเป็นผลึก(เปอร์เซ็นต์) | 65-70 | 65-80 |
| ความหนาแน่น(g/cm ³) | 0.95-0.94 | 1.23-1.25 |
| น้ำหนักโมเลกุล(x 10 ⁵) | 2.2-7 | 1-8 |
| การกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution) | 5-12 | 2.2-3 |
| ความแข็ง(flexural modulus)(GPa) | 1.7 | 3.5-4 |
| ความสามารถในการต้านแรงดึง (tensile strength)(MPa) | 39 | 40 |
| ความสามารถในการขยายตัว (extension to break)(เปอร์เซ็นต์) | 400 | 6-8 |
| ความทนทานต่อแสงอุลตราไวโอเลต (UV resistance) | ไม่ดี | ดี |
| ความสามารถให้ออกซิเจนผ่าน (oxygen permeability)(cm ⁻¹ m ⁻² atm ⁻¹ d ⁻¹) | ดี | ไม่ดี |
| | 1700 | 45 |

ที่มา : Evans และ Sikdar (1990)

2.1.5 จุลินทรีย์ที่สังเคราะห์และสะสม PHA

พบว่าจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์และสะสม PHA ได้มีหลายชนิด ดังตารางที่ 2.4

2.1.6 วัฏจักรของ PHA

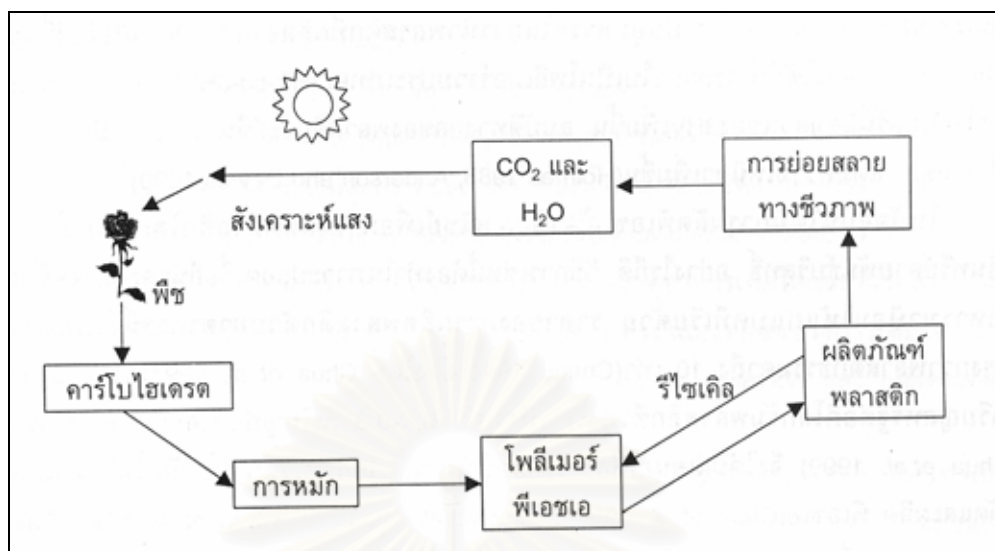
วัฏจักรของ PHA ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เริ่มจากการผลิต PHA จากวัตถุดิบทางการเกษตร โดยกระบวนการหมัก จุลินทรีย์จะสร้างและสะสมแกรนูลของ PHA ที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ จากนั้นนำ PHA มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ หลังจากผ่านการใช้งานแล้ว PHA อาจจะถูกกำจัดเช่นเดียวกับขยะประเภทของแข็งทั่วไป เมื่อเกิดการย่อยสลายโดยธรรมชาติจะ
ได้เป็นปุ๋ยที่มีแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่สมบูรณ์ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำรักษาปริมาณสารอาหารในดิน

(Lee, 1996b) เมื่อย่อยสลายสมบูรณ์จะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต PHA ต่อไป

ตารางที่ 2.4 จุลินทรีย์ที่สะสม PHA

| | | |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| <i>Acidovorax</i> | <i>Gamphosphaeria</i> | <i>Photobacterium</i> |
| <i>Acinetobacter</i> | <i>Haemophilus</i> | <i>Pseudomonas</i> |
| <i>Actinobacillus</i> | <i>Halobacterium</i> | <i>Rhizobium</i> |
| <i>Actinomycetes</i> | <i>Hydrogenophaga</i> | <i>Rhodobacter</i> |
| <i>Alcaligenes</i> | <i>Hyphomycobium</i> | <i>Rhodococcus</i> |
| <i>Aphanothece</i> | <i>Lamprocystis</i> | <i>Rhodospirillum</i> |
| <i>Aquaspirillum</i> | <i>Lampropedia</i> | <i>Sphaerotilus</i> |
| <i>Azotobacter</i> | <i>Leptothrix</i> | <i>Spirillum</i> |
| <i>Bacillus</i> | <i>Mehylobacterium</i> | <i>Spirulina</i> |
| <i>Beggiatoa</i> | <i>Methylocystis</i> | <i>Streptomyces</i> |
| <i>Beijerinckia</i> | <i>Mthylosinus</i> | <i>Scnechococus</i> |
| <i>Burkladeria</i> | <i>Micococcus</i> | <i>Syntrophomonas</i> |
| <i>Caulobacter</i> | <i>Microcoleus</i> | <i>Thiobacillus</i> |
| <i>Chlorofrexeus</i> | <i>Microcystis</i> | <i>Thiocapsa</i> |
| <i>Chlorogloea</i> | <i>Moraxella</i> | <i>Thiocystis</i> |
| <i>Chromatium</i> | <i>Micoplana</i> | <i>Thiodictyon</i> |
| <i>Chromobacterium</i> | <i>Nitrobacter</i> | <i>Thiopedia</i> |
| <i>Clostridium</i> | <i>Nitrococcus</i> | <i>Thiospaera</i> |
| <i>Derxia</i> | <i>Nocardia</i> | <i>Vibrio</i> |
| <i>Ectothiorhodospira</i> | <i>Oceanospirillum</i> | <i>Xanthobacter</i> |
| <i>Escherichia</i> | <i>Paracoccus</i> | <i>Zoogloea</i> |
| <i>Ferrobacillus</i> | <i>Paucispirillum</i> | <i>Saccharomyces</i> |

ที่มา : Brandl และคณะ (1990)



รูปที่ 2.3 วัฏจักรของ PHA และพลาสติกชีวภาพในธรรมชาติ
ที่มา : Lee (1996b)

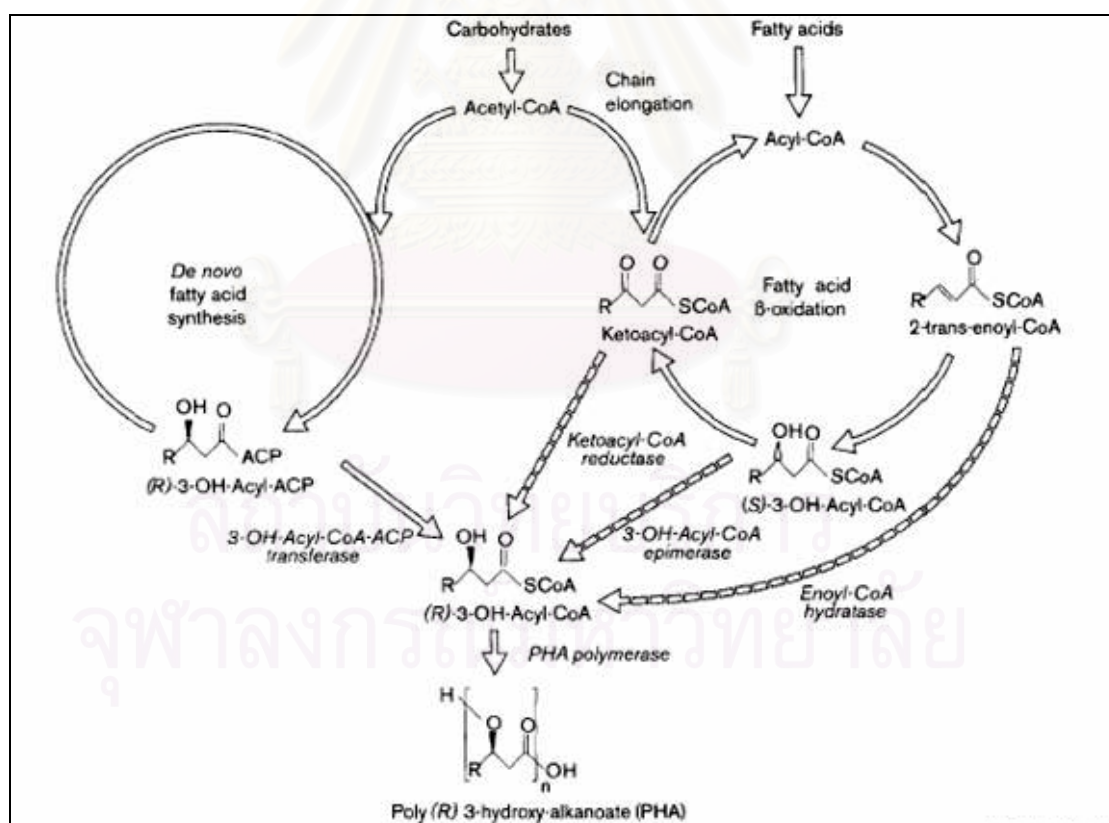
2.1.7 การสะสม PHA

การสะสม PHA ของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้น เมื่อจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะที่สารอาหารขาดความสมดุล คือ มีแหล่งคาร์บอนที่มากเกินไป แต่มีสารอาหารบางชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ หรือ แมกนีเซียม อยู่ในปริมาณจำกัด จุลินทรีย์จะสะสม PHA ได้ในปริมาณที่สูง เมื่อการเจริญของจุลินทรีย์เข้าสู่ระยะช่วงปลายของการเจริญแบบทวีคูณ (Dawes และ Senior, 1973) นอกจากความเข้มข้นของสารอาหาร ปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อปริมาณพอลิเมอร์ของเซลล์ ได้แก่ อัตราการเจริญซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการละลายของออกซิเจน และช่วงอายุเชื้อที่เก็บเซลล์มาวิเคราะห์ปริมาณพอลิเมอร์ (Haywood, 1958) และเมื่อมีการจำกัดไนโตรเจนในช่วงการเจริญแบบทวีคูณ แต่มีแหล่งคาร์บอนและพลังงานมากเกินไป ปริมาณ PHA ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของปริมาณ PHA ที่ผลิตได้จากเดิมที่ไม่จำกัดปริมาณไนโตรเจน (Macrae และ Wilkinson, 1958) จากการศึกษาของ Ballard และคณะ (1987) พบว่าเมื่อเลี้ยงเซลล์ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการสะสม PHA จำนวนแกรนูลต่อเซลล์จะอยู่ในช่วง 8 ถึง 12 แกรนูล และทำให้เซลล์มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มจาก 0.24 เป็น 0.50 ไมครอน รูปร่างของเซลล์เมื่อสะสม PHA จะเปลี่ยนเป็นค่อนข้างกลม และพบว่าการสะสม PHA จะหยุดเมื่อมีปริมาณ PHA ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง ถึงแม้ว่าจะยังคงมีเอนไซม์ละลายสเตรทที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ PHA ก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากเซลล์ไม่สามารถเก็บ PHA ได้มากกว่านี้ภายใต้ปริมาณผนังเซลล์ที่จำกัดนั่นเอง ภายในแกรนูลจะเป็น PHA ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์

โดยน้ำหนัก โปรตีน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่เหลือเป็นไขมันจำพวกกรด Phosphatidic และ สารประกอบที่ละลายในอะซิโตนปริมาณเล็กน้อย

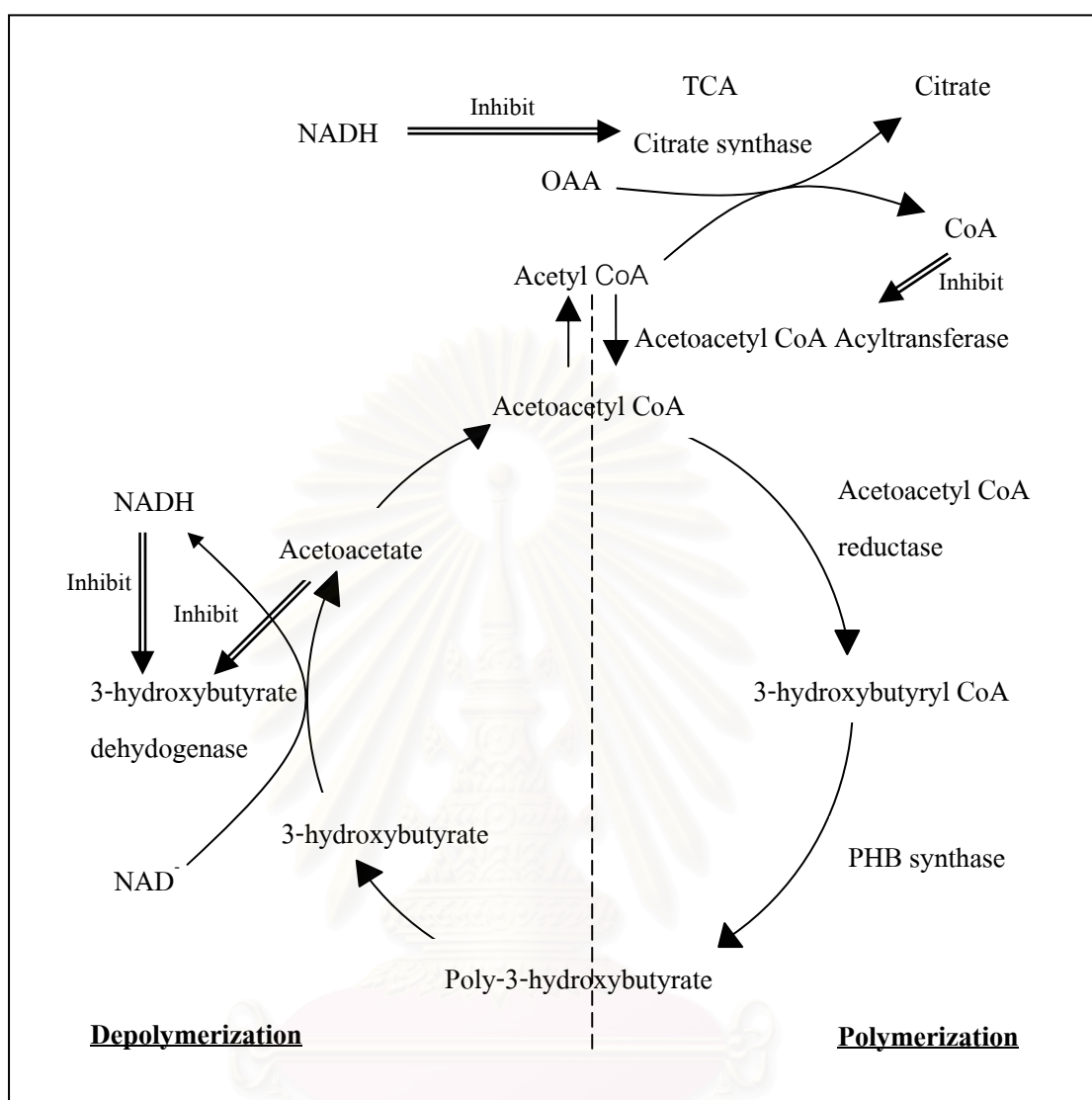
2.1.8 วิธีการสังเคราะห์และย่อยสลาย PHA

ในการสังเคราะห์ PHA นั้นจะมีกระบวนการที่สำคัญอยู่ 3 กระบวนการ (ดังรูปที่ 2.4) ได้แก่ de novo fatty acid biosynthesis , chain elongation และ fatty acid β -oxidation ซึ่งทั้ง 3 กระบวนการ นี้จะมีสารประกอบคาร์บอนที่สามารถนำไปสู่การสังเคราะห์ PHA ได้ นั่นคือ (R)-3-hydroxyacyl-acyl carrier protein (ACP), ketoacyl-CoA, (S)-3-hydroxyacyl-CoA และ 2- trans-enoyl-CoA โดยมี เอนไซม์ 3-hydroxyacyl-acyl-CoA-ACP transferase, Ketoacyl-CoA reductase, 3-hydroxyacyl-CoA epimerase และ Enoyl-CoA hydratase เปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนดังกล่าวไปเป็น (R)-3-hydroxyacyl-acyl-CoA ซึ่งเมื่อ (R)-3-hydroxyacyl-acyl-CoA เกิดปฏิกิริยา Polymerization โดย เอนไซม์ PHA polymerase จะได้ PHA เป็นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.4 แสดงการสังเคราะห์ PHA ใน *Pseudomonas*

ที่มา : Witholt, B., and Kessler, B. (1999)



รูปที่ 2.5 วงจรการสังเคราะห์ การย่อยสลาย PHB และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง
ที่มา : Byrom (1987)

โดยมีกระบวนการหลักที่สำคัญคือ chain elongation (จากรูปที่ 2.5) การสังเคราะห์ PHB จะเริ่มต้นจากอะซิติลโคเอ (acetyl CoA) เปลี่ยนไปเป็น อะซิโตะอะซิติลโคเอ (acetoacetyl-CoA) และไฮดรอกซีบิวทริลโคเอ (hydroxybutyryl-CoA) ตามลำดับ การที่อะซิติลโคเอจะถูกออกซิไดซ์ผ่าน tricarboxylic acid (TCA) cycle หรือเข้ากระบวนการสังเคราะห์ PHB ขึ้นอยู่กับปริมาณสารต่างๆ คือเมื่อมีแหล่งคาร์บอนที่มากเกินไป และมีการจำกัดสารอาหารบางชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ หรือ แมกนีเซียม ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ NADH ทำให้อัตราส่วนของ NADH ต่อ NAD มีการสะสมเพิ่มขึ้น และส่งผลไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซิเตรทซินทีส (citrate synthetase) ซึ่งเอนไซม์นี้มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาระหว่าง ออกซาโลอะซิเตต (oxaloacetate) หรือ OAA และอะซิติลโคเอไปเป็นซิเตรต และให้โคเอนไซม์เอดออกมา เมื่อเอนไซม์

นี้หยุดทำงานปริมาณโคเอนไซม์เอจะลดลง ทำให้เอนไซม์อะซิติล-โคเอ อะซิลทรานเฟอเรส (acetyl-CoA acyltransferase) ซึ่งโดยปกติจะถูกยับยั้งโดยโคเอนไซม์เอที่มากเกินไป สามารถทำงานได้ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารวมตัวกันของ อะซิติลโคเอไปเป็นอะซิโตะอะซิติลโคเอ และเข้าสู่วงจรการสังเคราะห์ PHB โดยสารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไฮดรอกซีบิวทริลโคเอ โดยการเร่งปฏิกิริยาของ NADPH/NADH-linked acetoacetyl-CoA reductase และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน (polymerization) ไปเป็น PHB โดยเอนไซม์ PHB synthetase สำหรับการย่อยสลาย PHB ภายในเซลล์ หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน (depolymerization) จะอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งถูกควบคุมโดยเอนไซม์ 3-ไฮดรอกซีบิวทริล ดีไฮโดรจีเนส (3-hydroxybutyrate dehydrogenase) เอนไซม์นี้จะถูกยับยั้งโดย NADH ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชันก็จะไม่เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน เนื่องจากเมื่อมีปริมาณสารต่างๆที่เอื้อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชันหรือมี NADH ทำให้ไปยับยั้งปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน แต่เมื่อมีปริมาณสารต่างๆเอื้อให้เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรซ์เซชันหรือไม่มี NADH ทำให้ไปยับยั้งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชันเช่นเดียวกัน (Byrom, 1987)

2.1.9 การย่อยสลาย PHA ในธรรมชาติ

PHA เป็นโพลิเมอร์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์และถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติ โดยทั่วไปพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย และช่วงเวลาที่พลาสติกยังคงอยู่ในธรรมชาติ ได้แก่ สภาพแวดล้อม ชนิดของจุลินทรีย์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ ความหนาของพลาสติก พื้นที่ผิวและลักษณะพื้นผิวของพลาสติก ซึ่งมีผลต่อการโคโลไนเซชันของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นอีกที่มีผลต่อการย่อยสลายของพลาสติกโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ ความพรุน การเติมสารฟิลเลอร์ สารให้สี ค่า BOD และการให้สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น กระบวนการย่อยสลายในธรรมชาติพบว่าสามารถเกิดได้ทั้งในสถานะที่มีและไม่มีออกซิเจน (Holmes, 1985) กลไกการย่อยสลาย PHA แบ่งออกเป็น

2.1.9.1 ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ PHA จะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ pH สูงการย่อยสลายแบบนี้มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น นำ PHA มาทำเป็นพาหะของตัวยาและค่อยๆ ปล่อยยาออกมา หรือใช้เป็นไหมเย็บแผล

2.1.9.2 ภายใต้สภาวะการย่อยในธรรมชาติ PHA จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่ชื่อว่าดีโพลิเมอร์เอส (depolymerases) หรือเอนไซม์เอสเตอเรส (esterases) จากจุลินทรีย์ เช่น *Alcaligenes*

faecalis, Pseudomonas lemoignei และ Penicillium simplicismum หลังจากการย่อยสลายแล้วจะได้ สารอินทรีย์ ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโต

2.1.10 การสกัดผลิตภัณฑ์ PHA ให้บริสุทธิ์ (Griffin, 1994)

ขั้นตอนทั่วไปในการสกัด PHA ให้บริสุทธิ์ คือ การแยกเซลล์ออกจากน้ำหมักจากนั้นนำไปย่อยเพื่อให้ผนังเซลล์แตกออกแล้วแยก PHA ออกจากกากเซลล์ ในการสกัด PHA ให้บริสุทธิ์มีความสำคัญต่อการผลิต PHA เนื่องจากจะมีผลต่อความบริสุทธิ์และการย่อยสลายของสายพอลิเมอร์ การแยกเซลล์ออกจากน้ำหมักโดยปกติจะใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ส่วนการย่อยผนังเซลล์ให้แตกเพื่อแยก PHA ออกจากเซลล์นั้นทำได้ 3 วิธีดังนี้

2.1.10.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

PHA จะถูกสกัดออกจากเซลล์ด้วยการละลายเซลล์ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม, เมทิลีนคลอไรด์, 1,1,2-ไตรคลอโรเอเทน หรือโพรพิลีนคาร์บอนेट จากนั้นกรองแยกกากเซลล์ออกแล้วจึงทำการตกตะกอน PHA ด้วยการทำให้สารละลายเย็นตัวลงอย่างช้าๆ หรือเติมเมทานอล เอทานอล ไดเอทิลอีเธอร์ หรือเฮกเซน หากต้องการให้ PHA ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ก็ทำได้โดยการนำ PHA ที่สกัดได้ไปละลายในคลอโรฟอร์ม แล้วจึงตกตะกอนด้วยเฮกเซน หรือไดเอทิลอีเธอร์ซ้ำอีกครั้ง นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของ PHA ได้ โดยการล้างเซลล์ด้วยเมทานอล หรืออะซิโตน ก่อนที่จะสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเลือกผ่านของเซลล์เมมเบรน, ล้างไขมัน และย่อยสลายโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆออกก่อน PHA ที่สกัดได้จากวิธีนี้จะมีสีขาว น้ำหนักโมเลกุลสูง และมีความบริสุทธิ์สูง แต่วิธีนี้ต้องใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่มากในการสกัด PHA

2.1.10.2 การย่อยด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite digestion)

ทำการสกัด PHA โดยนำเซลล์ไปบ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์เป็นระยะเวลา 30-60 นาที เพื่อย่อยผนังเซลล์และสารประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ PHA จากนั้นทำให้ PHA บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยไดเอทิลอีเธอร์ หรือเมทานอล เพื่อแยกไขมันออก แต่การใช้สารที่มีความเป็นด่างสูงจะไปย่อยสลายสายพอลิเมอร์ และทำให้น้ำหนักโมเลกุล PHA เปลี่ยนแปลงด้วย

2.1.10.3 การย่อยด้วยเอนไซม์เฉพาะ (selective enzymatic digestion)

วิธีนี้จะใช้ความร้อนเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาระหว่างเซลล์และเอนไซม์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว เพื่อละลายเศษชีวมวลออกจาก PHA แต่วิธีนี้จะทำให้ผลผลิตมีความบริสุทธิ์น้อย ถ้าต้องการเพิ่มความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ต้องใช้วิธีนี้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ตารางที่ 2.5 บริษัทและจุลชีพหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

| Microorganism/raw material | Manufacturer |
|-------------------------------------|---|
| <i>Alcaligenes eutrophus</i> (H16) | ZENECA Bio-products, UK (formerly ICI Ltd.) |
| <i>A. latus</i> | Biotechnologische Forschungs gesellschaft mbH (Austria) |
| | Petrochemia Danubia |
| Transgenic plants | Metabolix Inc. (USA) |
| | Monsanto (USA) |
| | ZENECA Seeds (UK) |
| Recombinant <i>Escherichia coli</i> | Bio Ventures Alberta Inc. (Canada) |
| Starch | Warner's Lambert (USA) |
| | Fertec, Italy (Ferruzzi e Tecnologia) |
| | Biotech (Melitta) Emmerich (Germany) |
| | BASF Ludwigshafen (Germany) |
| | Bayer/Wolf Walsrode Leverkusen (Germany) |
| | Novamont Novara (Italy) |
| Cheap substrates | Polyferm Inc. (Canada) |
| Bacteria | Biocorp (USA) |
| | Asahi Chemicals and Institute of Physical and Chemical Research (Japan) |

ที่มา : Reddy และคณะ (2003)

2.1.11 การนำ PHA มาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

ในปี ค.ศ. 1974-1976 เป็นช่วงที่ราคาน้ำมันค่อนข้างสูง ICI (Imperial Chemical Industries) จึงได้เริ่มพัฒนาการผลิต PHB ในระดับอุตสาหกรรม จนกระทั่งในปี 1982 ICI ได้ผลิต PHB จาก *A. eutrophus* (H16) โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า “Biopol” (Reddy และคณะ, 2003) ต่อมาได้มีการผลิต PHA ในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น ดังตารางที่ 2.5 บริษัท Novamont ได้ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบในการผลิต PHA ที่เรียกว่า Cargill Dow Polymers ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า “EcoPla” บริษัท Nippon Gohsei ก็ได้มีการผลิต PHA เช่นกัน โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า “Mater-Bi” สามารถนำมาผลิตเป็นหีบห่อบรรจุเครื่องใช้ไฟฟ้า ใช้เป็นสารผสมในการทดลอง ส่วนบริษัท Mitsubishi และ บริษัท Nippon Shokubai ได้ผลิต PHA โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า “LUNARE ZT” และ “Lunare SE” บริษัท Daicel Chemical Industries ของประเทศญี่ปุ่น ได้มีการพัฒนาการผลิต PHA โดยใช้วัตถุดิบที่สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ 2 ชนิด คือ polycaprolactone และ acetyl cellulose resin มาผสมกันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า “Celgreen” (Reddy และคณะ, 2003)

ตารางที่ 2.6 ผลของราคาสับเสตรทและผลผลิต (P(3HB) ต่อต้นทุนการผลิต

| Substrate | Substrate price (US\$ kg ⁻¹) | P(3HB) yield (g P(3HB)/(g substrate)) ⁻¹ | Product cost (US\$ (kg P(3HB)) ⁻¹) |
|---------------------------|---|--|---|
| Hemicellulose hydrolysate | 0.069 | 0.20 | 0.34 |
| Cheese whey | 0.071 | 0.33 | 0.22 |
| Methanol | 0.180 | 0.43 | 0.42 |
| Cane molasses | 0.220 | 0.42 | 0.52 |
| Sucrose | 0.290 | 0.40 | 0.72 |
| Glucose | 0.493 | 0.38 | 1.30 |
| Ethanol | 0.502 | 0.50 | 1.00 |
| Acetic acid | 0.595 | 0.38 | 1.56 |

ที่มา : Madison และ Huisman (1999)

ต้นทุนการผลิตของ PHA จะขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบที่ใช้ ความสามารถในการสะสม PHA ของเชื้อจุลินทรีย์ และประสิทธิภาพของกระบวนการที่ใช้ในการผลิต PHA (Lee, 1996a) การที่จะนำ PHA ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางหรือไม่ขึ้นอยู่กับต้นทุนการผลิต โดยต้นทุนของ

การผลิต PHA จาก *A. eutrophus* จะมีราคา 16 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาสูงกว่าพลาสติกประเภท polypropylene แต่ถ้าผลิต PHA จาก recombinant *E. coli* ต้นทุนการผลิตของ PHA จะลดลงเหลือเพียง 4 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ชนิดอื่น เช่น PLA และ aliphatic polyesters ในอุตสาหกรรมการผลิต PHA จะมีราคาอยู่ในช่วง 3-5 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม (Lee, 1996a)

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต P(3HB) (100,000 ตัน/ปี) โดย *A. latus* *M. organophilum* และ recombinant *E. coli* ซึ่งใช้สารลดแรงตึงผิว หรือใช้ไฮโปคลอไรท์

| Parameter | <i>A. latus</i> ^a | <i>A. latus</i> | <i>E. coli</i> | <i>E. coli</i> | <i>M. organophilum</i> |
|--|------------------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------------|
| Fermentation performance | | | | | |
| Culture time (h) | 18 | 20 | 41 | 49 | 70 |
| Cell concentration (g/l) | 143 | 111.7 | 112 | 204.3 | 250 |
| P(3HB) concentration (g/l) | 71.4 | 98.7 | 81 | 157.1 | 130 |
| P(3HB) content (เปอร์เซ็นต์) | 50 | 88 | 72.3 | 77 | 52 |
| P(3HB) productivity (g l ⁻¹ h ⁻¹) | 3.97 | 4.94 | 1.98 | 3.2 | 1.86 |
| P(3HB) yield (g P(3HB)/g carbon) | 0.17 | 0.42 | 0.29 | 0.27 | 0.19 |
| Economic evaluation [US\$/kg P(3HB)] | | | | | |
| Directed-fixed-capital-dependent cost | 1.42 | 0.73 | 1.31 | 1.00 | 1.57 |
| Labor-dependent cost | 0.23 | 0.12 | 0.21 | 0.16 | 0.23 |
| Administration and overhead | 0.09 | 0.05 | 0.09 | 0.08 | 0.11 |
| Raw materials cost | 4.94 | 1.26 | 2.99 | 2.97 | 3.31 |
| Utilities | 0.49 | 0.29 | 0.42 | 0.36 | 0.46 |
| Waste treatment/disposal | 1.13 | 0.15 | 0.35 | 0.34 | 1.01 |
| Total production cost | 8.3 | 2.6 | 5.37 | 4.91 | 6.69 |

^a ใช้เชื้อที่มีความเข้มข้นสูง (13.7 กรัม/น้ำหนักรีดแห้ง/ลิตร)

ที่มา : Choi และ Lee (1999)

ในปี ค.ศ. 1996-1997 PHB มีราคาอยู่ในช่วง 15-30 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม แต่จากการวิเคราะห์รายละเอียดของต้นทุนการผลิต PHB คาดว่า ราคาของ PHB สามารถที่จะลดลงได้ โดยมีราคาไม่เกิน 5 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ในระยะยาวเมื่อมีการพัฒนาเทคนิคในการผลิต อาจทำให้ราคา PHB จาก recombinant *E. coli* ลดลงเหลือเพียง 2 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม (Lee และ Choi,

1998) เช่นเดียวกันกับ Hazenberg และ Witholt (1997) และ de Koning และคณะ (1997) ซึ่งคาดว่า ราคา mcl-PHAs จากจุลินทรีย์จะอยู่ที่ 5 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม ราคาของ P(3HB) จะขึ้นอยู่กับ ต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ดังตารางที่ 2.6 นอกจากนี้ ต้นทุนการผลิตยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 2.7 PHA สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ได้แก่

2.1.11.1 การประยุกต์ใช้ทางการเกษตรและปศุสัตว์

2.1.11.1.1 ผลิตเป็นแคปซูลสำหรับบรรจุปุ๋ย ยามาแมลง ยามาวัชพืช เมื่อ ไปรยลงบนดินแคปซูลจะค่อยๆ ถูกย่อยสลายไปทีละน้อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินพร้อมกับสารที่ บรรจุอยู่ภายในจะถูกปล่อยออกมาทีละน้อย ทำให้สารดังกล่าวคงอยู่ในบริเวณที่ต้องการเป็น เวลานาน จึงเป็นการประหยัดเวลา แรงงาน และต้นทุนการผลิต

2.1.11.1.2 ผลิตเป็นแคปซูลสำหรับบรรจุยารักษาโรคและวัคซีนต่างๆ ของ สัตว์ เช่น วัคซีนป้องกันโรคระบาด ยาถ่ายพยาธิ และบรรจุยาประเภทที่มีกลไกการออกฤทธิ์นาน

2.1.11.1.3 ทำแหจับปลา (รูปที่ 2.6) สำหรับใช้ในน้ำทะเลได้เป็นเวลานาน และสามารถกำจัดเมื่อเลิกใช้โดยทิ้งลงใต้ทะเลได้เลย เนื่องจากย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.6 แหจับปลาที่ผลิตจากสาร PHA

ที่มา : www.metabolix.com/publications/pressreleases.html

2.1.11.2 การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

2.1.11.2.1 ใช้เป็นวัสดุสิ้นเปลืองในงานศัลยกรรม เช่น ใช้ทำหลอดเลือดเทียม กระดูกเทียม เข็มเย็บแผล ไหมเย็บแผล ผ้าซับเลือด เป็นต้น

2.1.11.2.2 ผลิตเป็นแคลซูลบรรูญา เพื่อให้ตัวยากุปล่อยออกมาอย่างช้าๆ ที่ละน้อย เป็นระยะเวลานาน

2.1.11.2.3 ด้านทันตกรรม ใช้เป็นวัสดุตัวนำที่ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ขึ้นใหม่ในโรคด้านปริทันต์ (periodontitis)

2.1.11.2.4 ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ในการดูภาพอัลตราซาวด์

2.1.11.2.5 ใช้ในการบำบัดผู้ที่ติดแอลกอฮอล์ และโรค narcolepsy

2.1.11.2.6 ใช้ PHA เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสาร R(-)-3-hydroxybutyric acids ซึ่งสารนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่พบในเลือดโดยปกติมีความเข้มข้นระหว่าง 0.3 และ 1.3 มิลลิโมลลาร์

2.1.11.3 การประยุกต์ใช้ในด้านบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุใช้สอย

2.1.11.3.1 ใช้ผลิตขวดแชมพูที่ประกอบด้วยส่วนฝาที่ต้องการความแข็งแรง และปิดได้ดี

2.1.11.3.2 ใช้ทำวัสดุที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง เช่น ผ้าอ้อม ผ้าอนามัย ผ้าอนามัย โคน

2.1.11.3.3 ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ประเภทถุง ภาชนะบรรจุอาหารสำเร็จรูป และ แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร

2.1.11.3.4 ใช้ทำแผ่นกรองอากาศทำจากแกรนูลของส่วนผสมโซเดียมคลอไรด์ 90 เปอร์เซ็นต์ และ PHBV 10 เปอร์เซ็นต์

2.1.11.3.5 ใช้ทำหมวกนิรภัยสำหรับจักรยาน

2.1.11.3.6 ใช้ทำวัสดุอื่นๆ เช่น ที่วางลูกกอล์ฟ วัสดุเส้นใย กาวที่ละลายด้วยความร้อน สารเคลือบผิว แผ่นฟิล์ม บัตรเครดิต (รูปที่ 2.7) เป็นต้น



รูปที่ 2.7 บัตรเครดิตที่ทำจาก PHA

ที่มา : www.metabolix.com/publications/pressreleases.html

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง PHA และระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา (Biological Treatment) เป็นวิธีที่นำเอาจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่เรียกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ รา สาหร่าย และโปรโตซัว ให้อยู่สลายอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารบางชนิดในน้ำเสียนั้นๆ ผลที่ได้จากการย่อยแล้วจะเป็นกากตะกอน (sludge) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ หลายชนิดรวมทั้งเซลล์ของแบคทีเรียที่ตายแล้วด้วย บางส่วนเป็นก๊าซชนิดต่างๆ เมื่อแยกเอากากตะกอนออกไปแล้วน้ำส่วนที่เหลือจะค่อนข้างใสเรียกว่า effluent ซึ่งจะมีสารอินทรีย์ลดลงสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ โดยไม่ทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสีย ส่วนกากตะกอนที่ได้สามารถนำมาย่อยสลายต่อไปใน Sludge Digester เพื่อให้มีปริมาณลดลง เหลือสารประกอบต่างๆ ที่ย่อยสลายไม่ได้อีกแล้ว และได้ก๊าซต่างๆ หลายชนิด เช่น CO_2 , H_2 และที่สำคัญคือ CH_4 ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้

2.2.2 การผลิต PHA จากกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

PHA ซึ่งเป็นสารที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพที่มีอยู่หลายระบบ เช่น ระบบ Activated Sludge ในปี 1998 Satoh และคณะ ได้ทำการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต จากระบบ Activated Sludge จากการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์ใน anaerobic-aerobic activated sludge สามารถสะสมพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต ซึ่งประกอบด้วย 3-hydroxy-2-methylvalerate และ 3-hydroxyvalerate ได้ โดยปริมาณของพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตเพิ่มขึ้นเป็น 62 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

ต่อมาในปี 2000 Dircks และคณะ ได้ศึกษาการเก็บสะสมและการย่อยสลายของพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต ในระบบ activated sludge ซึ่งมีการเติมอะซิเตดในน้ำที่เข้าระบบ พบว่าในสภาวะที่มีปริมาณอาหารมากเกินไป อะซิเตดจะถูกใช้ไปจนหมดเกิดสภาวะที่มีปริมาณอาหารจำกัด ซึ่งในสภาวะที่มีปริมาณอาหารจำกัดจะมีการสะสม PHA สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง ส่วนการย่อยสลายของพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจะขึ้นอยู่กับปริมาณพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตที่ได้จากสภาวะที่มีปริมาณอาหารมากเกินไป

Somiya และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสเข้าภายในเซลล์และออกนอกเซลล์ภายใต้สภาวะมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนสรุปได้ว่าปริมาณ PHB ในเซลล์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยจะเพิ่มสัมพันธ์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์ที่ลดลงเมื่อกลูโคสออกเซลล์ลดลง ส่วน Law และคณะ (2001) พบว่า *Bacillus* จากกากตะกอนของระบบ activated sludge สามารถผลิต PHB ได้ โดยใช้สารอาหารที่อยู่ในน้ำเสียเป็นวัตถุดิบในการผลิต PHB นอกจากนี้ยังพบว่าถั่วและข้าวก็สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต PHB ได้เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Carucci และคณะ (2001) ที่พบว่าในน้ำเสียจะมีปริมาณคาร์บอนและอะซิเตดอยู่มาก จุลินทรีย์สามารถนำเข้าสู่เซลล์และสะสมอยู่ในรูปของพอลิเมอร์ที่เรียกว่า PHB และสารอาหารต่างๆที่อยู่ในน้ำก็สามารถนำมาเปลี่ยนรูปเพื่อเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ PHB ได้อีกด้วย

นอกจากนั้น Arun และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษากลไกทางชีวภาพของอะซิเตดในระบบ anaerobic-aerobic activated sludge พบว่าภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบคทีเรียสามารถผลิตและสะสม PHB ได้จากอะซิเตด โดยแบคทีเรียจะนำพลังงานที่ได้จากการสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์มาใช้ในการเปลี่ยนรูป อะซิเตดไปเป็นอะซิetylโคเอ และนำไปสังเคราะห์ PHB ต่อไป โดยการสังเคราะห์ PHB จากอะซิetylโคเอไม่ต้องการพลังงานในรูป ATP แต่จำเป็นต้องใช้พลังงานในรูปของ NADH

นอกจากนี้ก็ยังใช้ระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ผลิต PHA โดย Van Loosdrecht และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาความสำคัญของแบคทีเรียที่สะสมพอลิเมอร์ได้ในกระบวนการชีวภาพ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ภายใต้ภาวะที่มีปริมาณอาหารมากเกินไปและภาวะที่มีปริมาณอาหารจำกัด พบว่าจุลินทรีย์ทั่วไปสามารถเก็บสะสมพอลิเมอร์ที่เรียกว่าพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต ซึ่งพอลิเมอร์นี้จะใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีอาหารจากภายนอกเซลล์ และยังมีผู้วิจัยอีกหลายท่านที่ใช้ระบบ SBR เช่น พิจิตร เกียมวารงกูร, เฉลิมราช วัน

ทวิน และอรรณพ ฤทธิปัญญาวงศ์ (2545) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสม PHA ในสลัดจ์ จุลินทรีย์ของระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกเอสปีอาร์

2.2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ PHA

Chemical Oxygen Demand (COD) หมายถึงปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้น COD จะใช้แทนค่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนได้ ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้ก็เป็นส่วนหนึ่งที่น่าไปใช้ในการสังเคราะห์ PHA โดย PHA มีความสัมพันธ์กับ COD เนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถในการสะสม PHB จากอะซิเตต โดยใช้การย่อยสลาย COD มาเป็นวัตถุดิบ (Seviour และคณะ, 2000 และ Arun และคณะ, 2003) และปริมาณ PHA แปรผันตรงกับการปลดปล่อยออร์โทฟอสเฟตออกนอกเซลล์ (Arun และคณะ, 2003 และ Østgaard และคณะ, 1997) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการสะสมของอะซิเตตภายใต้สภาวะแอนอกซิกในกระบวนการ EBPR จึงได้พบกฎความสัมพันธ์ของ COD โดย COD ที่อยู่ในสภาวะของเหลวจะคืนสภาพเป็นของแข็งในรูปของ PHB ที่สะสมในเซลล์เพื่อให้เกิดความสมดุลของ COD ที่อยู่ในเซลล์และนอกเซลล์ (Dionisi และคณะ, 2001)

2.2.2.2 ความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสและ PHA

ฟอสฟอรัสจะมีกระบวนการย่อยสลายและสังเคราะห์ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับ PHA โดยในสภาวะแอโรบิกและแอนอกซิก PHA จะถูกย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการนำฟอสเฟตมาเก็บสะสมในเซลล์ในรูปของโพลีฟอสเฟต ดังนั้นการนำฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์นั้นจะขึ้นอยู่กับการย่อยสลายของ PHB ภายในเซลล์ ยังมีปริมาณ PHB มากก็จะสามารถนำฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้มาก เช่นเดียวกัน (Menhold และคณะ, 1998 และ Petersen และคณะ, 1998) ในสภาวะแอนอกซิกจุลินทรีย์สามารถนำฟอสฟอรัสเข้าไปสะสมในเซลล์โดยใช้กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนและต้องใช้พลังงานจากการย่อยสลาย PHA ที่ถูกเก็บสะสมไว้ในเซลล์ (Barker และ Dold, 1996) ซึ่งการสะสมฟอสฟอรัสก็เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายของ PHA โดยในสภาวะแอนอกซิกจะมีการสะสมฟอสฟอรัสและการย่อยสลาย PHA มีปริมาณใกล้เคียงกันมากกว่าในสภาวะแอโรบิก (Chuang และคณะ, 1998) และได้มีการศึกษาพบว่าในสภาวะแอโรบิกจุลินทรีย์จะสะสมโพลีฟอสเฟตได้มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสภาวะแอนแอโรบิกจะเกิดการย่อยสลายโพลีฟอสเฟต เพื่อใช้เป็นพลังงานในการสะสม PHB จากอะซิเตตที่อยู่ภายนอกเซลล์ (Kortstee และคณะ, 1994) และการปลดปล่อยของฟอสฟอรัสภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกมีความสัมพันธ์กับการนำสารอาหารจากภายนอกเซลล์มาสร้างเป็น PHB สะสมไว้ในเซลล์ (Somiya และคณะ, 1998)

2.2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง VFAs และ PHA

Volatile Fatty Acids (VFAs) หรือกรดไขมันระเหยง่ายสามารถถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปไปเป็น PHA ได้ภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนปริมาณจำกัด (Doi และคณะ, 1987) โดยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ดังนั้นปริมาณของ VFAs จึงมีผลต่อปริมาณ PHA และมีความเป็นไปได้ในการนำสัจจุลินทรีย์ส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสถานะสลัดการให้อากาศและแอนแอโรบิก มาผลิต PHA เนื่องจากในสภาวะแอนแอโรบิกจุลินทรีย์จะใช้ฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงาน และไกลโคเจนภายในเซลล์เป็นแหล่งรีดิวซ์ซึ่งอิเล็กตรอนในการนำสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันระเหยง่ายมาเก็บสะสมไว้ในรูปของ PHA (จารุวรรณ เกษมทรัพย์ และเฉลิมราช วันทวิน, 2545) ซึ่งการสะสม PHA จะมีปริมาณ 1.5 มก. PHA-COD ต่อ มก.VFA-COD ที่ถูกนำเข้าไปในจุลินทรีย์ (Lie และคณะ, 1997) และเมื่อใช้กรดไขมันต่างกันก็จะได้ผลผลิต PHA ที่ต่างกัน ถ้าใช้กรดบิวทิริก (คาร์บอน 4 อะตอม) จะได้ผลผลิตเป็น PHB และถ้าใช้กรดวาเลอริก (คาร์บอน 5 อะตอม) จะได้ผลผลิตเป็นพอลิเมอร์ร่วมของ PHB และ PHV (HB-co-HV) รวมทั้งถ้าใช้กรดบิวทิริกกับกรดวาเลอริกในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 จะได้ PHA ในเซลล์สูงสุดที่ร้อยละ 40 (น้ำหนักแห้ง) และมีสัดส่วนในรูปโมลของ 3HV ใน (HB-co-HV) อยู่ร้อยละ 12 (Hu และคณะ, 1997)

2.2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกลูโคสและ PHA

กลูโคสสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น PHA ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ PHA เช่นเดียวกับ VFAs ดังนั้นปริมาณของกลูโคสก็จะผลต่อปริมาณ PHA เช่นกัน เมื่อศึกษาจุลินทรีย์ในน้ำเสียของระบบ SBR พบว่าจุลินทรีย์จะนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์ในขณะที่ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกนอกเซลล์ และจะนำกลูโคสมาเปลี่ยนรูปเพื่อใช้ในการสังเคราะห์เป็น PHB สะสมในเซลล์ (Wang และ Park, 1998) ในระบบ activated sludge ก็สามารถผลิต PHA ได้ โดยเปลี่ยนไกลโคเจนหรือกลูโคสมาอยู่ในรูปของ PHA เพื่อเป็นพลังงานสะสมไว้ในเซลล์ (Satoh และคณะ, 1999) กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถผลิตพอลิเมอร์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการเติมอะซิเตต และ 3-ไฮดรอกซีบิวทิเรตลงไป มีผลให้การสังเคราะห์ PHA เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารอาหารที่เติมลงไปทำให้ปริมาณอะซิเตต โค-เอ และ 3-ไฮดรอกซีบิวทิริล โค-เอ ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น (Chen, 1991) และอัตราส่วนของกลูโคสต่ออะซิเตตมีผลต่อการสะสม PHA โดยอัตราส่วนกลูโคสต่ออะซิเตตที่มีการสะสม PHA มากที่สุดคือ 0:1 รองลงมาคือ 1:1 และ 1:0 ซึ่งปริมาณ PHA ที่ผลิตได้คือ 48, 7 และ 3 มก./ก MLVSS ตามลำดับ (พิจิตร เขียวม่วง, เฉลิมราช วันทวิน และอรุณพ ฤทธิปัญญาวงศ์, 2545) เมื่อใช้กลูโคสเป็นวัตถุดิบในการผลิต PHB โดย

ควบคุมความเข้มข้นของกลูโคสให้อยู่ในช่วง 10-20 กรัมต่อลิตรในระหว่างการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าสามารถผลิต PHB ได้ 121 กรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็น 76 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ภายใน 50 ชั่วโมง หรืออัตราผลผลิตเท่ากับ 2.42 กรัม PHB ต่อลิตร-ชั่วโมง (Kim และคณะ, 1994) และเพื่อให้ได้โคพอลิเมอร์ P(3HB-co-3HV) จึงใช้อาหารที่มีส่วนผสมของกลูโคสและโพรปีโอนิกแอซิดในการผลิต เนื่องจากเมื่อใช้โพรปีโอนิกแอซิดเป็นแหล่งคาร์บอนจะได้ PHA ที่มีองค์ประกอบเป็น PHV และสัดส่วนของ 3HB และ 3HV จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกลูโคสและโพรปีโอนิกแอซิดที่ใช้ในการผลิต (Lee, 1996b)

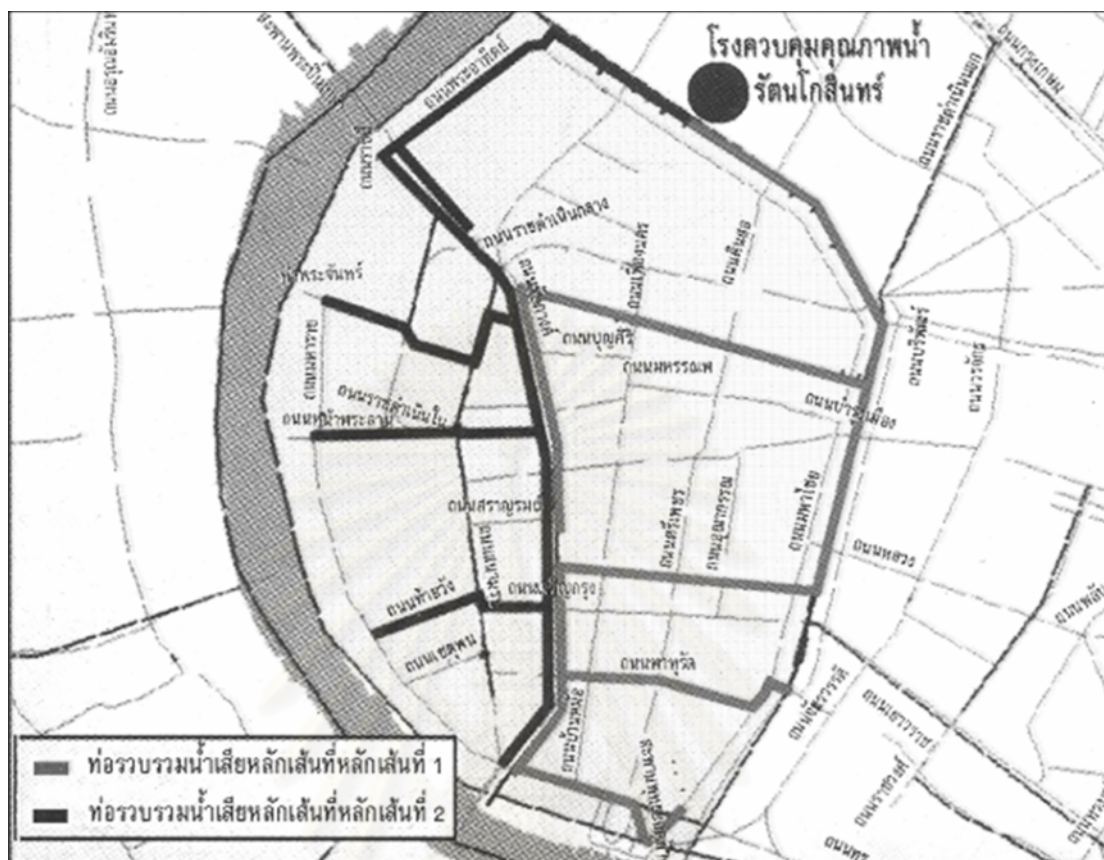
2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานครทั้ง 4 โรง

2.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

2.3.1.1 รายละเอียดโครงการ

| | | |
|----------------------------|---|--|
| พื้นที่บริการ | : | 4.142 ตารางกิโลเมตร |
| ประชากร | : | 76,000 คน |
| เขตการปกครอง | : | เขตพระนคร |
| อัตราการบำบัดน้ำเสีย | : | 40,000 ลูกบาศก์เมตร /วัน |
| ที่ตั้งโรงงานบำบัดน้ำเสีย | : | ตลาดบ้านพานถม เขตพระนคร กทม. |
| ขนาดพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสีย | : | 6,683 ตารางเมตร |
| ความยาวท่อรวบรวมน้ำเสีย | : | 16.25 กิโลเมตร |
| กระบวนการบำบัดน้ำเสีย | : | แอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

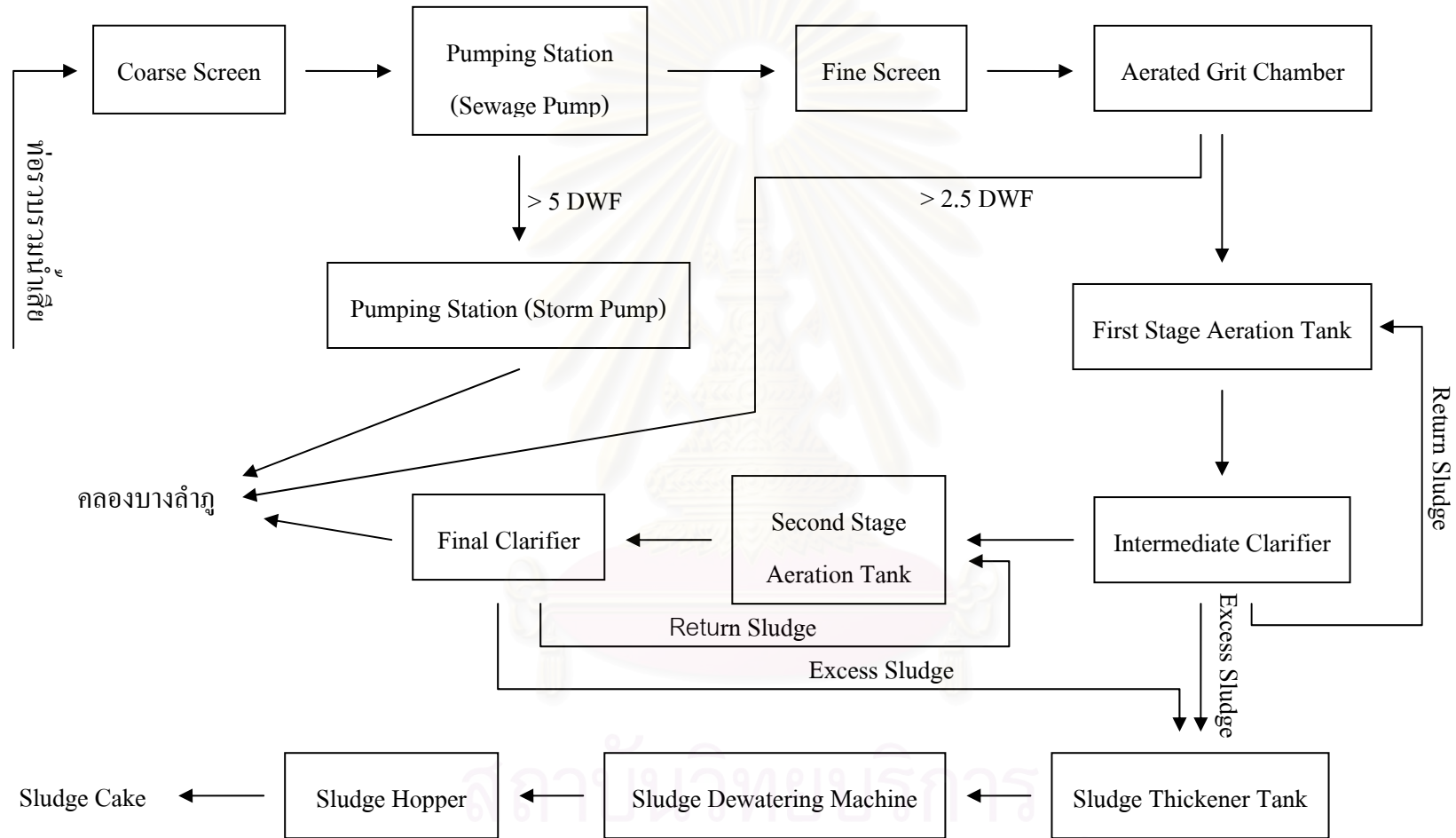


รูปที่ 2.8 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

2.3.1.2 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

2.3.1.2.1 ระบบท่อรวมน้ำเสีย เนื่องจากระบบท่อระบายน้ำเสียในบริเวณพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์เป็นระบบระบายน้ำรวม (combined system) มีความยาวรวมประมาณ 16.25 กิโลเมตร ซึ่งจะรวบรวมระบบท่อระบายน้ำเสียและระบบท่อระบายน้ำฝนเข้าด้วยกัน โดยออกแบบให้สามารถรับน้ำในอัตราไม่เกิน 5 DWF (dry water flow) ส่วนปริมาณที่เกินนี้ จะเจือจางและไหลล้นลงคลองไป

2.3.1.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย ใช้ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) โดยถังเติมอากาศขั้นแรกจะเป็นแบบ high rate aeration และถังที่สองเป็น extended aeration เพื่อควบคุมกระบวนการให้เป็นแบบ anoxic-oxic ให้มีการกำจัดไนโตรเจนและในถังเติมอากาศขั้นที่สองจะมีการเติมเกลืออลูมิเนียมเพื่อกำจัดฟอสฟอรัส โดยน้ำเสียจะไหลเข้าถังตกตะกอนแล้วเติมคลอรีนฆ่าเชื้อโรคก่อนปล่อยลงสู่คลองสาธารณะ



รูปที่ 2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลรามาธิบดี

2.3.1.2.3 การกำจัดกากตะกอน กากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จะส่งเข้าถังเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน และส่งไปเข้าถังพักตะกอนรวมกับตะกอนจากถังตกตะกอนชั้นแรก จากนั้นจะส่งไปเข้าเครื่องรีดน้ำออกจากตะกอนและนำกากตะกอนไปทิ้งต่อไป

2.3.1.2.4 การกำจัดกลิ่น อากาศเสียที่มีกลิ่นเหม็นจะถูกรวบรวมมาจากจุดต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย และส่งมากำจัดกลิ่นด้วยระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ ก่อนจะออกสู่บรรยากาศ

2.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

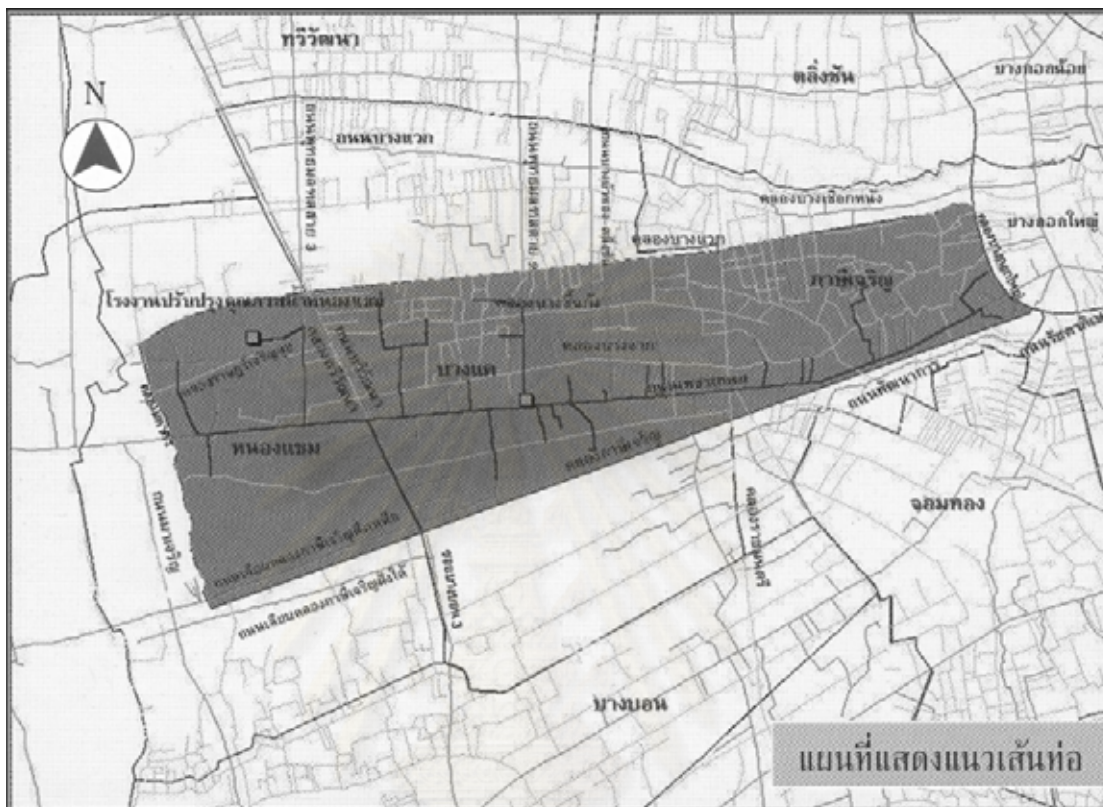
2.3.2.1 รายละเอียดโครงการ

| | | |
|----------------------------|---|---|
| พื้นที่บริการ | : | 44 ตารางกิโลเมตร |
| ประชากรในปีพ.ศ.2563 | : | 520,000 คน |
| เขตการปกครอง | : | เขตหนองแขม ภาษีเจริญ |
| อัตราการบำบัดน้ำเสีย | : | 236,000 ลูกบาศก์เมตร /วัน |
| ที่ตั้งโรงงานบำบัดน้ำเสีย | : | ซอยเพชรเกษม 106 |
| ขนาดพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสีย | : | 54 ไร่ |
| ความยาวท่อรวบรวมน้ำเสีย | : | 42.9 กิโลเมตร |
| กระบวนการบำบัดน้ำเสีย | : | Activated Sludge Process แบบ Vertical Loop Reactors (VLR) |
| อัตราการบำบัดกากตะกอน | : | 100 ตัน /วัน |
| กระบวนการบำบัดตะกอน | : | Anaerobic Digestion |

2.3.2.2 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบท่อรวบรวมน้ำเสีย (collection system) จัดเป็นระบบท่อคักน้ำเสียแบบรวม (combined system) กำหนดให้มีการวางโครงข่ายท่อใหม่เพื่อคักน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเดิม ที่ปกติไหลลงสู่คูคลองมิให้ไหลลงคูคลอง ในฤดูแล้งระบบท่อคักน้ำเสียจะสามารถลำเลียงน้ำเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่โครงการเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียต่อไป ส่วนในฤดูฝนระบบท่อคักน้ำเสียตามโครงข่ายท่อใหม่จะมีบ่อน้ำล้น (Storm Overflow Drain, SOD) เพื่อผันน้ำฝนส่วนเกิน 5 เท่าที่ผสมมากับน้ำเสียให้ไหลลงคูคลองตามปกติต่อไป โดยมีความยาวโครงข่ายท่อใหม่ในพื้นที่หนองแขม 33,873 เมตร ในระยะระหว่างแนวท่อที่รวบรวมน้ำเสียสู่โรงบำบัดน้ำเสีย จะมีสถานี

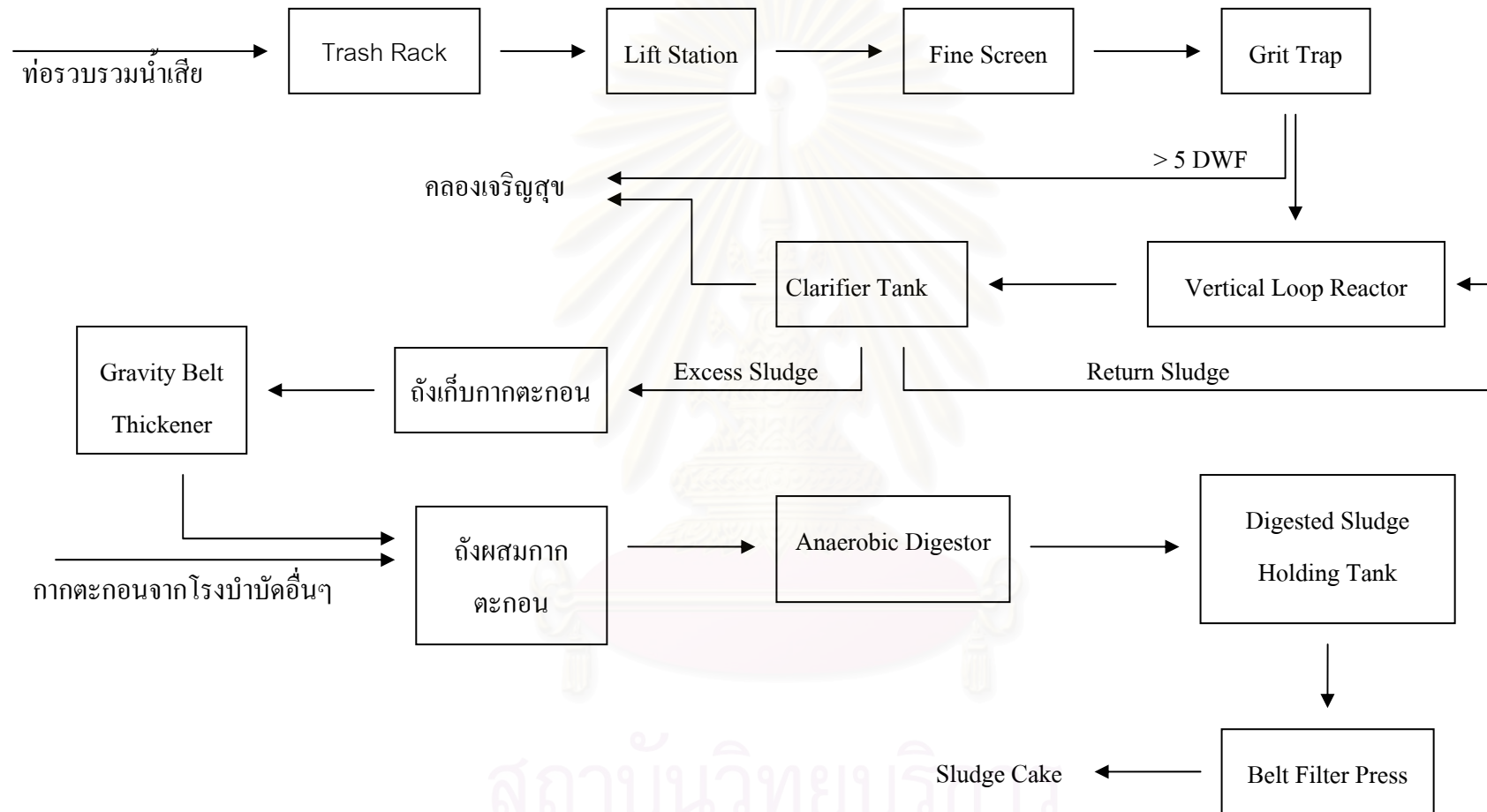
สูบน้ำอยู่เป็นระยะกระจายในพื้นที่เพื่อสูบน้ำเข้าสู่โรงบำบัดฯ โดยในพื้นที่หนองแขมจะมีสถานีสูบน้ำจำนวน 11 แห่ง ส่วนพื้นที่ราษฎร์บูรณะจะมีสถานีสูบน้ำจำนวน 5 แห่ง



รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงแนวเส้นทางของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

2.3.2.2.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment plant) ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแบบ activated sludge และมีการกำจัดไนโตรเจนในถังปฏิกรณ์ชนิด Vertical Loop Reactors (VLR) ระบบบำบัดน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนประกอบด้วย 4 ถังปฏิกรณ์ โดยมีปริมาตรรวม 24,400 ลูกบาศก์เมตร มีระยะเวลาเก็บกักต่ำสุดสำหรับ DWF ในทุกถังปฏิกรณ์ประมาณ 3.7–3.8 ชม. ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 สามารถเดินระบบด้วยวิธี contact stabilization process การเกิดปฏิกรณ์ nitrification เพื่อการกำจัดไนโตรเจน

2.3.2.2.2 กระบวนการบำบัดกากตะกอน (sludge treatment) สำหรับกากตะกอนจุลินทรีย์ จากถังเติมอากาศทั้งสองในระบบบำบัดน้ำเสีย จะนำมาเติม polymer เพื่อให้ตะกอนจับกันเป็นก้อนและรีดน้ำออกด้วย belt filter press การเติมปูนขาวในตะกอนจะช่วยกำจัดกลิ่นได้ ระบบกำจัดกลิ่นจะกำจัดด้วยวิธีร่วมระหว่างการใช้ ferric chloride และ scrubber system

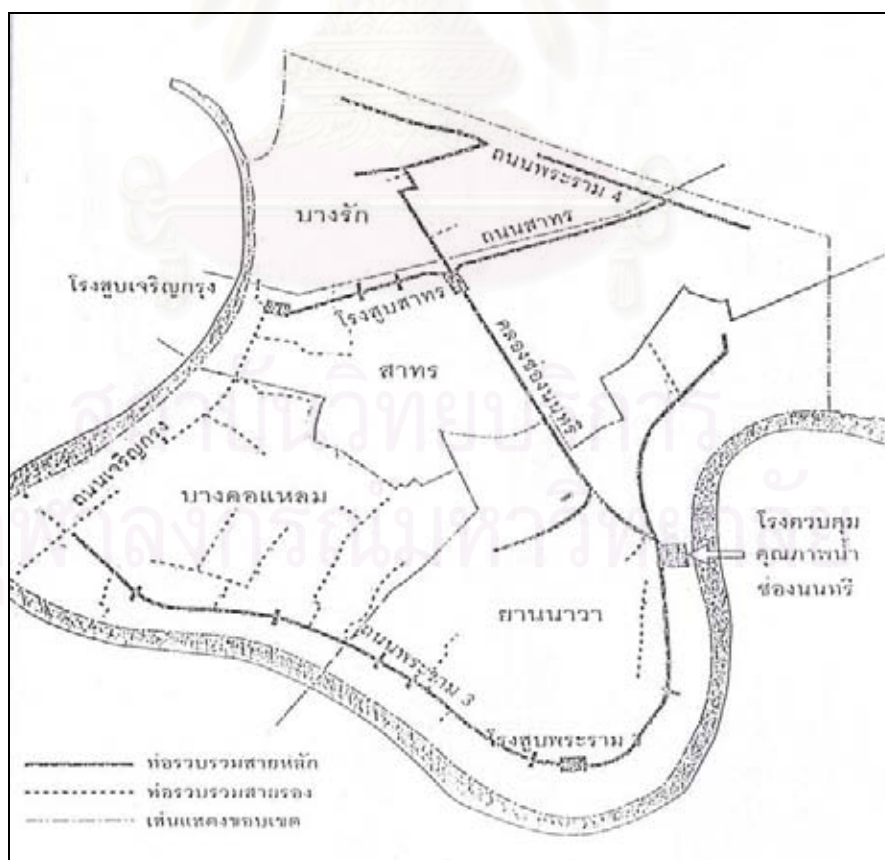


รูปที่ 2.11 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

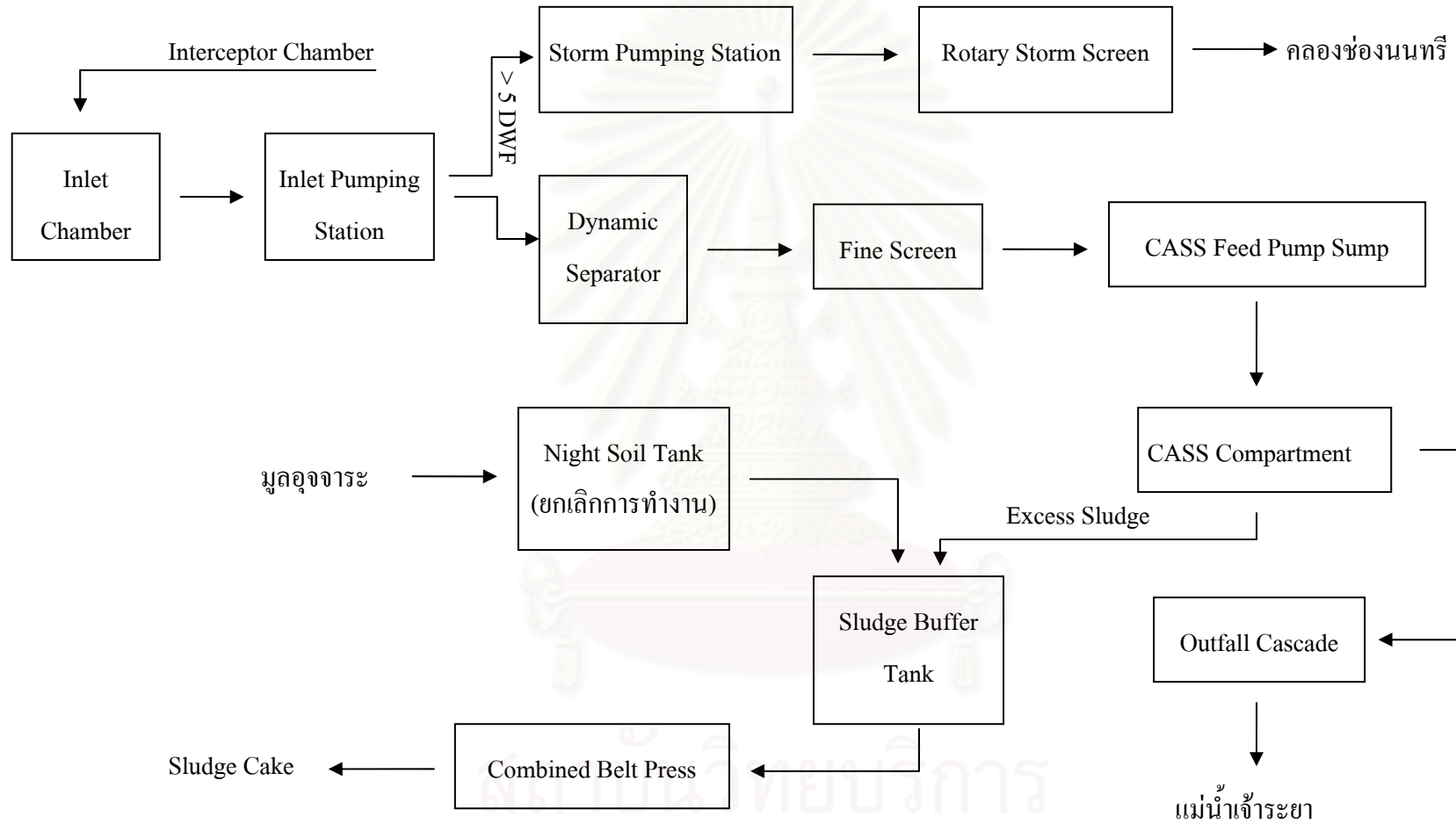
2.3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

2.3.3.1 รายละเอียดโครงการ

| | | |
|----------------------------|---|--|
| พื้นที่บริการ | : | 28.5 ตารางกิโลเมตร |
| ประชากร | : | 580,000 คน |
| เขตการปกครอง | : | เขตยานนาวา เขตบางคอแหลม เขตสาทร และเขตบางรัก |
| อัตราการบำบัดน้ำเสีย | : | 200,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน |
| ที่ตั้งโรงงานบำบัดน้ำเสีย | : | 131 ถ.พระราม 3 ชองนนทรี ยานนาวา ก.ท.ม. |
| ขนาดพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสีย | : | 20 ไร่ |
| ความยาวท่อรวบรวมน้ำเสีย | : | |
| รวมทั้งสิ้นประมาณ | : | 51 กิโลเมตร |
| กระบวนการบำบัดน้ำเสีย | : | Activated Sludge แบบ Cyclic Activated Sludge System ที่พัฒนามาจาก Sequencing Batch Reactor |



รูปที่ 2.12 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี



รูปที่ 2.13 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

2.3.3.2 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

2.3.3.2.1 ระบบท่อรวบรวมน้ำเสีย (Collection System) โดยระบบที่จะเป็นแบบ combined system สามารถรับน้ำได้ 5 DWF ภายในระบบท่อรวบรวมน้ำเสียประกอบด้วยท่อคักน้ำเสีย (interceptors) ความยาวประมาณ 51 กิโลเมตร ประกอบด้วยท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 150–600 มิลลิเมตร ยาว 11,707 เมตร ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 800–1,200 มิลลิเมตร ยาว 20,792 เมตร ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,500–2,250 มิลลิเมตร ยาว 12,621 เมตร บ่อพักน้ำเสีย (manholes) จุดคักน้ำเสีย (interceptor chamber) จุดระบายน้ำล้น (overflow chambers) จำนวน 132 จุด โรงงานบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment plant) สามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระยะแรก 200,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน

2.3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพบำบัดน้ำเสียพระยา

2.3.4.1 รายละเอียดโครงการ

| | | |
|----------------------------|---|---|
| พื้นที่บริการ | : | 2.7 ตารางกิโลเมตร |
| ประชากร | : | 120,000 คน |
| เขตการปกครอง | : | เขตป้อมปราบฯ เขตสัมพันธวงศ์ และเขตบางรักบางส่วน |
| อัตราการบำบัดน้ำเสีย | : | 30,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน |
| ที่ตั้งโรงงานบำบัดน้ำเสีย | : | บริเวณปากคลองผดุงกรุงเกษม |
| ขนาดพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสีย | : | 1 ไร่ 3 งาน 61.21 ตารางวา |
| ความยาวท่อรวบรวมน้ำเสีย | | |
| รวมทั้งสิ้นประมาณ | : | 2.275 กิโลเมตร |
| กระบวนการบำบัดน้ำเสีย | : | Contact Stabilization Activated Sludge |

2.3.4.2 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

2.3.4.2.1 ระบบรวบรวมน้ำเสีย เป็นแบบ combined system ความสามารถในการรับน้ำเสีย 3 DWF โดยน้ำเสียชุมชนและน้ำฝนที่ไหลลงท่อระบายน้ำเดิม จะถูกคักด้วยบ่อคักน้ำเสียให้ไหลเข้าท่อรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัดต่อไป ระบบท่อรวบรวมน้ำเสียประกอบด้วย

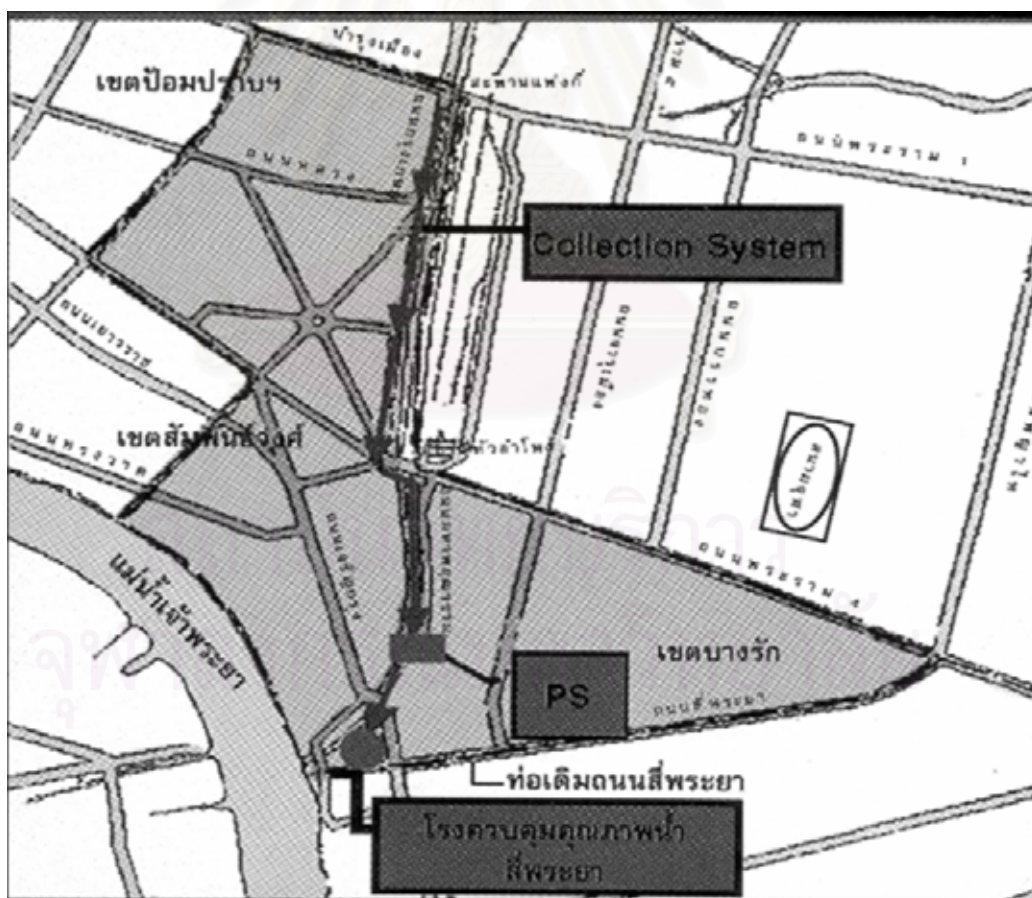
2.3.4.2.2 ท่อรวบรวมน้ำเสีย (interceptor) ถนนกรุงเกษม ความยาวประมาณ 2.275 กิโลเมตร

2.3.4.2.3 ท่อรวบรวมน้ำเสีย (interceptor) ถนนสี่พระยา ความยาวประมาณ 1.2 กิโลเมตร (ใช้ท่อระบายน้ำเดิม)

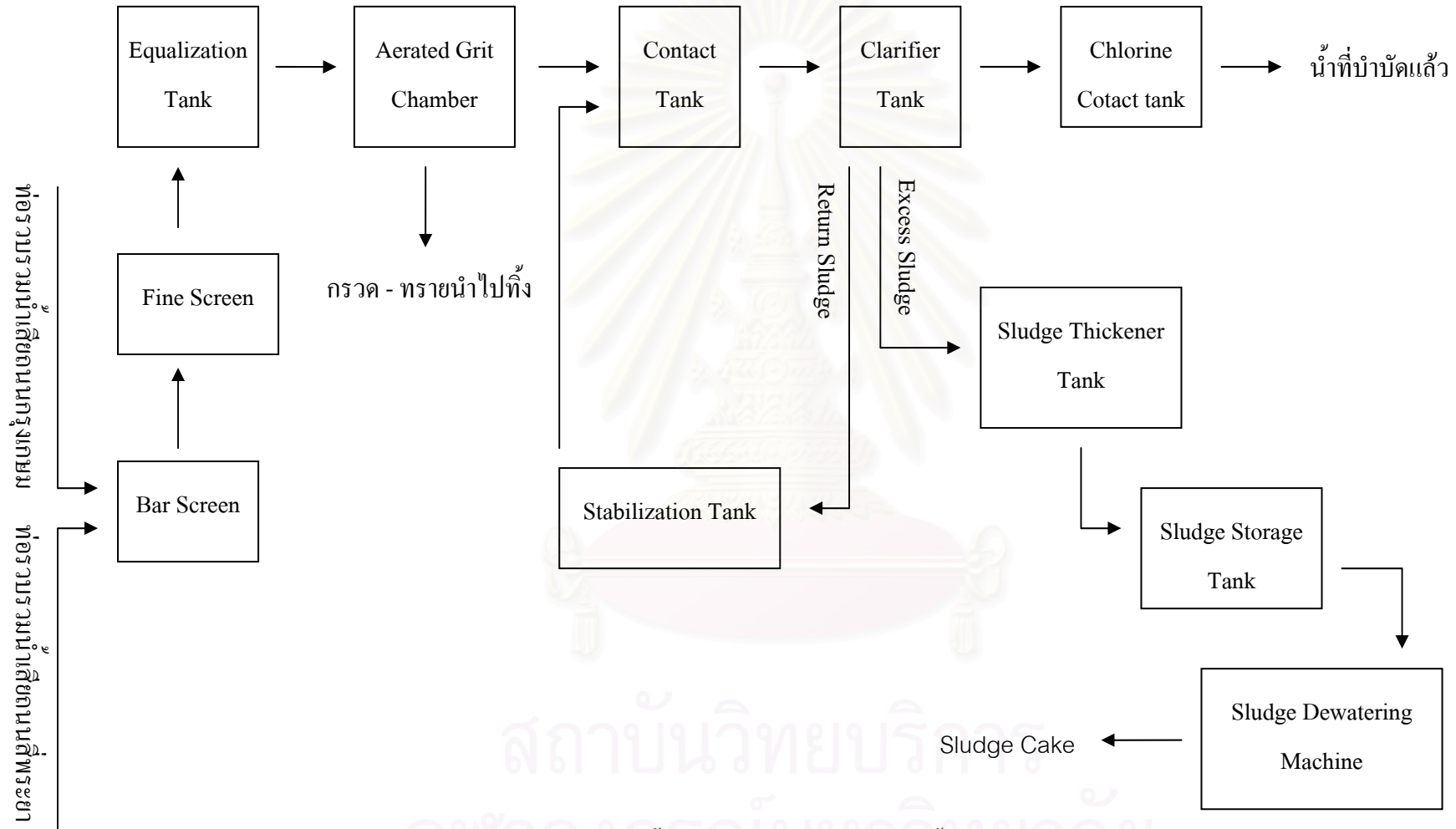
2.3.4.2.4 บ่อดักน้ำเสีย (interceptor chamber) 81 บ่อ

2.3.4.2.5 สถานีสูบน้ำ (lift station) 1 แห่ง

2.3.4.2.6 โรงบำบัดน้ำเสีย (waster treatment plant) เนื่องจากพื้นที่ก่อสร้างมีขนาดจำกัด จึงได้ออกแบบอาคารที่มีระบบบำบัดน้ำเสียวางซ้อนกัน 3 ชั้น ความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย 10,000 ลูกบาศก์เมตร/ชั้น/วัน รวม 30,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละชั้นมีหน่วยบำบัดน้ำเสียครบถ้วนตามขบวนการ และเป็นอิสระแยกจากกัน การนำน้ำเสียไปบำบัดทำได้โดยการใช้เครื่องสูบน้ำ สูบน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย เพื่อนำไปบำบัดแต่ละชั้น



รูปที่ 2.14 แผนที่แสดงแนวเส้นท่อของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา



รูปที่ 2.15 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

| อุปกรณ์ | บริษัทผู้ผลิต, ประเทศ |
|--|------------------------------------|
| เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) รุ่น SP-300 | Optima, Japan |
| เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) รุ่น BA350 | EDT direct ION Ltd, England |
| เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography) รุ่น GC-7AG | Shimadzu, Japan |
| เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (nuclear magnetic resonance spectrometer) รุ่น Mercury plus | Varian, USA |
| เครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) รุ่น ME-20 | Aris, Thailand |
| เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น 4-15 | Sigma Laborzentrifugen, Germany |
| เครื่องดูดอากาศ (aspirator) รุ่น A-35 | Tokyo Rikakikai, Japan |
| เครื่องหมุนวน (vortex mixer) รุ่น S0100-230V | Labnet International, England |
| กล้องจุลทรรศน์ (microscope) รุ่น ECLIPSE E200 | Nikon, Japan |
| กล้องถ่ายรูปดิจิทัล (digital camera) รุ่น COOLPIX5000 | Nikon, Japan |
| เตาให้ความร้อน (hot plate) รุ่น MR3001 | Heidolph, Germany |
| เครื่องย่อย (digester) รุ่น 2020 Digester | FOSS TECATOR, Sweden |
| ตู้อบ (oven) รุ่น 500 | Mammert, Germany |
| เครื่องชั่งสองแขน รุ่น Harvard Trip 1400/1500 | OHAUS, USA |
| เครื่องชั่งละเอียด รุ่น BP 211D | Sartorius, Germany |
| เตาเผา 1200 องศาเซลเซียส รุ่น ESF12/10 | Carbolite, USA |

3.2 สารเคมี

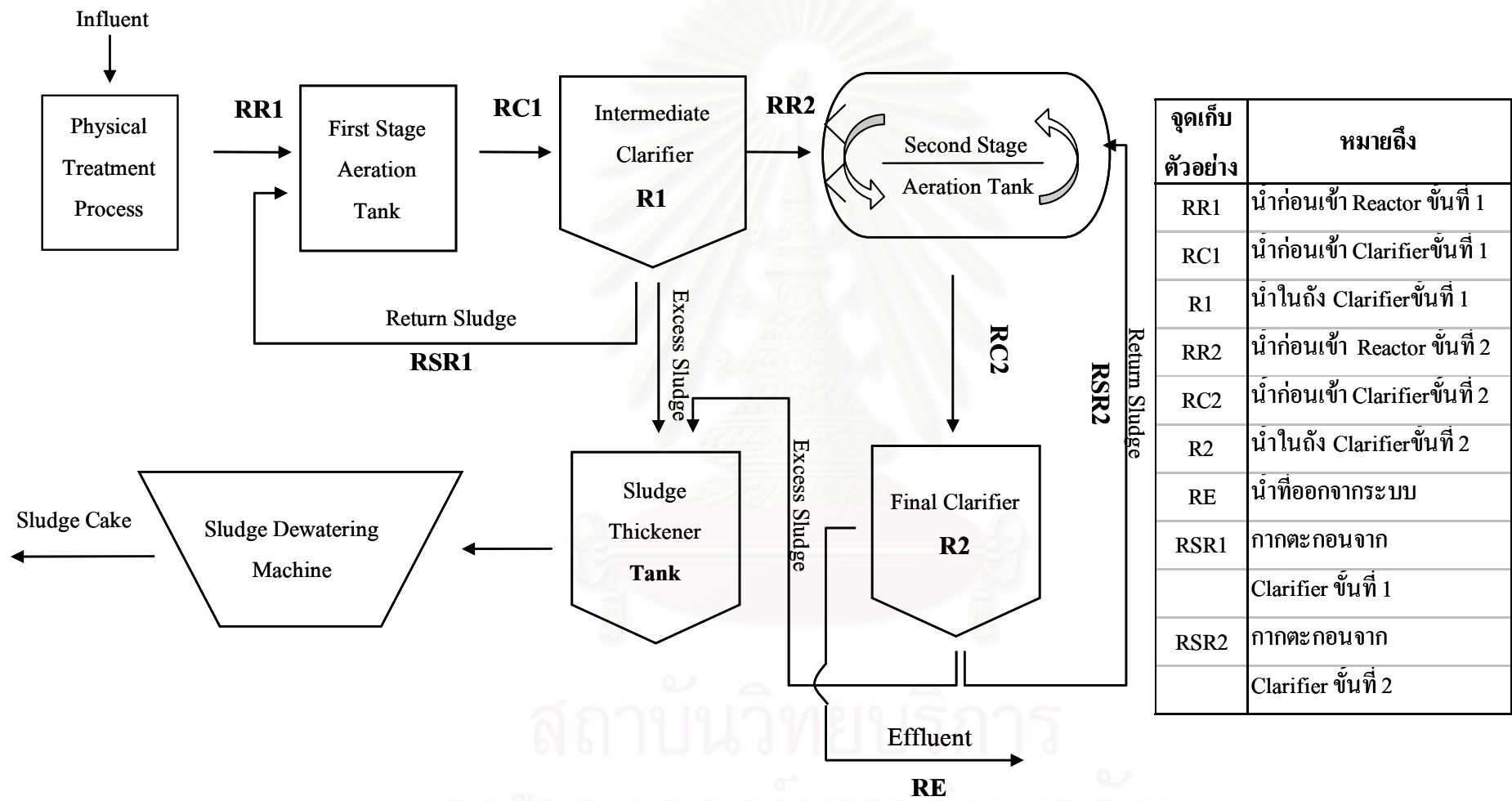
| สารเคมี | บริษัทผู้ผลิต, ประเทศ |
|---|---------------------------|
| potassium dichromate | Carlo Erba, Italy |
| silver sulfate | Carlo Erba, Italy |
| 1,10-phenanthroline monohydrate | Carlo Erba, Italy |
| ferrous sulfate | Carlo Erba, Italy |
| ferrous ammonium sulfate | Carlo Erba, Italy |
| phenolphthalein indicator | Carlo Erba, Italy |
| ammonium molybdate | Carlo Erba, Italy |
| ammonium metavanadate | Carlo Erba, Italy |
| potassium dihydrogen phosphate | Carlo Erba, Italy |
| sodium benzoate | Carlo Erba, Italy |
| mercury Sulfate | Carlo Erba, Italy |
| sulfuric conc. | E.Merck Damstadt, Germany |
| nitric conc. | E.Merck Damstadt, Germany |
| sodium hydroxide | E.Merck Damstadt, Germany |
| hydrochloric conc. | E.Merck Damstadt, Germany |
| sodium sulfate | E.Merck Damstadt, Germany |
| methanol | E.Merck Damstadt, Germany |
| acetone | E.Merck Damstadt, Germany |
| ethanol | E.Merck Damstadt, Germany |
| diethyl ether | E.Merck Damstadt, Germany |
| safranin O | E.Merck Damstadt, Germany |
| sudan black B | DBH, England |
| chloroform | DBH, England |
| methylene blue | Fluka, Germany |
| poly[(R)-3-hydroxybuteric acid] | Fluka, Germany |
| xylol | J.T.Baker, USA |
| sodium hypochlorite | The Chlorox company, USA |
| ชุดตรวจ glucose (Enz.) SET รหัสสินค้า RA-122-10 | Biotech, USA |

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

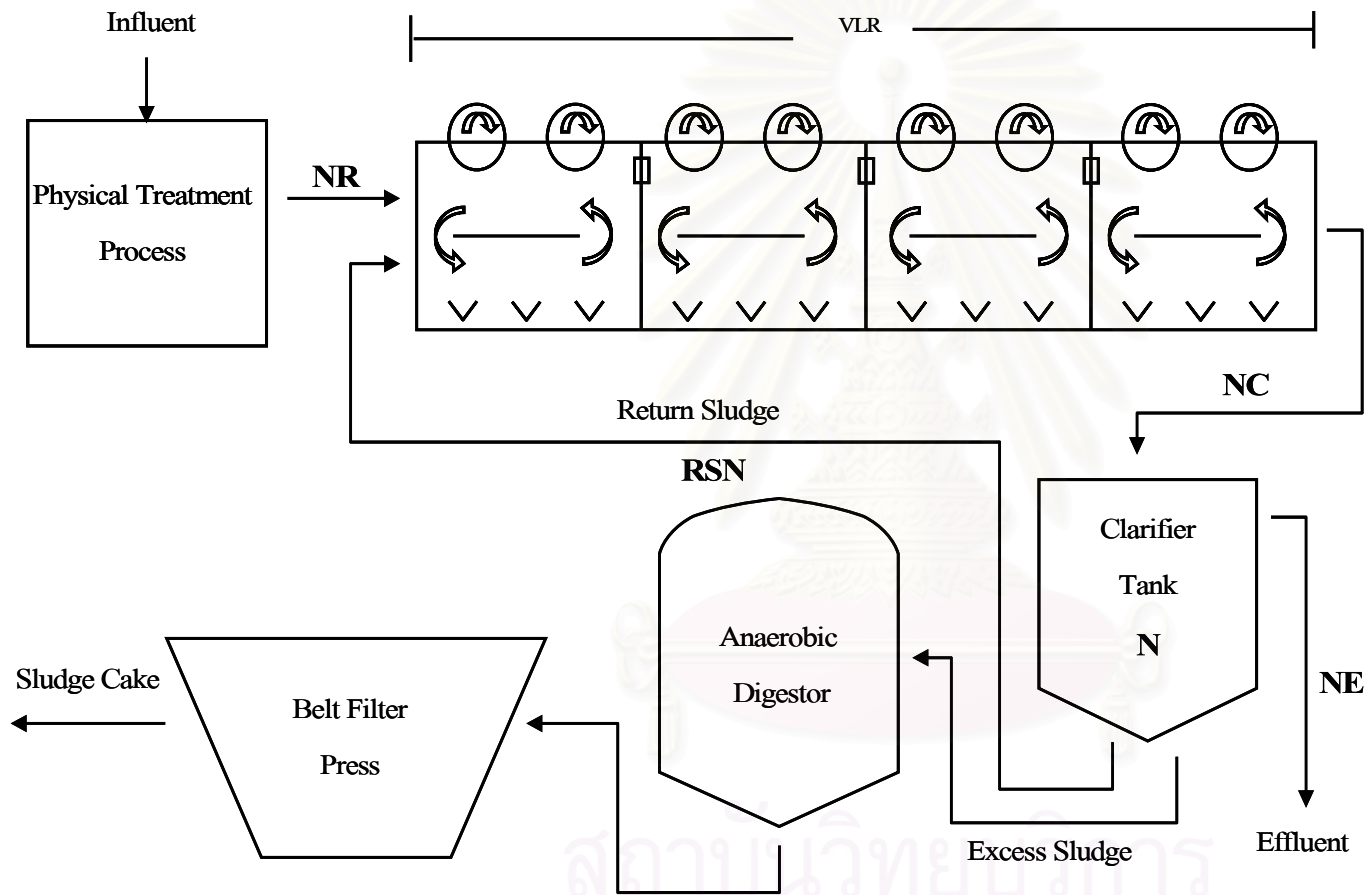
จะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของ กรุงเทพมหานครทั้ง 4 โรง ได้แก่ โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์, โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม, โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ซึ่งการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและกากตะกอนจะวิเคราะห์ทุก 2 สัปดาห์ เป็นจำนวนทั้งหมด 8 ครั้ง (ดังตารางที่ 3.1) ยกเว้นการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล PHA จะทำการวิเคราะห์โรงละ 1 ครั้ง โดยมีจุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์จะแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงวันที่เก็บตัวอย่าง

| ครั้งที่ | วันที่ |
|----------|-------------------------------|
| 1 | วันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2547 |
| 2 | วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2547 |
| 3 | วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2547 |
| 4 | วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 |
| 5 | วันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 |
| 6 | วันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 |
| 7 | วันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2547 |
| 8 | วันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2547 |

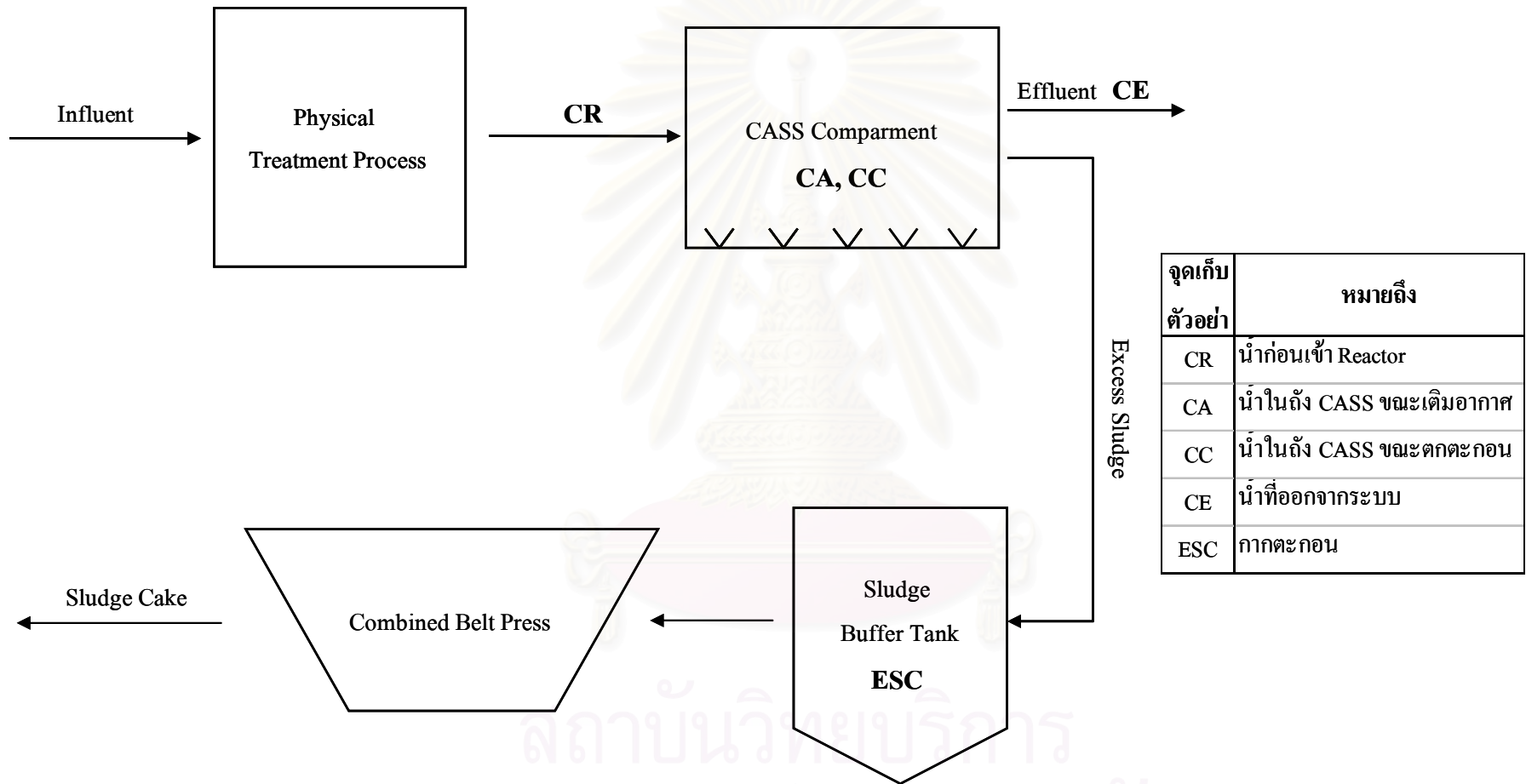


รูปที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

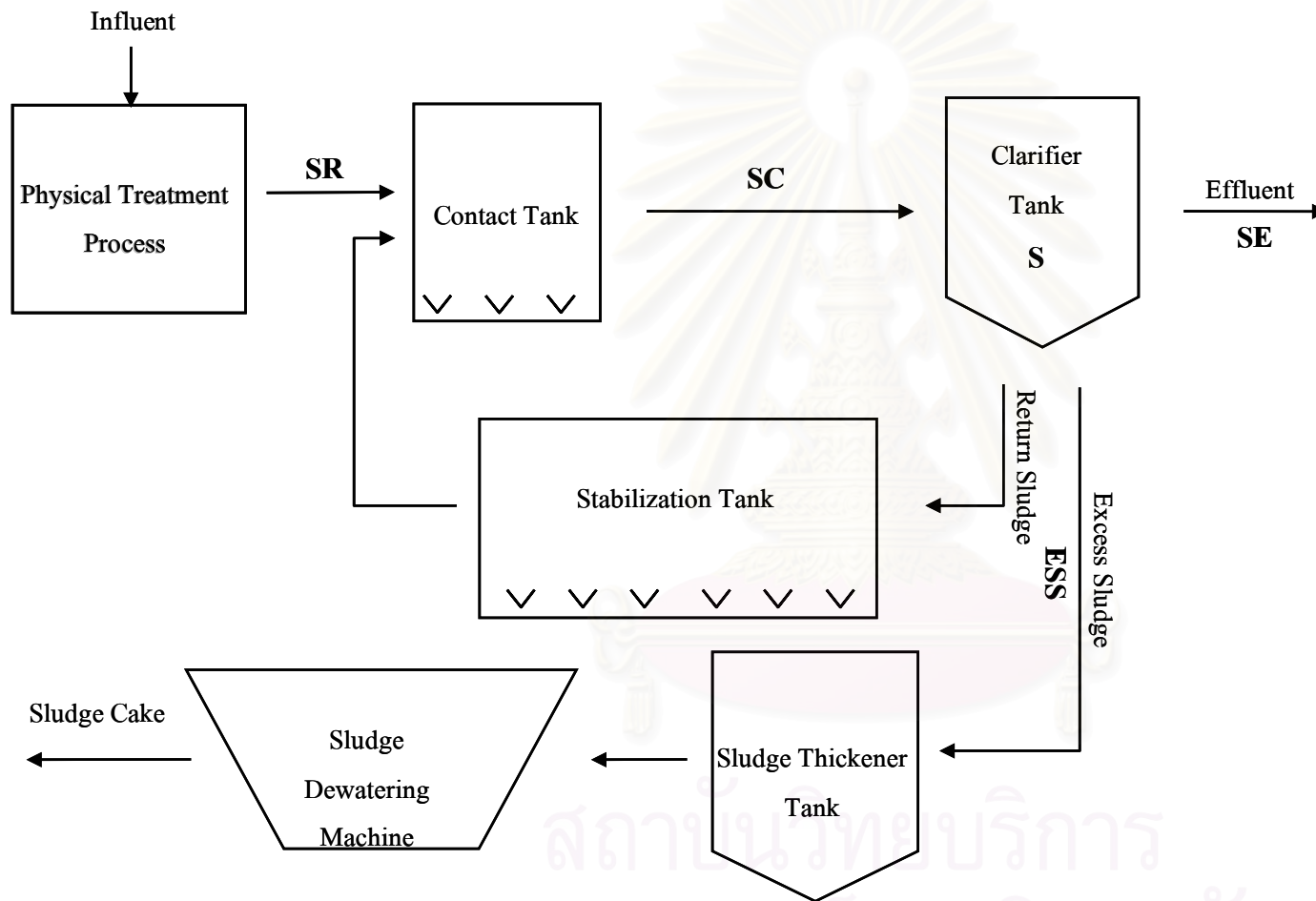


| จุดเก็บตัวอย่าง | หมายถึง |
|-----------------|-----------------------|
| NR | น้ำก่อนเข้า Reactor |
| NC | น้ำก่อนเข้า Clarifier |
| N | น้ำในถัง Clarifier |
| NE | น้ำที่ออกจากระบบ |
| RSN | กากตะกอน |

รูปที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม



รูปที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี



| จุดเก็บตัวอย่าง | หมายถึง |
|-----------------|-----------------------|
| SR | น้ำก่อนเข้า Reactor |
| SC | น้ำก่อนเข้า Clarifier |
| S | น้ำในถัง Clarifier |
| SE | น้ำที่ออกจากระบบ |
| ESS | กากตะกอน |

รูปที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง | ความถี่ | จำนวนครั้ง | วิธีวิเคราะห์ |
|------------------------------|------------------------------|-----------------|------------|---|
| ปริมาณของ PHA | ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | gas chromatography (Liu, 1994) |
| จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA | ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | นับจำนวนเซลล์ที่ย้อมด้วยวิธี fat (poly- <i>B</i> -hydroxybutyric acid) stain (Seeley, 1972) |
| จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต | ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | นับจำนวนเซลล์ที่ย้อมด้วยวิธี volutin stain (Seeley, 1972) |
| จำนวนเซลล์ทั้งหมด | ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | นับจำนวนเซลล์ที่ย้อมด้วยวิธี direct smear method (Wang, 1941) |
| ปริมาณกลูโคส | ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | enzyme-colorimetric method (Trinder, 1969) |
| การพิสูจน์หาเอกลักษณ์ของ PHA | ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS | — | 1 | NMR spectrometry (Jutter และคณะ, 1975) |

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ (ต่อ)

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง | ความถี่ | จำนวนครั้ง | วิธีวิเคราะห์ |
|-------------|---|-----------------|------------|--|
| ปริมาณVFAs | RR1, RC1, R1, RR2, RC2, R2, RE, NR, NC, N, NE, CR, CA, CC, CE, SR, SC, S และ SE | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | direct titration (Ripley และคณะ, 1986) |
| ปริมาณTP | RR1, RC1, R1, RR2, RC2, R2, RE, NR, NC, N, NE, CR, CA, CC, CE, SR, SC, S และ SE | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method (APHA, AWWA and WPCI, 1985) |
| ปริมาณCOD | RR1, RC1, R1, RR2, RC2, R2, RE, NR, NC, N, NE, CR, CA, CC, CE, SR, SC, S และ SE | 2 สัปดาห์/ครั้ง | 8 | close reflux method (APHA, AWWA and WPCI, 1985) |

3.4 การหาปริมาณ PHA ในกากตะกอนโดยวิธี gas chromatography (Liu, 1994)

ในการหาปริมาณ PHA ในเซลล์ทำได้โดยการสกัด PHA โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัว ทำละลาย จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปหาปริมาณ PHA โดยการใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ซึ่งในการหาปริมาณ PHA ต้องมีการทำกราฟมาตรฐานมาก่อน

ทั้งนี้การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณ PHA ในเซลล์นั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ใช้กากตะกอนประมาณ 10–80 มิลลิลิตร มาหมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที ซึ่งควรทำให้ได้ของแข็งมากกว่า 50 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง)
 2. อบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่)
 3. ชั่งน้ำหนักของของแข็งที่ได้ในขวดทนความดันสูง เช่น Wheaton “V-vial” ขนาด 5 มิลลิลิตร (ต้องการให้ได้น้ำหนักประมาณ 50 มิลลิกรัม)
 4. เติมกรดซัลฟิวริกร้อยละ 15 ในเมธานอล (V/V) ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ลงในขวดทนความดัน
 5. เติมสารละลายโซเดียมเบนโซเอท 0.1 มิลลิลิตร ลงในขวดทนความดัน (สารละลายนี้สามารถเตรียมได้โดยใช้โซเดียมเบนโซเอท 1.695 กรัมในเมธานอล 10 มิลลิลิตร)
 6. เติมคลอโรฟอร์ม 2 มิลลิลิตร ตามลงไป แล้วปิดขวดให้แน่น
 7. นำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
 8. เติมน้ำกลั่น 1–2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด หลังจากนั้นปิดขวดให้แน่น นำไปเขย่าในเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้หนึ่งๆ เพื่อให้เกิดการแยกชั้น โดยคลอโรฟอร์มจะอยู่ชั้นล่างสุดปนกับเซลล์ ส่วนน้ำและเมธานอลลอยอยู่ชั้นบน คุณเอาส่วนคลอโรฟอร์มใส่ในขวดเก็บตัวอย่างเติมโซเดียมซัลเฟตลงไปเล็กน้อยเพื่อใช้ดูดน้ำที่อาจปนมาด้วยและปิดฝาทิ้งไว้ 1 คืน
 9. นำตัวอย่างมากรองและเก็บใส่ขวดตัวอย่าง
 10. ตัวอย่างหลังจากขั้นตอนที่ 9 นี้ สามารถเก็บได้ในตู้เย็นเป็นเวลา 3 อาทิตย์ และเมื่อจะนำมาวิเคราะห์หา PHA โดยฉีดเข้าเครื่อง GC ต้องทำให้ตัวอย่างกลับมาที่อุณหภูมิห้องก่อน
 11. ใช้ส่วนที่เป็นคลอโรฟอร์ม 1 ไมโครลิตรสำหรับฉีดเข้าเครื่อง GC
 12. นำผลที่ได้ไปเทียบกับกราฟของ PHA มาตรฐาน
- ค่าที่ใช้ในการตั้งเครื่อง GC สำหรับวิเคราะห์หา PHA มีดังนี้
- ใช้คอลัมน์ EGSS-X
 - column temp = 140 องศาเซลเซียส
 - injection temp = 220 องศาเซลเซียส
 - detector temp = 220 องศาเซลเซียส
 - อัตราไหล N_2 = 40 มิลลิลิตรต่อนาที

3.5 การย้อมเซลล์ที่มีการสะสม PHA โดยวิธี fat (poly-B-hydroxybutyric acid) stain (Seeley, 1972)

เป็นการย้อมสีสารประเภทไขมันที่สะสมภายในเซลล์แบคทีเรีย โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กระจายเชื้อบนแผ่นสไลด์ ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วผ่านเปลวไฟ (heat fix) เพื่อให้เชื้อติดสไลด์
2. หยดสีชูดานแบลค บี ให้ท่วมบริเวณที่กระจายเชื้อทิ้งไว้ 10–15 นาที
3. เทสีออกแล้วซับ
4. เอียงสไลด์เล็กน้อย หยดไซลอลลงไปเพื่อไล่สีชูดานแบลคบีที่มากเกินไป แล้วซับให้แห้ง
5. ย้อมสีทับด้วยสีซาฟรานิน โอ 15 วินาที
6. ล้างน้ำ ซับให้แห้ง ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์หัวน้ำมัน เซลล์จะติดสีแดง ไขมันจะติดสีดำ

3.6 การย้อมเซลล์ที่มีการสะสมโพลีฟอสเฟตโดยวิธี volutin stain (Seeley, 1972)

โวลูติน (volutin) เป็นสารพวก polymetaphosphate ซึ่งนำไปใช้เกี่ยวกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก และใช้เป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ โวลูตินเป็นสารที่สะสมภายในเซลล์จะติดสีย้อมที่เป็นต่าง สารที่อยู่ในเซลล์ส่วนใหญ่ เช่น โปรตีนจะติดสีย้อมที่เป็นต่าง เมื่อสภาพกรดต่างของสิ่งแวดล้อมสูงกว่า isoelectric point ถ้าสารที่มี isoelectric point เป็นกรดมาก ๆ ควรย้อมด้วย acidified basic dye (pH 2.0–3.0) โวลูตินมีส่วนประกอบเป็นกรด จึงควรย้อมด้วยสีย้อม acidified basic dye ถึงแม้ว่า pH จะต่ำกว่า 4 โดยขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

1. กระจายเชื้อบนสไลด์ ทิ้งให้แห้ง ผ่านเปลวไฟ
2. หยดสี acidified aq. methylene blue ลงบนบริเวณที่กระจายเชื้อ 1 หยด
3. ปิดกระจกปิดสไลด์ นำไปส่องดูด้วยหัวน้ำมัน

3.7 การย้อมเซลล์ทั้งหมดโดยวิธี direct smear method (Wang, 1941)

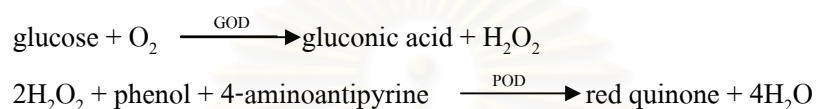
เป็นการย้อมสีโดยใช้สีย้อมเพียงสีเดียว วิธีนี้เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างจุลินทรีย์ที่รวมกันอยู่มากกว่า 1 ชนิดได้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กระจายเชื้อบนสไลด์ ทิ้งให้แห้ง ผ่านเปลวไฟ
2. หยดสี methylene blue ลงบนบริเวณที่กระจายเชื้อ
3. ปิดกระจกปิดสไลด์ นำไปส่องดูด้วยหัวน้ำมัน

3.8 การหาปริมาณกลูโคสโดยวิธี Enzyme-Colorimetric Method (Trinder, 1969)

หลักการ

glucose ถูกย่อยด้วย Glucose Oxidase (GOD) ได้ hydrogenperoxide ซึ่งทำปฏิกิริยากับ aminoantipyrine, peroxidase (POD) และ phenol ได้ red quinone dye มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดที่ 505 นาโนเมตร ความเข้มข้นของสีเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณ glucose



สารเคมี

1. glucose enzyme powder
2. glucose enzyme diluent
3. glucose standard

วิธีเตรียม working reagent

ผสม glucose enzyme powder และ glucose enzyme diluent เข้าด้วยกัน ซึ่ง working reagent มีอายุในการใช้งาน 30 วันหลังจากการเตรียม เมื่อเก็บในที่ไม่มีแสงอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส แต่ก่อนการนำไปใช้งานต้องนำไปปั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 5-10 นาที

วิธีวิเคราะห์

ผสมสารดังตารางที่ 3.3 นำไปปั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอ่านค่า absorbance ที่ 505 นาโนเมตร โดยใช้ blank ปรับ 0 โดยสีที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพอย่างน้อย 30-60 นาที

ตารางที่ 3.3 แสดงการผสมสารเพื่อนำไปวิเคราะห์

| | blank | standard | sample |
|-----------------|------------|------------|------------|
| working reagent | 1 ml | 1ml | 1ml |
| distilled water | 10 μ l | - | - |
| standard | - | 10 μ l | - |
| sample | - | - | 10 μ l |

การคำนวณ

$$C_{\text{sample}} = C_{\text{standard}} \times \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{standard}}}$$

A = absorbance

C = concentration

3.9 การพิสูจน์หาเอกลักษณ์ของ PHA โดยวิธี NMR spectrometry (Jutter และคณะ, 1975)

แยกส่วนเซลล์ออกโดยการปั่นที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที นำเซลล์มาบ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ หรือคลอโรกซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปั่นที่ความเร็วรอบเท่าเดิม เพื่อเก็บตะกอนล้างด้วยอะซีโตนและเอทานอล ตามลำดับ สกัดแยก PHA จากตะกอนที่ได้ด้วยคลอโรฟอร์มร้อน โดยวางในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที กรองส่วนใสที่ได้ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำไประเหยออกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นตกตะกอนด้วยไดเอทิลอีเทอร์ แล้วแยกตะกอนออกด้วยการปั่นที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนตะกอน PHA มาละลายด้วยคลอโรฟอร์มอีกครั้ง ตกตะกอนซ้ำด้วยไดเอทิลอีเทอร์ นำส่วนของตะกอนมาอบให้แห้งในตู้อบซึ่งมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ใน desiccator เพื่อทำการศึกษาลักษณะโดย นำแผ่นฟิล์มบริสุทธิ์ที่ได้ วัด $^1\text{H-NMR}$ ที่ความถี่ 500 MHz และ $^{13}\text{C-NMR}$ ที่ความถี่ 125 MHz โดยใช้ CDCl_3 (deuterated chloroform) เป็นตัวทำละลาย

3.10 การหาปริมาณ VFAs โดยวิธี direct titration (Ripley และคณะ, 1986)

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. หมุนเหวี่ยงตัวอย่างน้ำ เพื่อกำจัดของแข็งออกก่อน
2. นำตัวอย่างน้ำ 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก จากฟิเอชเริ่มต้นไปจนได้ฟิเอช 5.75 จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้
3. ไทเทรตต่อจนได้ฟิเอช 4.3 จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{สภาพต่างกรดไขมันระเหยง่าย (mg/l)} = \frac{\text{ปริมาณกรดซัลฟูริก(ml)} \times N \times 60,000}{\text{ปริมาณตัวอย่างน้ำ(ml)}}$$

เมื่อ N = นอร์มัลลิตีของกรดซัลฟูริก

(หากนำปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ตั้งแต่พีเอชเริ่มต้นจนถึงพีเอช 4.3 ไปคำนวณ จะได้สภาพกรดต่างทั้งหมดที่มีในระบบ)

3.11 การหาปริมาณ TP โดยวิธี vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method (APHA, AWWA and WPCI, 1985)

สารเคมี

1. ฟีนอลฟธาไลน์อินดิเคเตอร์
2. สารละลายกรด HCl
3. สารละลายแวนนาโด-โมลิบเดต มีวิธีการเตรียมดังนี้

สารละลาย A : ละลาย ammonium molybdate($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 25 กรัมในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร

สารละลาย B : ละลาย ammonium metavanadate(NH_4VO_3) จำนวน 1.25 กรัม โดยต้มให้เดือดในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น และเติมกรด HCl เข้มข้น 330 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นก่อนนำไปใช้

เทสารละลาย A ลงในสารละลาย B ผสมให้เข้ากันและเจือจางให้เป็น 1 ลิตร

4. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต : ละลาย anhydrous KH_2PO_4 219.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 1,000 มิลลิลิตร เท่ากับ ฟอสเฟต 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. การย่อยตัวอย่างด้วยกรดเข้มข้น
 - ใส่ตัวอย่างน้ำ 25-100 มิลลิลิตร (หรือกะให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในช่วงที่เหมาะสมกับการเทียบสี) ในขวดเจลดดาห์ขนาดจิ๋ว (microkjeldahl) แล้วใส่ลูกแก้วสะอาด 2-3 เม็ด
 - ใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร

- นำไปย่อยบนแท่นย่อยจนได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และย่อยต่อไปจนสารละลายไม่มีสี
 - ทำให้เย็น เติมน้ำกลั่นประมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วใส่ฟีนอล์ฟธาไลน์อินดิเคเตอร์ประมาณ 0.05 มิลลิลิตร (1หยด)
 - เติม 1 N NaOH ทีละน้อยจนสารละลายมีสีชมพูอ่อน
2. เติมสารละลายแวนนาโด-โมลิบเดต 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
 3. เตรียมแบลลงก์ด้วยน้ำกลั่น 35 มิลลิลิตร และทำเช่นเดียวกัน
 4. ทิ้งไว้ 10 นาทีหรือนานกว่า จะได้สีเหลืองเกิดขึ้นวัดความเข้มสีของสารละลายที่ 400-490 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับแบลลงก์หรือน้ำกลั่น โดยถ้าฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1.0-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร | ใช้ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร |
| 2.0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร | ใช้ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร |
| 4.0-18 มิลลิกรัมต่อลิตร | ใช้ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร |
 5. เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ด้วยวิธีการข้างต้น

การคำนวณ

$$\text{ฟอสเฟต(มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

3.12 การหาปริมาณ COD โดยวิธี close reflux method (APHA, AWWA and WPCI, 1985)

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล
ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งทิ้งไว้ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายปล่อยให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต
นำซิลเวอร์ซัลเฟต 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย ก่อนนำไปใช้
3. สารละลายมาตรฐานเฟร็ดแอมโมเนียม ซัลเฟต 0.05 นอร์มัล

ละลายเฟรตแอมโมเนียมซัลเฟต 19.6 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลายเฟรตซัลเฟต 695 มิลลิกรัม และ 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮเดรต 1.485 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

วิธีตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย FAS

เปิดสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล 5.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วจึงค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เติมเฟอโรอิน 2-3 หยด ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนได้สีน้ำตาลเป็นจุดยุติ

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS (N)} = (5.0 \times 0.1) / \text{ml.FAS ที่ใช้}$$

ตารางที่ 3.4 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

| ปริมาณ COD ในตัวอย่างน้ำ (mg/l) | ขนาดหลอดแก้ว (ml) | ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (ml) | สารละลาย ไดโครเมต (ml) | สารละลาย กรดซัลฟูริก (ml) | ปริมาตร ทั้งหมด (ml) |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| <40 | 16 × 100 | 2.5 | 1.5 | 3.5 | 7.5 |
| >40 | 20 × 150 | 5.0 | 3.0 | 7.0 | 15.0 |
| | 25 × 150 | 10.0 | 6.0 | 14.0 | 30.0 |

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ใส่น้ำตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเหมาะสม เติมสารละลายไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ในปริมาณที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.4 ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบบลงน้ำกลั่นแล้วทำเหมือนน้ำตัวอย่าง
2. นำหลอดแก้วใส่ตู้อบอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็น
3. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด แล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS สีของสารละลายจะค่อยๆเปลี่ยนจากเหลืองไปเป็นเขียวอมเหลืองไปเป็นฟ้าไปเป็นน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณ COD (mg/l)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาณตัวอย่างน้ำ(ml.)}}$$

- เมื่อ A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงก์
 B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ
 N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

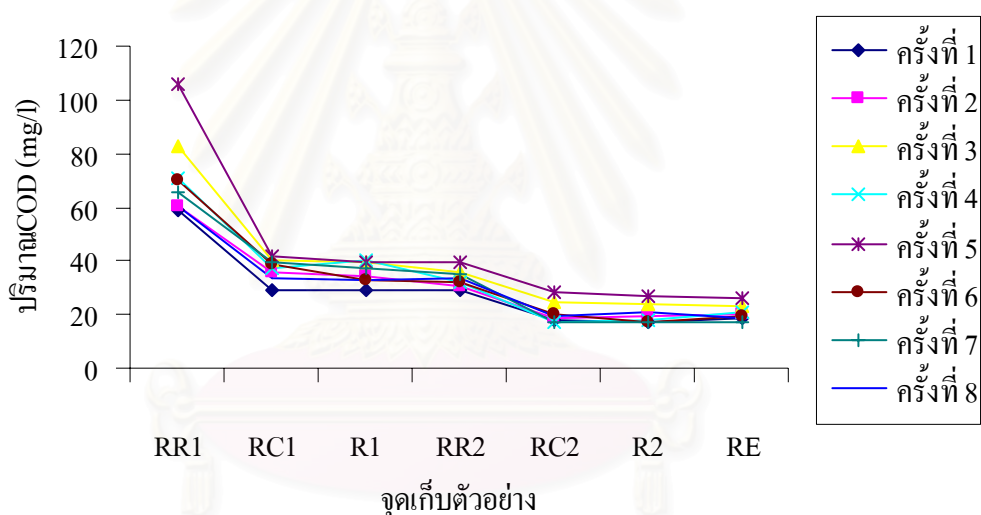
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสม PHA

4.1.1 COD

4.1.1.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์



รูปที่ 4.1 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

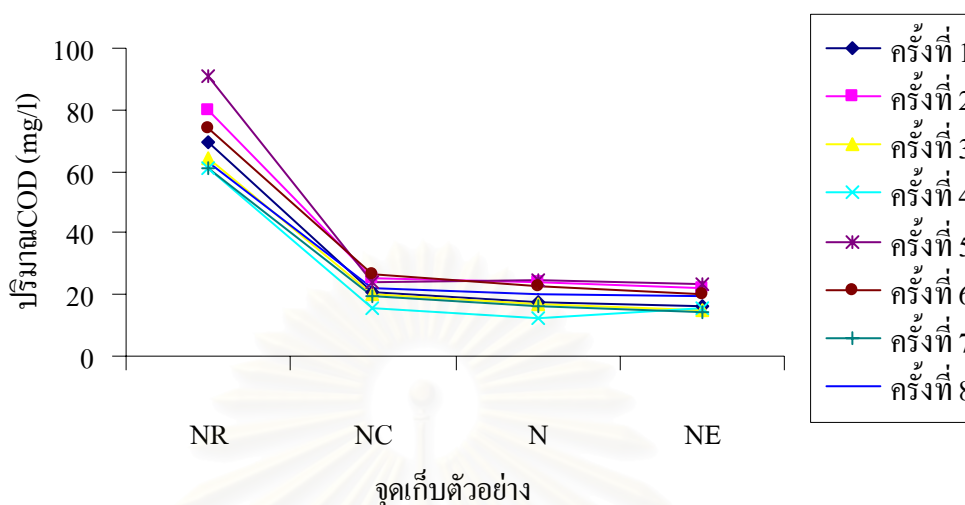
ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์เป็นแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์แบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) น้ำเสียก่อนเข้า reactor 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RR1) จะมีค่า COD ในน้ำใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ย 71.86 มก./ล. ยกเว้นการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 5 จะมีค่าสูงกว่าปกติคือ 105.87 มก./ล. เนื่องจากในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 5 มีเศษขยะปะปนอยู่ในน้ำมากและน้ำมีความขุ่นสีคล้ำมากกว่าปกติ จึงทำให้ค่า COD ในน้ำสูงกว่าทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง เมื่อน้ำเสียออกจากถังเดิมอากาศขั้นตอนที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RC1) มีค่า COD ลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 37.11 มก./ล. ส่วนในถังตกตะกอนระหว่างกลาง (จุดเก็บตัวอย่าง R1) มีค่าเฉลี่ย COD ไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.52 มก./ล. น้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอนขั้นที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RR2) มีค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ

33.16 มก./ล. ส่วน ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง RC2) ค่าเฉลี่ย COD ลดลงเหลือเพียง 19.96 มก./ล. ในถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (จุดเก็บตัวอย่าง R2) และในน้ำใสที่ไหลออกจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (จุดเก็บตัวอย่าง RE) ซึ่งเป็นน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ย COD ใกล้เคียงกันคือ 19.43 มก./ล. และ 20.45 มก./ล. ตามลำดับ ถึงปฏิกิริยาทั้ง 2 ขั้นทำให้ค่า COD ลดลงไปโดยเฉลี่ยคือ 51.41 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD โดยเฉลี่ยคือ 71.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ PHA เฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 ที่พบใน 8 ตัวอย่างเท่ากับ 0.149 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักากตะกอนแห้ง และระบบนี้มีการควบคุม MLSS ไว้ที่ 10082.820 มก./ล. ดังนั้นเมื่อ COD ลดลง 51.810 มก./ล. (ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor ขั้นที่1 (RR1) และน้ำในถังตกตะกอนขั้นที่2(R2)) จะมีการสะสม PHA 15.023 มก./ล.

4.1.1.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมเป็นแบบ Activated Sludge Process ค่า COD ของน้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง NR) อยู่ในช่วง 60.9-90.71 มก./ล. โดยเฉลี่ย 70.37 มก./ล. ส่วนน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง NC) มีค่าเฉลี่ย COD ลดลงเหลือเพียง 21.74 มก./ล. ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง N) และน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนหรือน้ำที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง NE) เท่ากับ 19.35 มก./ล. และ 18.35 มก./ล. ตามลำดับ ระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมนี้สามารถลดค่า COD ลงได้โดยเฉลี่ย 52.03 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD โดยเฉลี่ยคือ 73.97 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ PHA เฉลี่ยที่พบใน 8 ตัวอย่างเท่ากับ 0.184 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักากตะกอนแห้ง และระบบนี้มีการควบคุม MLSS ไว้ที่ 10107.77 มก./ล. ดังนั้นเมื่อ COD ลดลง 52.03 มก./ล. (ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor(NR) และน้ำในถังตกตะกอน(N)) จะมีการสะสม PHA 18.598 มก./ล.

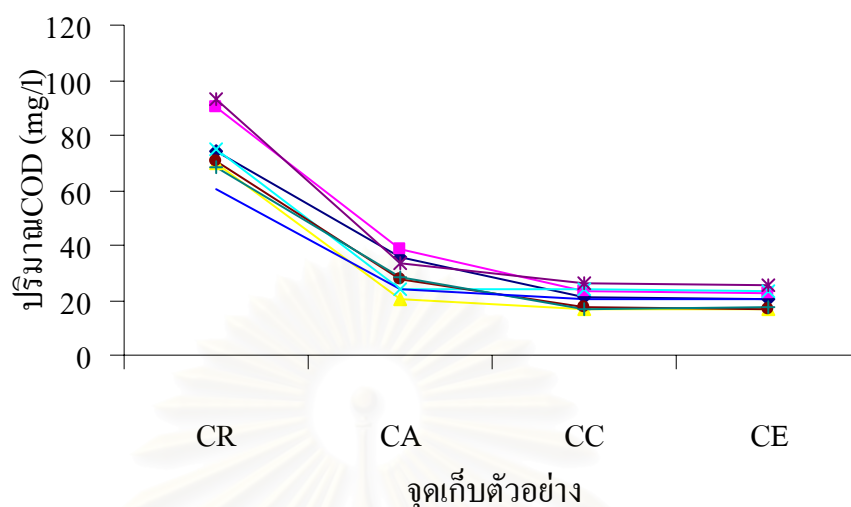
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแวม

4.1.1.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

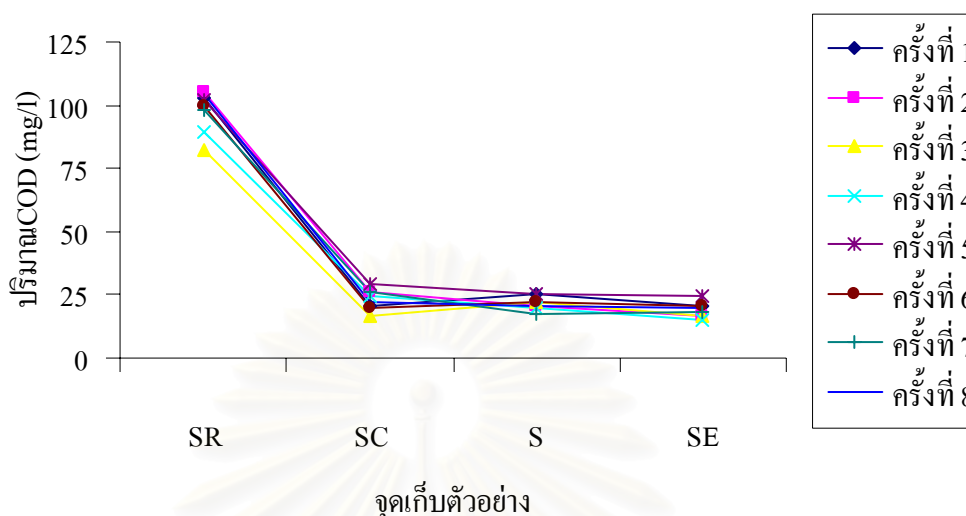
ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีเป็นแบบ Cyclic Activated Sludge System (CASS) น้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง CR) อยู่ในช่วง 60.53-93.38 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ย 75.28 มก./ล. ค่า COD ในช่วงน้ำที่ได้รับการเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง CA) ลดลงอยู่ในช่วง 23.68-38.60 มก./ล. หรือเฉลี่ย 28.94 มก./ล. ส่วนช่วงที่ 2 เมื่อมีการปล่อยให้ตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง CC) ค่า COD ลดลงเล็กน้อย โดยเฉลี่ย 20.75 มก./ล. เมื่อน้ำใสออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง CE) จะมีค่า COD ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง CC เฉลี่ย 20.29 มก./ล. ระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีนี้สามารถลดค่า COD ลงได้ 54.99 มก./ล. โดยเฉลี่ย หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD โดยเฉลี่ยคือ 72.92 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ PHA เฉลี่ยที่พบใน 8 ตัวอย่างเท่ากับ 0.198 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง และระบบนี้มีการควบคุม MLSS ไว้ที่ 10232.745 มก./ล. ดังนั้นเมื่อ COD ลดลง 54.99 มก./ล. (ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor(CR) และน้ำในถังตกตะกอน(CC)) จะมีการสะสม PHA 20.261 มก./ล.



รูปที่ 4.3 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

4.1.1.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาเป็นแบบ Contact Stabilization Activated Sludge น้ำเสียก่อนเข้า reactor ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (จุดเก็บตัวอย่าง SR) มีค่า COD อยู่ในช่วง 81.99-105.5 มก./ล. หรือเฉลี่ย 98.06 มก./ล. ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง SC) ลดลงเหลือเพียง 23.08 มก./ล. ส่วนน้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง S) และน้ำที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง SE) มีค่า COD ก่อนข้างจะคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ 21.52 มก./ล. และ 18.91 มก./ล. ตามลำดับระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาสามารถลดค่า COD ลงได้ 79.15 มก./ล. โดยเฉลี่ย หรือมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD โดยเฉลี่ยคือ 80.72 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ PHA เฉลี่ยที่พบใน 8 ตัวอย่างเท่ากับ 0.292 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักากตะกอนแห้ง และระบบนี้มีการควบคุม MLSS ไว้ที่ 10309.278 มก./ล. ดังนั้นเมื่อ COD ลดลง 79.15 มก./ล. (ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor (SR) และน้ำในถังตกตะกอน (S)) จะมีการสะสม PHA 30.103 มก./ล.



รูปที่ 4.4 ปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

4.1.1.5 วิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ค่า COD

โรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มีพื้นที่รับน้ำเสียแตกต่างกัน ทำให้ค่า COD น้ำก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง RR1, NR, CR, SR) แตกต่างกัน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศซึ่งแต่ละโรงจะมีลักษณะของถังแตกต่างกันแต่จะเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกัน คือปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรต จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ค่า COD ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง RC1, RC2, NC, CA, SC) ลดลง ต่อมาน้ำจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อทำการแยกน้ำใสออกจากตะกอน ดังนั้นค่า COD ก่อนข้างจะคงที่ ทั้งน้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง R1, R2, N, CC, S) และน้ำที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง RR2, RE, NE, CE, SE)

ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายลักษณะของถังปฏิกิริยาในแต่ละโรง โดยเริ่มจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบตกตะกอนสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) จึงมีการลดลงของค่า COD 2 ครั้งเนื่องจากมีถังปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยถังปฏิกิริยาขั้นที่ 1 จะมีการเติมอากาศถูกออกแบบมาให้สามารถรับภาระน้ำเสียต่อน้ำหนักตะกอนในสัดส่วนที่สูง และลดค่า COD ในจุดเก็บตัวอย่าง RC1 ได้มาก เมื่อน้ำเสียส่งไปยังถังปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ซึ่งเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีอากาศและทิ้งไร้อากาศ ในส่วนที่มีการเติมอากาศ จุลินทรีย์จะเปลี่ยนแอมโมเนียและไนโตรเจนในสารอินทรีย์ไปเป็นไนเตรต ส่วนของถังที่ไม่มีมีการเติมอากาศ จุลินทรีย์จะใช้ไนเตรตเพื่อการย่อย

สลายสารอินทรีย์แทนออกซิเจนและทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลดลง จึงทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในจุดเก็บตัวอย่าง RC2 ให้ลดลงอีกเล็กน้อย

โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมถึงปฏิบัติการมีการเติมอากาศเป็นแบบ Vertical Loop Reactors (VLR) ซึ่งมีลักษณะคล้ายระบบ Oxidation Ditch ที่มีการไหลเวียนของน้ำและเติมออกซิเจนในแนวนอน ขณะที่การไหลเวียนของน้ำเสียใน VLR เป็นแบบแนวตั้งไหลจากบนลงล่าง โดยตรงส่วนตรงกลางของถังปฏิบัติการจะมี baffle กันในแนวนอน ส่วนของถังปฏิบัติการถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนล่างของถัง จะมีเครื่องเติมอากาศด้วย fine bubble membrane และ ส่วนบนของถัง จะมีการเติมอากาศด้วย disc aerators

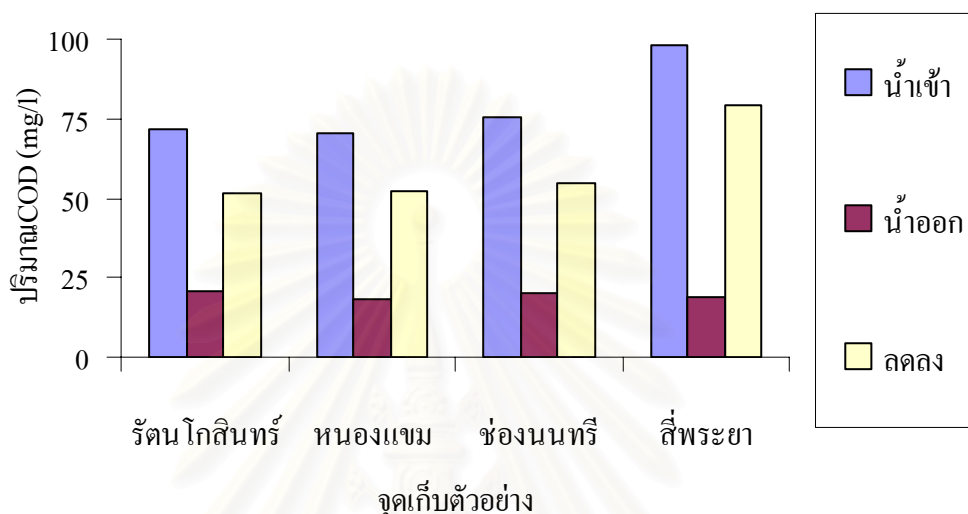
โรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีถึงปฏิบัติการจะเป็นแบบ CASS compartment การทำงานของถังจะทำงานแบบมีขั้นตอน (sequence batch) ซึ่งเริ่มจากสูบน้ำเข้าถังพร้อมกับการเติมอากาศ แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องเวลาของการเก็บตัวอย่างจึงพยายามเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงเวลาที่ทำการเติมอากาศเสร็จสิ้นมากที่สุดจึงทำให้ค่า COD อยู่ในช่วงที่กว้างกว่าโรงอื่นๆ ช่วงที่ 2 คือหยุดการเติมอากาศและปล่อยให้มีการตกตะกอน ซึ่งในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 ค่า COD ในจุดเก็บตัวอย่าง CA และ CC มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด แสดงว่าช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างในจุดเก็บตัวอย่าง CA ใกล้เคียงกับเวลาที่เติมอากาศเสร็จมากที่สุด ส่วนในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ในจุดเก็บตัวอย่าง CA และ CC มีค่าต่างกันมากที่สุด แสดงว่าช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างในจุดเก็บตัวอย่าง CA ต่างจากเวลาที่เติมอากาศเสร็จมากที่สุด ช่วงสุดท้ายคือปล่อยน้ำใสและตะกอนส่วนเกินออกจากถังทำให้จุดเก็บตัวอย่าง CE มีค่า COD ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง CC

และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาจะมีบ่อสัมผัส (contact tank) ทำหน้าที่เป็นถังเติมอากาศให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด สัมผัสจับหรือดูดซับสารอินทรีย์

4.1.1.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

พบว่า โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาที่มีปริมาณ COD ในน้ำเข้าสู่ระบบเฉลี่ย 98.06 มก./ล. ซึ่งค่อนข้างสูงกว่าโรงอื่นๆ ส่วนโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ หนองแขม และชองนนทรี มีค่า COD ก่อนเข้า reactor ใกล้เคียงกัน แต่ค่า COD ของน้ำที่ออกจากระบบของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.35-20.45 มก./ล. เนื่องจากเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ในด้านความสะอาด สามารถปล่อยออกสู่สาธารณะ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ส่วนโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่สามารถลดค่า COD ได้มากที่สุด คือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ซึ่งสามารถลดค่า COD ได้สูงโดยเฉลี่ย 79.15 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงที่สุดคือ

80.72 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ช่องนนตรี และสี่พระยา โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 73.97 มก./ล. 72.92 มก./ล. และ 71.10 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 โรงนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ไม่แตกต่างกันมากนัก

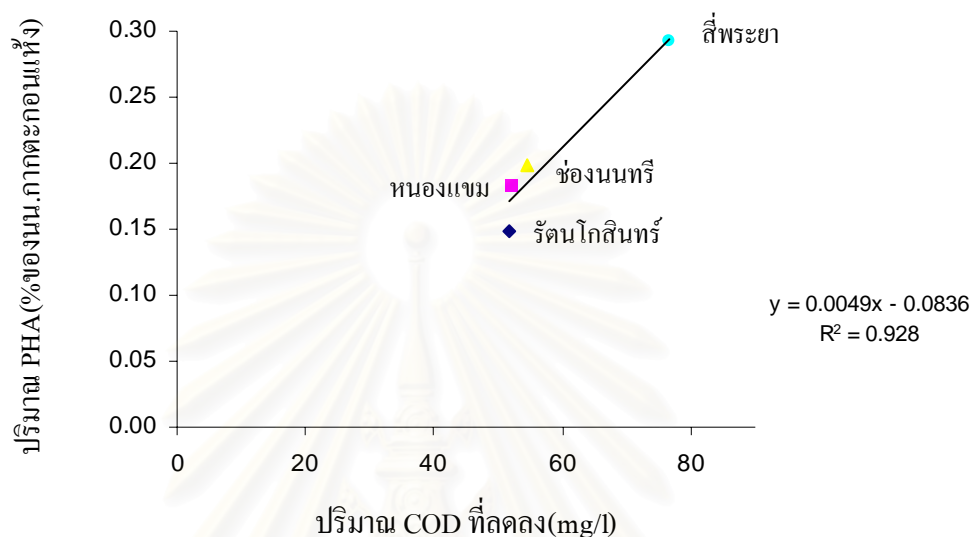


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

4.1.1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ ปริมาณ PHA

COD เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ สารอินทรีย์เหล่านี้เมื่อถูกย่อยสลายจะแปรสภาพเป็น simple organic molecules ซึ่งจุลินทรีย์จะนำเข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA ดังนั้นค่า COD จึงสามารถระบุถึง PHA ได้ จากรูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย PHA ที่สะสมในกากตะกอนจะแปรผันตามปริมาณ COD ที่ลดลง ดังสมการ $y = 0.0049x - 0.0836$ (เนื่องจาก PHA จะถูกสังเคราะห์ขึ้นขณะที่อยู่ในถังตกตะกอน ดังนั้นปริมาณ COD ที่ลดลงจะคิดจากส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor และน้ำในถังตกตะกอน ส่วนในโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีถังตกตะกอน 2 ใบ เมื่อพิจารณาทั้งระบบจึงใช้ค่า COD ของน้ำในถังตกตะกอนชั้นที่ 2 (R2) และใช้ค่า PHA ของถังตกตะกอนชั้นที่ 2 (RSR2)) จากผลการวิเคราะห์พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีการสะสม PHA ในกากตะกอนมากที่สุด รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนตรี โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ เพื่อพิจารณาจากค่า COD ที่ลดลงแล้วพบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีการลดลงของค่า COD มากที่สุดคือเฉลี่ย 76.540 มก./ล. รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนตรีเฉลี่ย 54.540 มก./ล. โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมเฉลี่ย 52.030 มก./ล. และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์เฉลี่ย 51.810 มก./ล. เช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษากลไกทางชีวภาพของอะซิเตดในระบบ anaerobic-aerobic

activated sludge ของ Arun และคณะ (2003) ที่พบว่า การสังเคราะห์ PHB จากกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณอะซิเตตและ COD ที่ถูกนำเข้าสู่เซลล์ ถ้ามีการนำ COD เข้าสู่เซลล์มากก็จะทำให้มีปริมาณการสะสม PHA ในกากตะกอนมาก



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ที่ลดลงและปริมาณ PHA

เมื่อทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนอัตราการสะสม PHA ต่อปริมาณ COD ที่ลดลง ดังตารางที่ 4.1 จะพบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยามีอัตราการสะสม PHA ต่อปริมาณ COD ที่ลดลงมากที่สุด ดังนั้นโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยาจึงมีประสิทธิภาพการสะสม PHA ในกากตะกอนสูงที่สุด รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่างนนทรี โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม และโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ตามลำดับ

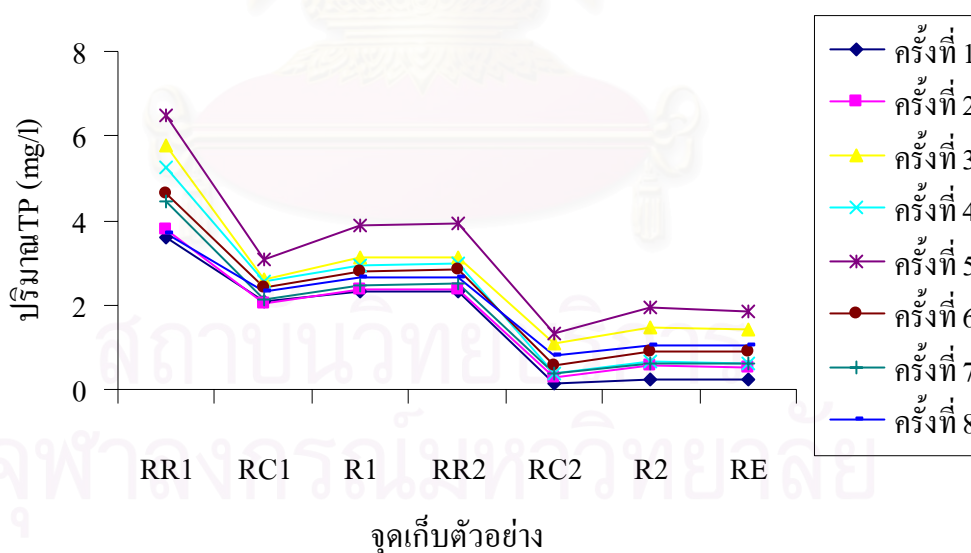
ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการสะสม PHA ต่อปริมาณ COD ที่ลดลง

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ปริมาณ COD ที่ลดลง (mg/l) | อัตราการสะสม PHA (mg/l) | อัตราการสะสม PHA ต่อ ปริมาณ COD ที่ลดลง |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|---|
| รัตนโกสินทร์ | 51.81 | 17.28 | 0.33 |
| หนองแขม | 52.03 | 18.61 | 0.36 |
| ช่างนนทรี | 54.54 | 20.16 | 0.37 |
| สีพระยา | 76.54 | 30.93 | 0.40 |

4.1.2 TP

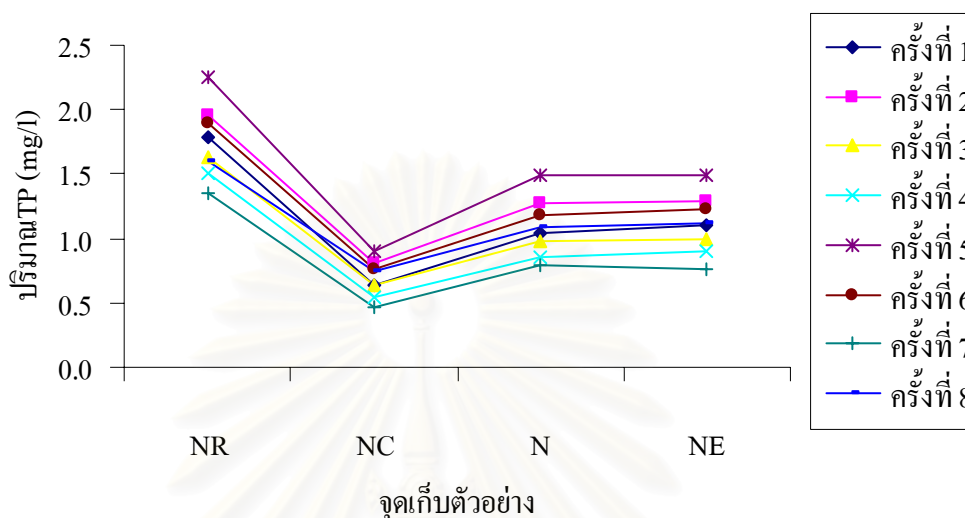
4.1.2.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

น้ำเสียก่อนเข้า reactor 1(จุดเก็บตัวอย่าง RR1) มีค่า TP อยู่ในช่วง 3.61-6.5 มก./ล. หรือเฉลี่ย 4.71 มก./ล. น้ำที่ออกจากถังเติมอากาศชั้นที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RC1) มีค่าเฉลี่ย TP ลดลงเหลือ 2.41 มก./ล. น้ำที่อยู่ในถังตกตะกอนระหว่างกลาง (จุดเก็บตัวอย่าง R1) มีค่าเฉลี่ย TP ในน้ำสูงขึ้นมาเล็กน้อยคือ 2.82 มก./ล. โดยมีค่า TP ที่เพิ่มขึ้น (R1-RC1) เฉลี่ย 0.41 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอนชั้นที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RR2) มีค่าเฉลี่ย TP ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย TP ของจุดเก็บตัวอย่าง R1 คือ 2.83 มก./ล. ค่า TP ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศชั้นที่ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง RC2) จึงมีค่าลดเฉลี่ย 0.62 มก./ล. ต่อมาน้ำและตะกอนจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (final clarifier) (จุดเก็บตัวอย่าง R2) จึงมีค่า TP ในน้ำสูงขึ้นมาเล็กน้อยเฉลี่ย 0.92 มก./ล. โดยมีค่า TP ที่เพิ่มขึ้น (R2-RC2) เฉลี่ย 0.30 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง RE) มีค่า TP ใกล้เคียงกับค่า TP ของจุดเก็บตัวอย่าง R2 คือเฉลี่ย 0.90 มก./ล. ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่า TP โดยเฉลี่ยคือ 81.70 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.7 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

4.1.2.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม



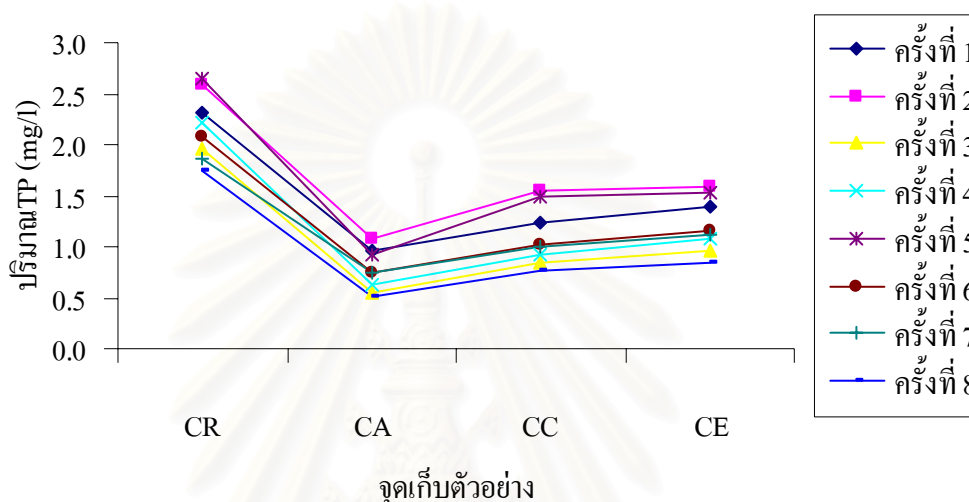
รูปที่ 4.8 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

น้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง NR) มีค่า TP อยู่ในช่วง 1.35-2.26 มก./ล. หรือเฉลี่ย 1.75 มก./ล. เมื่อน้ำเสียถูกส่งต่อไปยังถังเติมอากาศ (vertical loop reactor) ค่า TP ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง NC) ลดลงเหลือเพียง 0.69 มก./ล. โดยเฉลี่ย น้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง N) จึงมีค่า TP สูงขึ้นมาเล็กน้อยเฉลี่ย 1.09 มก./ล. โดยมีค่า TP ที่เพิ่มขึ้น (N-NC) เฉลี่ย 0.40 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง NE) มีค่า TP ใกล้เคียงกับค่า TP ของจุดเก็บตัวอย่าง N คือเฉลี่ย 1.11 มก./ล. ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมโดยเฉลี่ยคือ 36.78 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

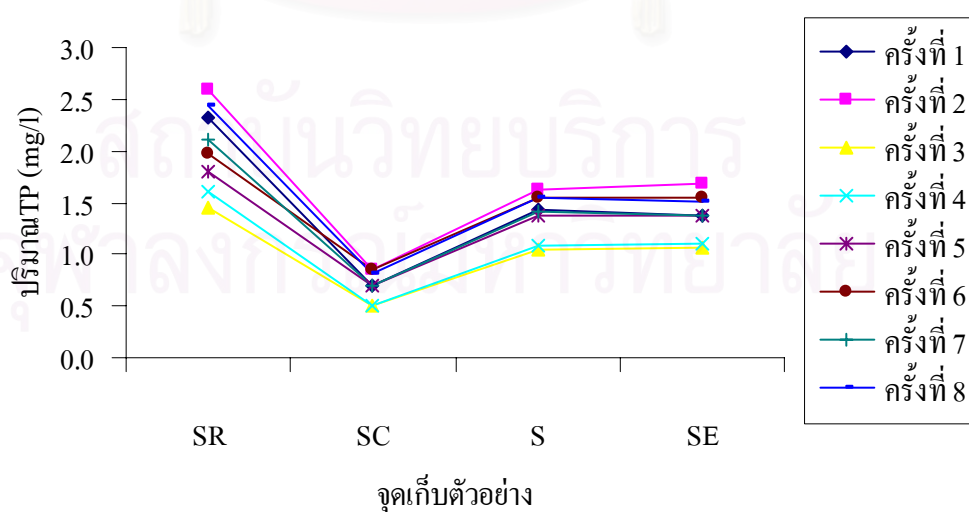
น้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง CR) มีค่า TP อยู่ในช่วง 1.75-2.64 มก./ล. หรือเฉลี่ย 2.18 มก./ล. เมื่อน้ำเสียถูกส่งต่อไปยัง CASS compartment โดยในขั้นตอนนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ช่วง ในช่วงแรกจะมีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ถังพร้อมกับการเติมอากาศจากกันถัง (จุดเก็บตัวอย่าง CA) ค่า TP ลดลงเหลือเพียง 0.77 มก./ล. แต่ค่า TP อาจมีการลดลงอีกเล็กน้อยเนื่องจากเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นเพียงเวลาที่ใกล้เคียงเวลาเติมอากาศเสร็จมากที่สุด เมื่อเข้าสู่ช่วงที่สองซึ่งไม่มีการเติมอากาศและปล่อยให้กากตะกอนจมตัวลงสู่กันถัง หรือในช่วงตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง CC) มีค่า TP ในน้ำสูงขึ้นมาเล็กน้อยเฉลี่ย 1.16 มก./ล. โดยมีค่า TP ที่เพิ่มขึ้น (CC-CA) เฉลี่ย 0.39 มก./ล. แต่ยังคงมีการ

เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเนื่องจากเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นเพียงเวลาที่ใกล้เคียงเวลาคักตะกอนเสร็จมากที่สุด และช่วงสุดท้ายคือการปล่อยน้ำใสออกจาก CASS compartment (จุดเก็บตัวอย่าง CE) ซึ่งค่า TP จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1.21 มก./ล. ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีโดยเฉลี่ยคือ 44.97 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.9 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

4.1.2.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา



รูปที่ 4.10 ปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

น้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง SR) มีค่า TP อยู่ในช่วง 1.46-2.59 มก./ล. หรือเฉลี่ย 2.04 มก./ล. เมื่อน้ำเสียถูกส่งต่อไปยังถังเติมอากาศ (contact tank) ค่า TP ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง SC) ลดลงเหลือเพียง 0.70 มก./ล. ต่อมาน้ำและกากตะกอนจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอน (clarifier tank) น้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง S) จึงมีค่า TP ในน้ำสูงขึ้นเล็กน้อยเฉลี่ย 1.38 มก./ล. โดยมีค่า TP ที่เพิ่มขึ้น (S-SC) เฉลี่ย 0.68 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง SE) มีค่า TP ใกล้เคียงกับค่า TP ของจุดเก็บตัวอย่าง S คือเฉลี่ย 1.38 มก./ล. ส่วนประสิทธิภาพในการลดค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาโดยเฉลี่ยคือ 31.57 เปอร์เซ็นต์

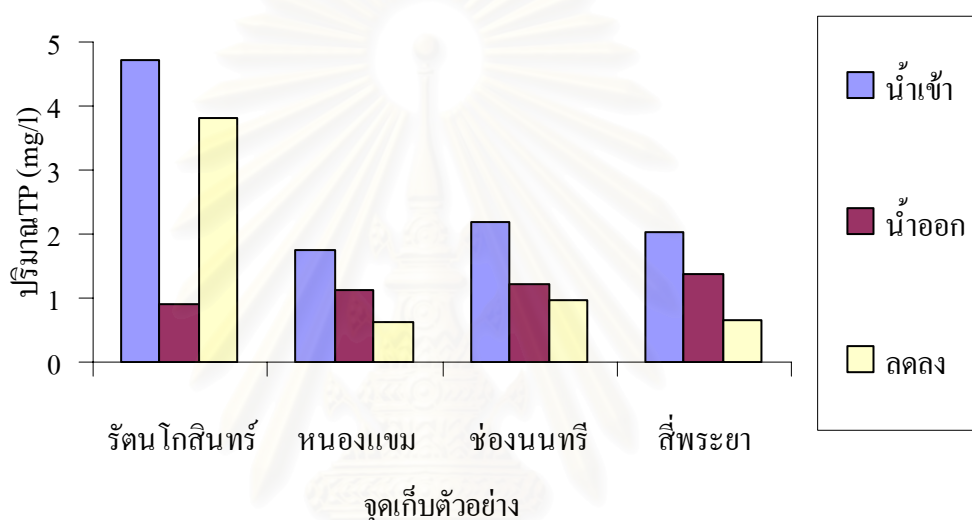
4.1.2.5 วิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ค่า TP

โรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มีพื้นที่รับน้ำเสียแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ที่มีปริมาณและความหนาแน่นของบ้านเรือนต่างกัน จึงมีผลทำให้ค่า TP ในน้ำก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง RR1, NR, CR, SR) แตกต่างกัน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศจะมีการเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ในสภาวะนี้จุลินทรีย์ จะย่อยสลาย PHA เพื่อให้ได้พลังงานไปใช้ในการดึงฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์แล้วเก็บสะสมไว้ในรูปของโพลีฟอสเฟต ดังนั้นค่า TP ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง RC1, RC2, NC, CA, SC) จึงลดลง ต่อมาน้ำและกากตะกอนจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอน ในถังนี้จุลินทรีย์จะเริ่มย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในการดึง simple organic molecules เข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA ดังนั้นน้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง R1, R2, N, CC, S) จึงมีค่า TP ในน้ำสูงขึ้น ส่วนน้ำใสที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง RR2, RE, NE, CE, SE) มีค่า TP ใกล้เคียงกับค่า TP ของน้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน

4.1.2.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีปริมาณ TP ในน้ำก่อนเข้า reactor สูงที่สุดเฉลี่ย 4.71 มก./ล. ซึ่งอีก 3 โรงที่เหลือมีค่า TP ในน้ำก่อนเข้า reactor ใกล้เคียงกันประมาณ 2 มก./ล. เทียบแล้วโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีปริมาณ TP ในน้ำมากกว่าโรงอื่นๆ ถึง 2 เท่า แต่ปริมาณ TP ในน้ำที่ออกจากระบบของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.90-1.38 มก./ล. โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีปริมาณ TP ในน้ำที่ออกจากระบบเฉลี่ยน้อยกว่าโรงอื่น ทั้งที่มีปริมาณ TP ในน้ำก่อนเข้า reactor สูงที่สุด เฉลี่ยแล้วสามารถลด TP ได้สูงถึง 3.81 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงถึง 81.70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์เป็นแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์แบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) ซึ่งเป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อรองรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สูง โดยผ่านถึงปฏิกิริยา 2 ครั้ง

ซึ่งถังเติมอากาศชั้นที่ 1 เป็นถังปฏิบัติการแบบมีอากาศ ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดไปส่วนหนึ่ง ฟอสฟอรัสที่เหลือจะถูกบำบัดต่อในถังเติมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นถังปฏิบัติการแบบมีอากาศและกึ่งไร้อากาศ ดังนั้นจึงทำให้สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้สูงกว่าโรงบำบัดอื่น โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำ ช่งนันทรีมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสรองจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด 44.97 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมและสี่พระยาซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด 36.78 เปอร์เซ็นต์และ 31.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

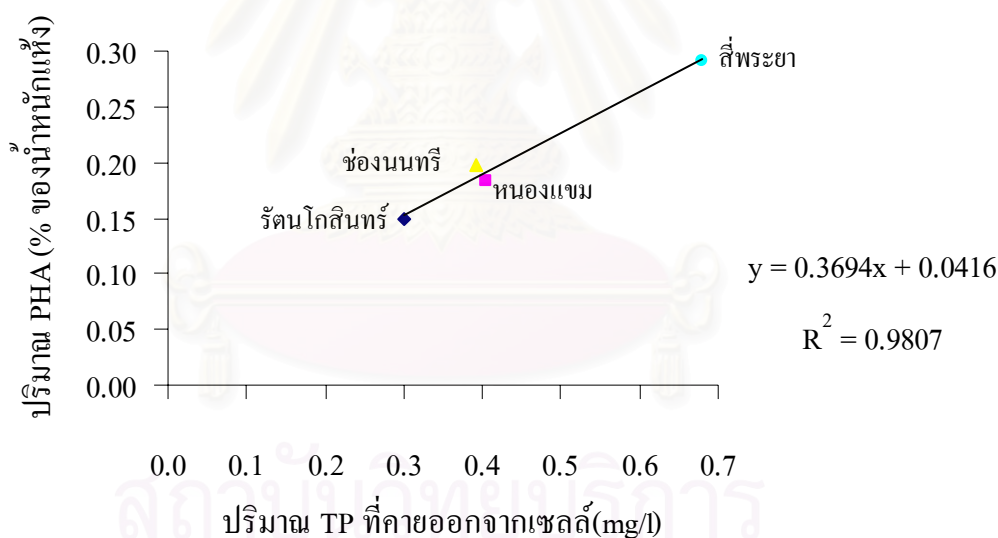


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

4.1.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TP และปริมาณ PHA

ฟอสฟอรัสจะมีกระบวนการย่อยสลายและสังเคราะห์ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับ PHA โดยในสภาวะแอโรบิกและแอนอ็อกซิกหรือในขณะที่อยู่ในถังปฏิบัติการ PHA จะถูกย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการนำฟอสเฟตมาเก็บสะสมในเซลล์ในรูปของโพลีฟอสเฟต ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำจึงมีค่าลดลง ส่วนในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือในถังตกตะกอนโพลีฟอสเฟตจะถูกย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการดั่งสารอาหารมาเก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ PHA และปล่อยฟอสเฟตออกจากเซลล์ ซึ่งส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนและน้ำในถังตกตะกอนจะแสดงถึงปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกคายออกจากเซลล์เมื่ออยู่ในถังตกตะกอน โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา มีการคายของฟอสฟอรัสมากที่สุดคือเฉลี่ย 0.680 มก./ล. รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมเฉลี่ย 0.404 มก./ล. โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่งนันทรีเฉลี่ย 0.391 มก./ล. และโรงควบคุมคุณภาพ

น้ำรัตนโกสินทร์เฉลี่ย 0.300 มก./ล. (เนื่องจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีถังตกตะกอน 2 ใบ เมื่อพิจารณาทั้งระบบจึงใช้ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนขั้นที่ 2 (RC2) และน้ำในถังตกตะกอนขั้นที่ 2 (R2)) ส่วนการสะสม PHA ในกากตะกอนที่มีปริมาณมากที่สุดคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาเฉลี่ย 0.292% ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีเฉลี่ย 0.198 % ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมเฉลี่ย 0.184 % ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์เฉลี่ย 0.149 % ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2) ดังนั้นจากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกคายออกมาจากเซลล์ จะแปรผันตรงกับปริมาณ PHA ที่สะสมในเซลล์จุลินทรีย์หรือในกากตะกอนนั่นเอง ดังสมการ $y = 0.3694x + 0.0416$ จากรูปที่ 4.12 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา กลไกการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสในสภาวะแอโรบิกและแอนแอโรบิกของ Somiya และคณะ (1998) พบว่าการปลดปล่อยของฟอสฟอรัสภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกมีความสัมพันธ์กับการนำสารอาหารจากภายนอกเซลล์มาสร้างเป็น PHB สะสมไว้ในเซลล์



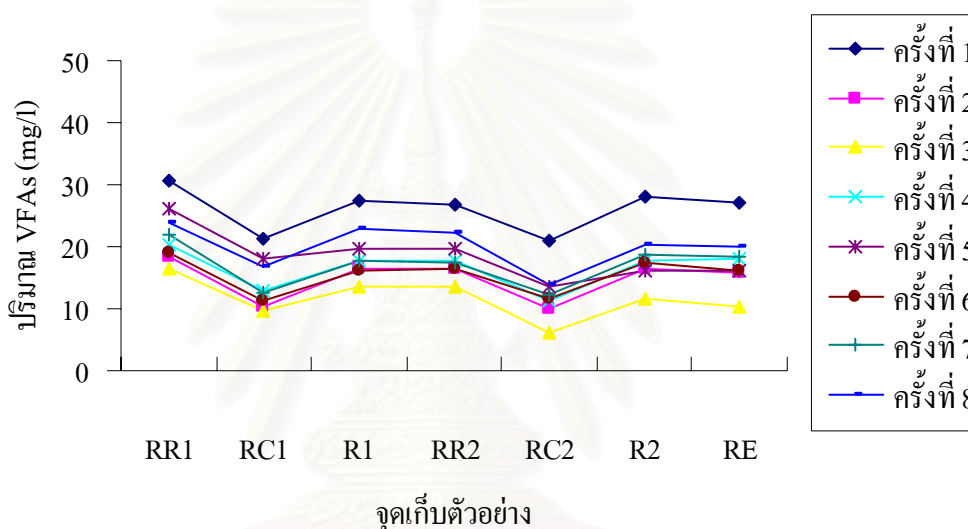
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TP ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณ PHA

4.1.3 VFAs

4.1.3.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

น้ำเสียก่อนเข้า Reactor 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RR1) มีค่า VFAs อยู่ในช่วง 16.40-30.60 มก. /ล. หรือเฉลี่ย 22.08 มก./ล. ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศขั้นที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RC1) มีค่า VFAs เฉลี่ย

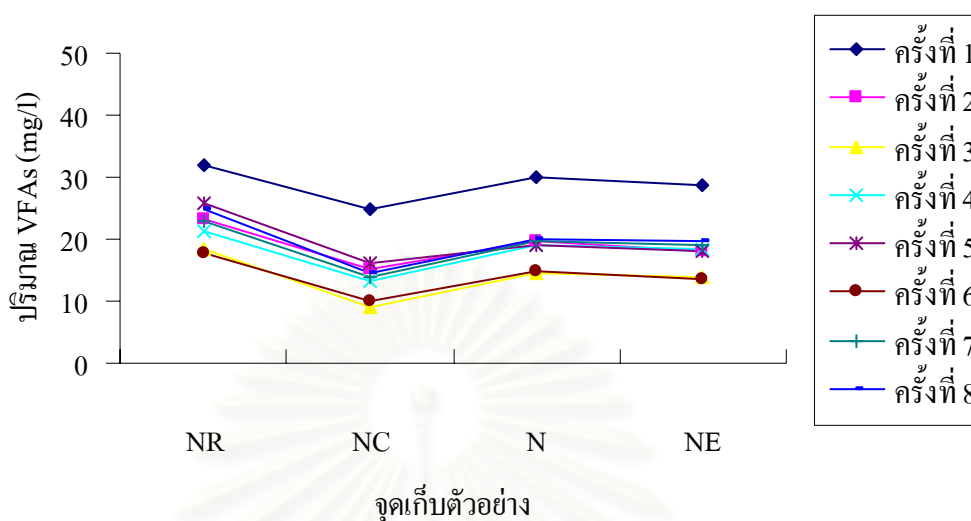
14.11 มก./ล. น้ำที่อยู่ในถังตกตะกอนชั้นที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง R1) จึงมีค่า VFAs ในน้ำสูงขึ้นเฉลี่ย 18.95 มก./ล. ผลต่างของค่า VFAs ในจุดเก็บตัวอย่าง R1 และ RC1 (R1-RC1) เฉลี่ย 4.84 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอนชั้นที่ 1 (จุดเก็บตัวอย่าง RR2) มีค่า VFAs ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง R1 คือเฉลี่ย 18.75 มก./ล. ค่า VFAs ในน้ำที่ออกจากถังเดิมอากาศชั้นที่ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง RC2) มีค่าเฉลี่ย 12.42 มก./ล. ส่วนน้ำในถังตกตะกอนชั้นที่ 2 (R2) มีค่าเฉลี่ย 18.30 มก./ล. ผลต่างของค่า VFAs ในจุดเก็บตัวอย่าง R2 และ RC2 (R2-RC2) เฉลี่ย 5.88 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง RE) มีค่า VFAs ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง R2 คือเฉลี่ย 17.74 มก./ล.



รูปที่ 4.13 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

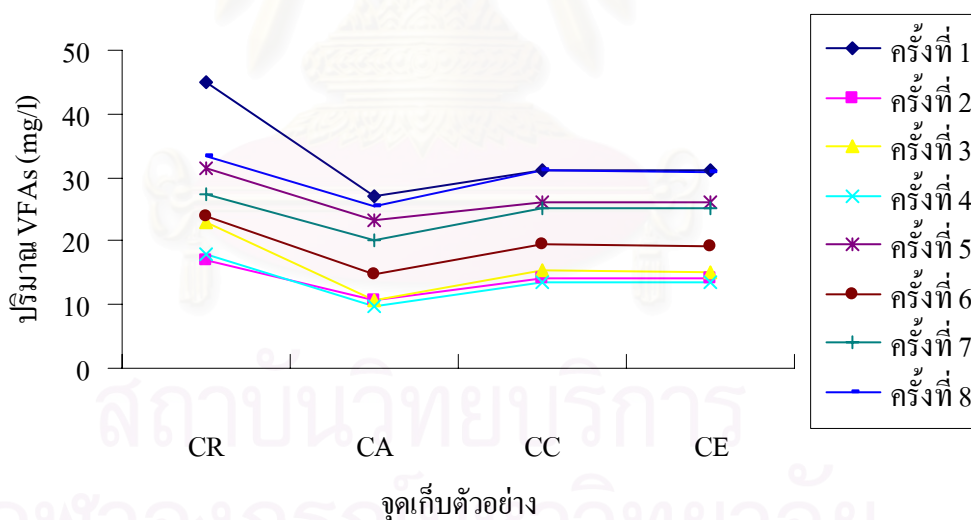
4.1.3.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

น้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง NR) มีค่า VFAs อยู่ในช่วง 17.76-31.80 มก./ล. หรือเฉลี่ย 23.29 มก./ล. ส่วนค่าเฉลี่ย VFAs ในน้ำที่ออกจากถังเดิมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง NC) ลดลงเหลือ 14.57 มก./ล. น้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง N) จึงมีค่า VFAs ในน้ำสูงขึ้นเฉลี่ย 19.59 มก./ล. ผลต่างของค่า VFAs ในจุดเก็บตัวอย่าง N และ NC (N-NC) เฉลี่ย 5.02 มก./ล. ส่วนน้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง NE) มีค่า VFAs ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง N คือเฉลี่ย 18.70 มก./ล.



รูปที่ 4.14 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

4.1.3.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี



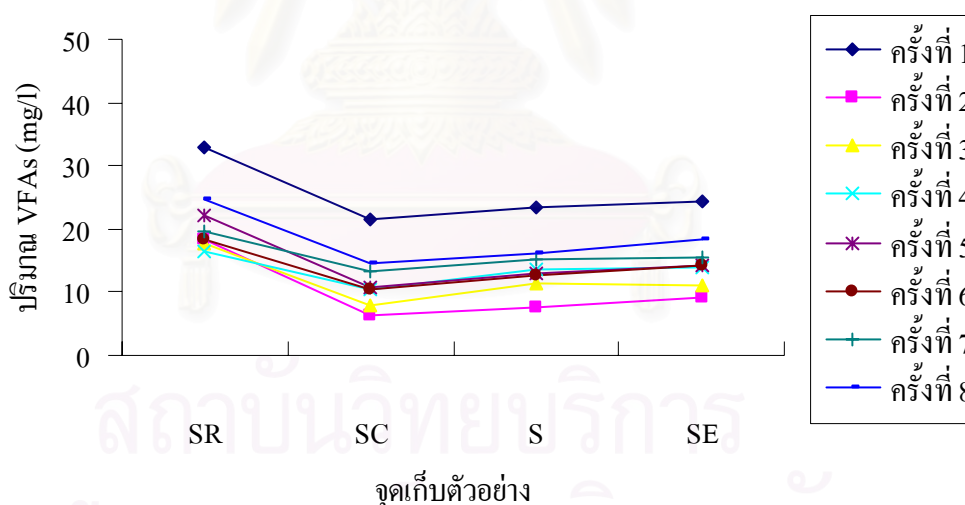
รูปที่ 4.15 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

น้ำเสียก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง CR) มีค่า VFAs อยู่ในช่วง 16.96-45.02 มก./ล. หรือเฉลี่ย 27.39 มก./ล. เมื่อน้ำเสียถูกส่งต่อไปยัง CASS compartment โดยในขั้นนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ช่วง ในช่วงแรกคือช่วงเติมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง CA) ค่าเฉลี่ย VFAs ลดลงเหลือเพียง 17.72 มก./ล. แต่ค่า VFAs อาจมีการลดลงอีกเล็กน้อยเนื่องจากเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นเพียงเวลาที่

ใกล้เคียงเวลาเดิมอากาศเสร็จมากที่สุด เมื่อเข้าสู่ช่วงที่สองคือช่วงตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง CC) จึงมีค่า VFAs ในน้ำสูงขึ้นมาเล็กน้อยเฉลี่ย 22.04 มก./ล. ส่วนผลต่างของค่า VFAs ในจุดเก็บตัวอย่าง CC และ CA (CC-CA) เฉลี่ย 4.33 มก./ล. แต่ผลต่างนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเนื่องจากเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นเพียงเวลาที่ใกล้เคียงเวลาตกตะกอนเสร็จมากที่สุด และช่วงสุดท้ายคือการปล่อยน้ำใสออกจาก CASS Compartment (จุดเก็บตัวอย่าง CE) มีค่า VFAs ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง CC คือเฉลี่ย 21.90 มก./ล.

4.1.3.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

น้ำเสียก่อนเข้า Reactor (จุดเก็บตัวอย่าง SR) มีค่า VFAs อยู่ในช่วง 16.56-32.81 มก./ล. หรือเฉลี่ย 21.25 มก./ล. ในน้ำที่ออกจากถังเดิมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง SC) มีค่าเฉลี่ย VFAs ลดลงเหลือเพียง 11.87 มก./ล. น้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง S) มีค่า VFAs ในน้ำสูงขึ้นเฉลี่ย 14.08 มก./ล. ส่วนผลต่างของค่า VFAs ในจุดเก็บตัวอย่าง S และ SC (S-SC) เฉลี่ย 2.22 มก./ล. น้ำใสที่ออกจากถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง SE) มีค่า VFAs เฉลี่ย 15.13 มก./ล.



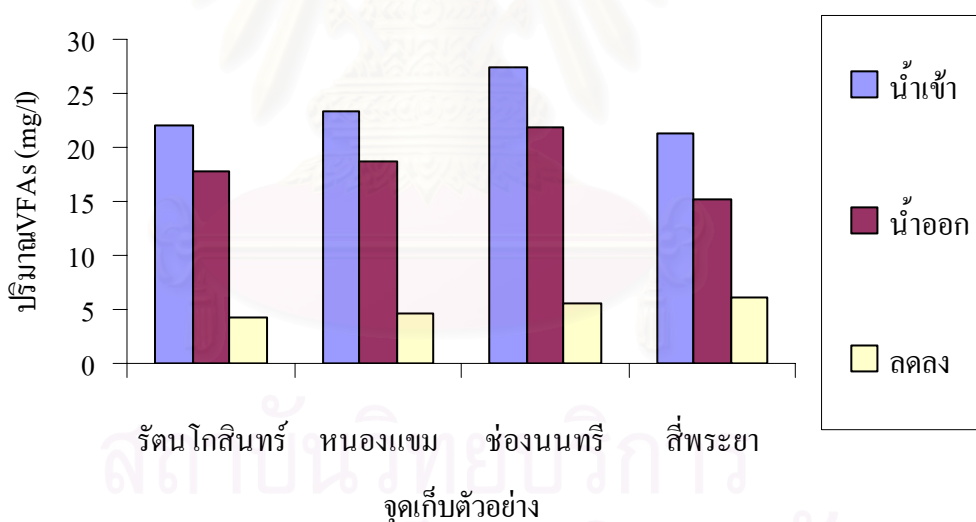
รูปที่ 4.16 ปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

4.1.3.5 วิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ค่า VFAs

โรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มีพื้นที่รับน้ำเสียแตกต่างกัน ทำให้ค่า VFAs ในน้ำก่อนเข้า reactor (จุดเก็บตัวอย่าง RR1, NR, CR, SR) แตกต่างกัน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังเดิมอากาศ VFAs บางส่วนจะระเหยไปกับอากาศที่ถูกเติมลงในถัง ดังนั้นค่า VFAs ในน้ำที่ออกจากถังเดิมอากาศ (จุดเก็บตัวอย่าง

RC1, RC2, NC, CA, SC) จึงลดลง ต่อมน้ำและกากตะกอนจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอน (clarifier tank) ซึ่งไม่มีการเติมอากาศ จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสารประกอบโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กลง เพื่อนำผลผลิตที่ได้ไปใช้ในการสร้างกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) และนำไปใช้เป็น simple organic molecules เพื่อผลิต PHA ดังนั้นน้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง R1, R2, N, CC, S) จึงมีค่า VFAs ในน้ำสูงขึ้น โดย VFAs ที่เพิ่มขึ้นนี้จะเป็นปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็น PHA ของจุลินทรีย์ถ้ามีปริมาณ VFAs เหลืออยู่น้อยแสดงว่าจุลินทรีย์นำ VFAs ไปใช้ผลิตเป็น PHA มาก แต่ถ้ามีปริมาณ VFAs เหลืออยู่มากแสดงว่าจุลินทรีย์นำ VFAs ไปใช้ผลิตเป็น PHA น้อย โดยผลต่างของค่า VFAs ในน้ำที่ออกจากถังเติมอากาศและในน้ำที่ออกจากถังตกตะกอน (R1-RC1, R2-RC2, N-NC, CA-CC, S-SE) คือค่า VFAs ที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็น PHA ส่วนน้ำใสที่ออกจากระบบ (จุดเก็บตัวอย่าง RR2, RE, NE, CE, SE) มีค่า TP ใกล้เคียงกับค่า TP ของน้ำที่อยู่ในถังตกตะกอน

4.1.3.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง



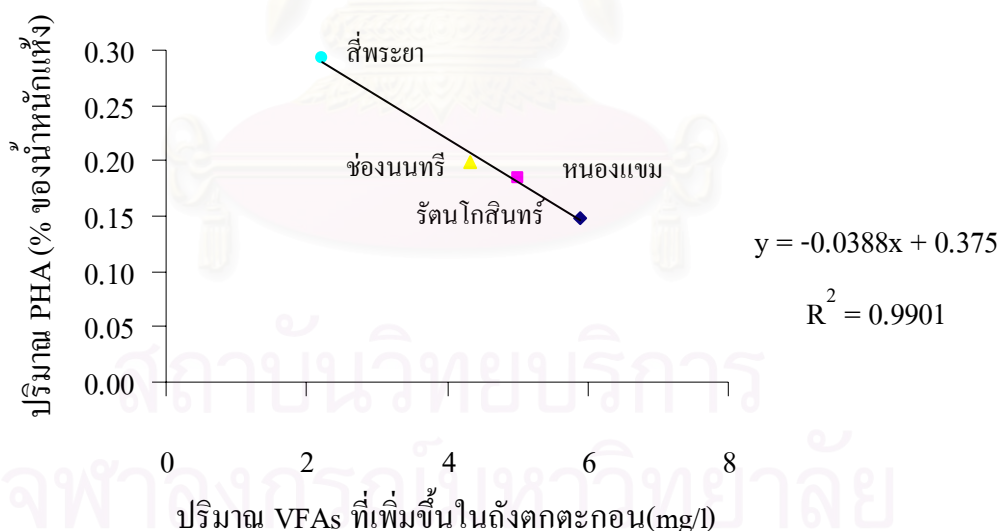
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีมีปริมาณ VFAs ในน้ำก่อนเข้า reactor สูงที่สุดเฉลี่ย 27.39 มก./ล. ส่วนอีก 3 โรงที่เหลือมีค่า VFAs ก่อนเข้า reactor ใกล้เคียงกัน คือโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมมีปริมาณ VFAs 23.29 มก./ล. รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีปริมาณ VFAs 22.08 มก./ล. สุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาซึ่งมีปริมาณ VFAs 21.25 มก./ล. ส่วนปริมาณ VFAs ที่ออกจากระบบจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีมีปริมาณ VFAs ในน้ำที่ออก

จากระบบสูงที่สุดเฉลี่ย 21.90 มก./ล. รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมมีปริมาณ VFAs 18.70 มก./ล. รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีปริมาณ VFAs 17.74 มก./ล. สุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาซึ่งมีปริมาณ VFAs ที่ออกจากระบบ 15.13 มก./ล. สังเกตได้ว่าความแตกต่างระหว่างค่า VFAs ในน้ำก่อนเข้า reactor และค่า VFAs ของน้ำที่ออกจากระบบในแต่ละโรงมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFAs และปริมาณ PHA

ในสภาวะไร้อากาศ จุลินทรีย์จะนำสารประกอบโมเลกุลเล็กไปใช้ในการสร้างกรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว กรดไขมันระเหยง่ายนี้จัดเป็น simple organic molecules สำหรับผลิต PHA ดังนั้นปริมาณ VFAs ที่เพิ่มขึ้นในถังตกตะกอน (ผลต่างระหว่าง VFAs ของน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนและน้ำในถังตกตะกอน) จะเป็นปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็น PHA ของจุลินทรีย์ถ้ามีปริมาณ VFAs เหลืออยู่น้อย แสดงว่าจุลินทรีย์นำ VFAs ไปใช้ผลิตเป็น PHA มาก แต่ถ้ามีปริมาณ VFAs เหลืออยู่มากแสดงว่าจุลินทรีย์นำ VFAs ไปใช้ผลิตเป็น PHA น้อย



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFAs ที่เพิ่มขึ้นในถังตกตะกอนและปริมาณ PHA

จากข้อมูลในข้อ 4.1.3.1 ถึง 4.1.3.4 พบว่า VFAs ที่เพิ่มขึ้นขณะอยู่ในถังตกตะกอน จะแปรผกผันกับปริมาณ PHA ที่สะสมได้ในกากตะกอน ดังสมการ $y = -0.0388x + 0.375$ จากรูปที่ 4.18 โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีปริมาณ VFAs เฉลี่ยที่สังเคราะห์ได้ขณะอยู่ในถังตกตะกอน

น้อยที่สุดเฉลี่ย 2.218 มก./ล. แต่มีค่าเฉลี่ย PHA ที่สะสมในกากตะกอนมากที่สุด ส่วนโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีปริมาณ VFAs เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นขณะอยู่ในถังตกตะกอนมากที่สุดเฉลี่ย 5.883 มก./ล. (เนื่องจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีถังตกตะกอน 2 ใบ เมื่อพิจารณาทั้งระบบจึงใช้ส่วนต่างของค่า VFAs ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนขั้นที่ 2 (RC2) และน้ำในถังตกตะกอนขั้นที่ 2(R2)) แต่มีค่าเฉลี่ย PHA ที่สะสมในกากตะกอนน้อยที่สุด แสดงว่าจุลินทรีย์มีการนำ VFAs ไปใช้ในการสังเคราะห์ PHA ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Doi และคณะ (1987) ที่พบว่าจุลินทรีย์สามารถนำกรดไขมันระเหยง่ายมาใช้ในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันไปเป็น PHA ได้

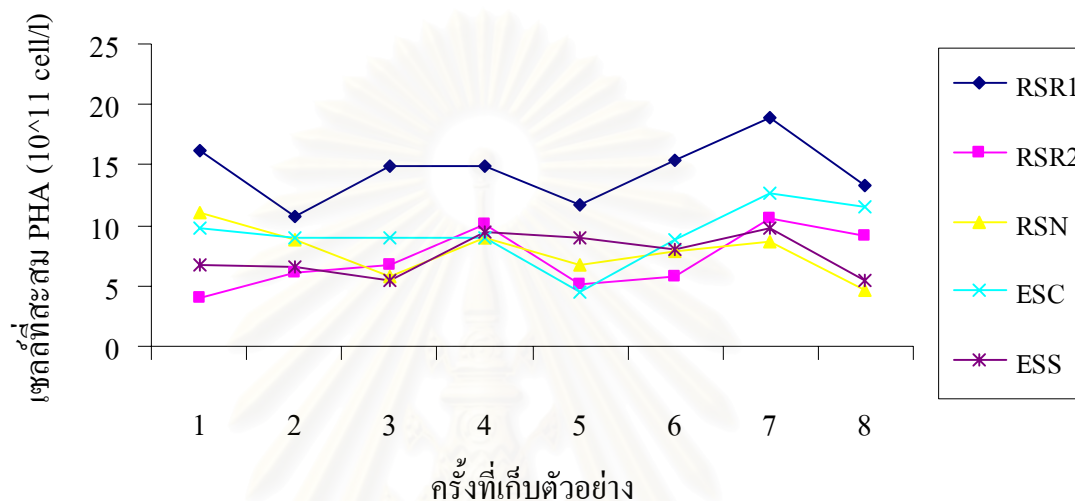
4.1.4 กลูโคส

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสในกากตะกอน (จุดเก็บตัวอย่าง ESR1, ESR2, ESN, ESC และ ESS) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 แห่ง ปรากฏว่าปริมาณกลูโคสนี้น้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะถูกเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาย่อยสลายจนขนาดของโมเลกุลเล็กลง เช่นกลูโคส แต่สารที่มีขนาดเล็กนั้นไม่ได้มีแต่กลูโคสเพียงชนิดเดียว ดังนั้นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเป็นกลูโคสนั้นจึงมีปริมาณน้อย และในถังตกตะกอนเมื่อออกซิเจนลดลง สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์ PHA อย่างรวดเร็วเพื่อสะสมเป็นแหล่งพลังงานภายในเซลล์ ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสได้

4.1.5 จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์เป็นแบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) ซึ่งน้ำเสียจะต้องผ่านถังปฏิกริยาถึง 2 ครั้งและผ่านถังตกตะกอน 2 ครั้ง ดังนั้นจึงมีกากตะกอนส่วนเกินออกมาจากถังตกตะกอนทั้ง 2 ครั้ง กากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนระหว่างกลาง (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง 10.71×10^{11} - 18.85×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 14.49×10^{11} เซลล์/ลิตร โดยการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.56 ส่วนกากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง 4.02×10^{11} - 10.54×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 7.15×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.42 จากรูปที่ 4.19 พบว่าจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 และ RSR2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 มากกว่าของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 เกือบ 2 เท่า เนื่องจากจำนวนถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายมีมากกว่าถังตกตะกอนระหว่างกลางถึง 2 เท่า (ถังเดิมอากาศขั้นที่ 1 มี 2 ถัง แต่ถังส่งต่อไปยัง ถังตกตะกอนระหว่างกลางซึ่งมี 2 ถังเช่นกัน และถังตกตะกอนระหว่าง

กลางแต่ละถังจะส่งต่อไปยังถังเติมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งมี 2 ถังเช่นกัน แต่เมื่อถังเติมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งมี 2 ถังถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายมี 4 ถัง) ดังนั้นจึงทำให้และปริมาณของกากตะกอนในถังตกตะกอนระหว่างกลางมีปริมาณมากกว่าในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายถึง 2 เท่าเช่นกัน ทำให้จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 มากกว่าของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 เกือบ 2 เท่า



รูปที่ 4.19 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (จุดเก็บตัวอย่าง RSN) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง 4.57×10^{11} - 11.02×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 7.81×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.04

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี (จุดเก็บตัวอย่าง ESC) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง 4.49×10^{11} - 12.70×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 9.31×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.41

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (จุดเก็บตัวอย่าง ESS) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง 5.50×10^{11} - 9.81×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 7.58×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.75

จากการวิเคราะห์ ส่วนใหญ่จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA จะอยู่ในช่วง 4.02×10^{11} - 18.85×10^{11} เซลล์/ลิตร โดยแนวโน้มจะอยู่ในช่วง 8×10^{11} เซลล์/ลิตร ยกเว้น RSR1 ซึ่งพบว่ามีจำนวนเซลล์เฉลี่ย 14.49×10^{11} เซลล์/ลิตร

จุดเก็บตัวอย่าง RSR1 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA สูงที่สุด รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี และโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา สุดท้ายคือจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ซึ่ง 3 โรงหลังนี้มีจำนวนใกล้เคียงกัน

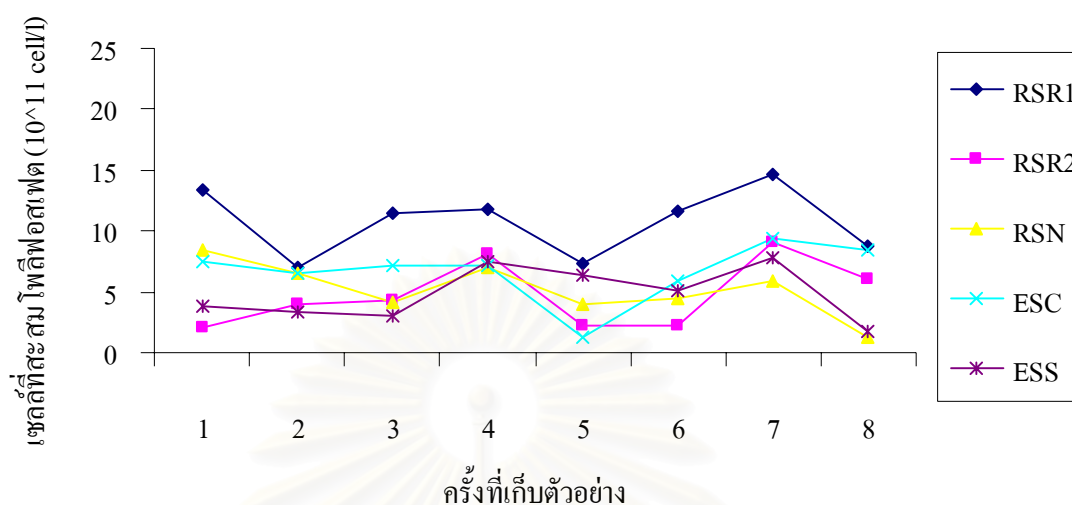
4.1.6 จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

กากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนระหว่างกลาง (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1) มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง 7.02×10^{11} - 14.58×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 10.72×10^{11} เซลล์/ลิตร โดยการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตมีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.76 ส่วนกากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2) มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง 2.08×10^{11} - 9.04×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 4.75×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.72 จากรูปที่ 4.20 พบว่าจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 และ RSR2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 มากกว่าของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 ประมาณ 2 เท่า เนื่องจากจำนวนถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายมีมากกว่าถังตกตะกอนระหว่างกลางถึง 2 เท่า (ถังเดิมอากาศชั้นที่ 1 มี 2 ถัง แต่ละถังส่งต่อไปยัง ถังตกตะกอนระหว่างกลางซึ่งมี 2 ถังเช่นกัน และถังตกตะกอนระหว่างกลางแต่ละถังจะส่งต่อไปยังถังเดิมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งมี 2 ถังเช่นกัน แต่เมื่อถังเดิมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งมี 2 ถังถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายมี 4 ถัง) ดังนั้นจึงทำให้และปริมาณของกากตะกอนในถังตกตะกอนระหว่างกลางมีปริมาณมากกว่าในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายถึง 2 เท่าเช่นกัน ทำให้จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 มากกว่าของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 ประมาณ 2 เท่า

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (จุดเก็บตัวอย่าง RSN) มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง 1.30×10^{11} - 8.43×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 5.22×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.21

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี (จุดเก็บตัวอย่าง ESC) มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง 1.35×10^{11} - 9.40×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 6.68×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.42

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (จุดเก็บตัวอย่าง ESS) มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง 1.70×10^{11} - 7.77×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 4.83×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.21



รูปที่ 4.20 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

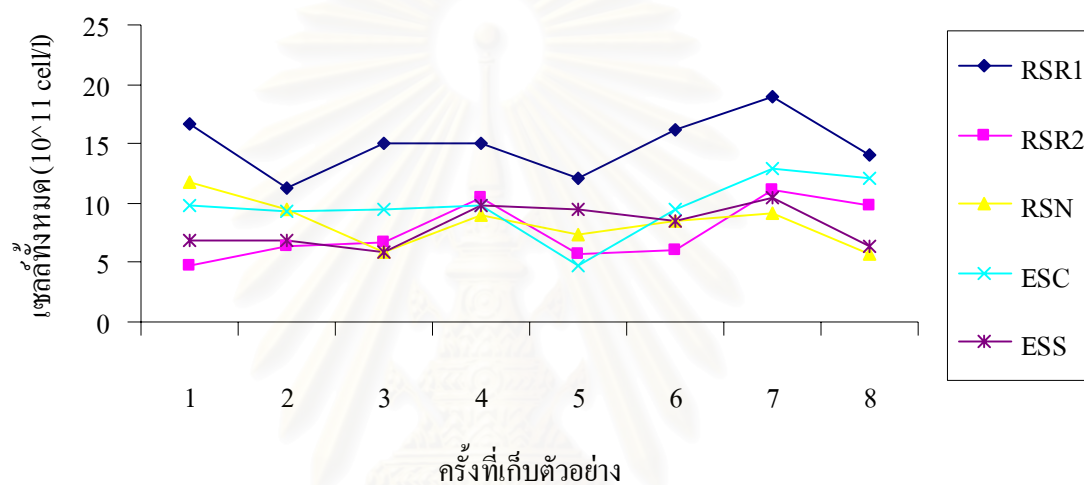
4.1.7 จำนวนเซลล์ทั้งหมด

กากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนระหว่างกลาง (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1) มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 11.31×10^{11} - 19.02×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 14.90×10^{11} เซลล์/ลิตร โดยการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจำนวนเซลล์ทั้งหมดมีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.39 ส่วนกากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2) มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.81×10^{11} - 11.05×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 7.63×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.39 จากรูปที่ 4.21 พบว่าจำนวนเซลล์ทั้งหมดของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 และ RSR2 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และจำนวนเซลล์ทั้งหมด ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 มากกว่าของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 เกือบ 2 เท่า เนื่องจากจำนวนถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายมีมากกว่าถังตกตะกอนระหว่างกลางถึง 2 เท่า (ถังเดิมอากาศชั้นที่ 1 มี 2 ถัง แต่ถังส่งต่อไปยัง ถังตกตะกอนระหว่างกลางซึ่งมี 2 ถังเช่นกัน และถังตกตะกอนระหว่างกลางแต่ละถังจะส่งต่อไปยังถังเดิมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งมี 2 ถังเช่นกัน แต่เมื่อถังเดิมอากาศชั้นที่ 2 ซึ่งมี 2 ถังถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายมี 4 ถัง) ดังนั้นจึงทำให้และปริมาณของกากตะกอนในถังตกตะกอนระหว่างกลางมีปริมาณมากกว่าในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายถึง 2 เท่าเช่นกัน ทำให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 มากกว่าของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 เกือบ 2 เท่า

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแอม (จุดเก็บตัวอย่าง RSN) มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.71×10^{11} - 9.41×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 8.33×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.99

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทบุรี (จุดเก็บตัวอย่าง ESC) มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.81×10^{11} - 12.98×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 9.72×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.40

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (จุดเก็บตัวอย่าง ESS) มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.92×10^{11} - 10.40×10^{11} เซลล์/ลิตร เฉลี่ย 7.87×10^{11} เซลล์/ลิตร มีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.72

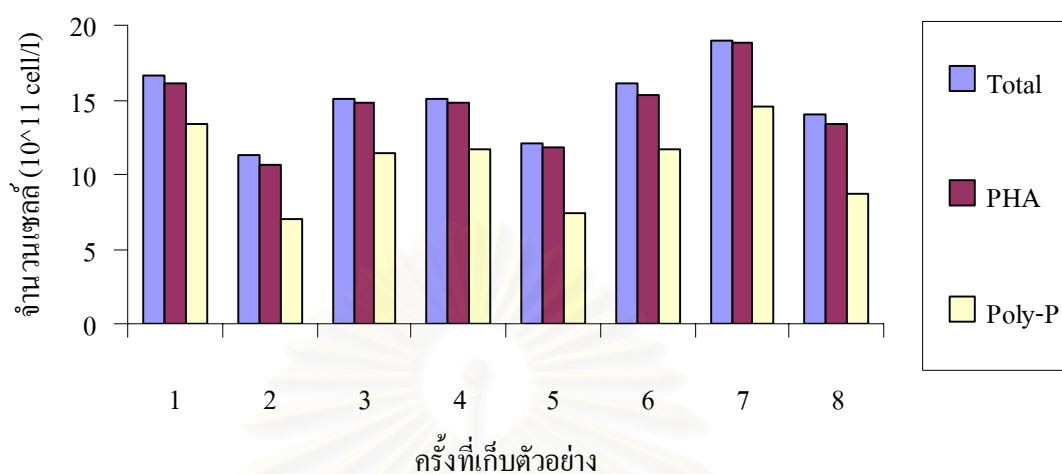


รูปที่ 4.21 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

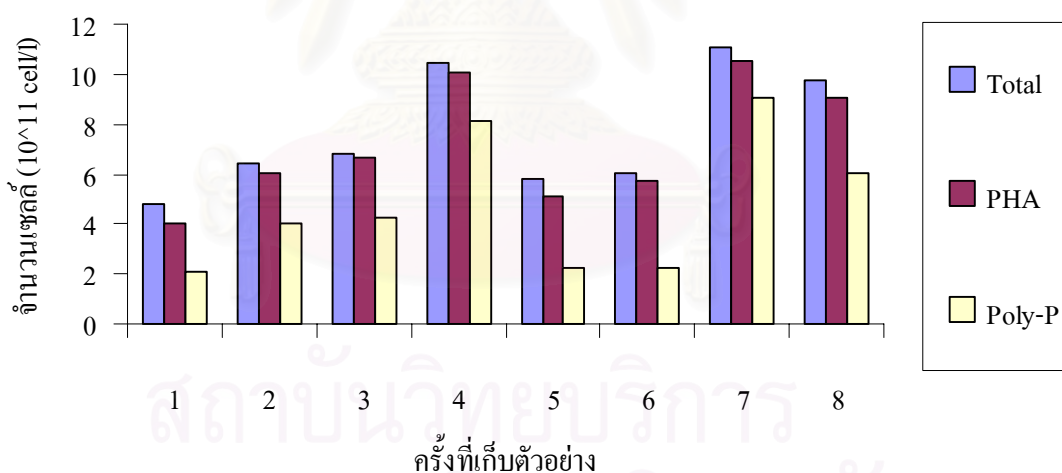
4.1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตและจำนวนเซลล์ทั้งหมด

4.1.8.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

จากรูปที่ 4.22 พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด ส่วนจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตจะมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่สะสม PHA ถ้ากำหนดให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ถึง 97.24 เปอร์เซ็นต์ และมีเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต 71.96 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA : จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต คือ 1.35:1



รูปที่ 4.22 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1)



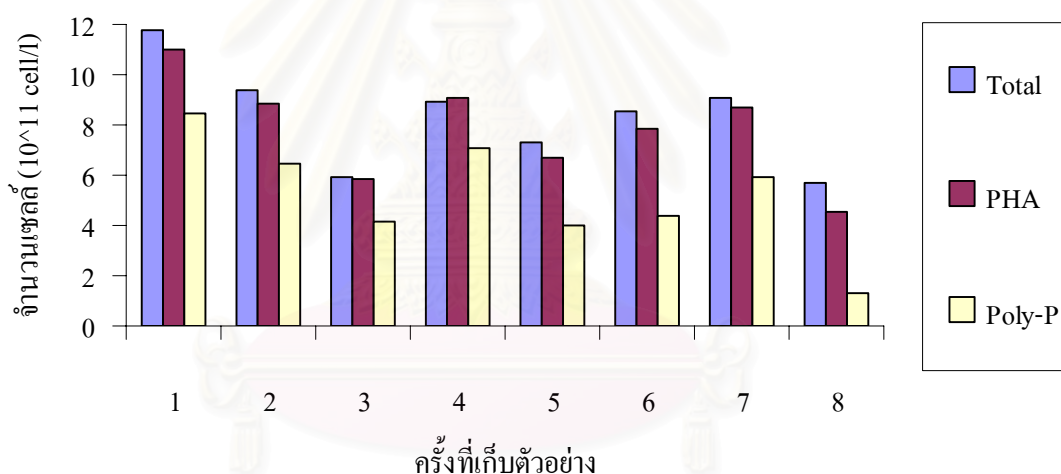
รูปที่ 4.23 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2)

จากรูปที่ 4.23 พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2) จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA มีปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด ส่วนจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตจะมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่สะสม PHA ถ้ากำหนดให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ถึง 93.70 เปอร์เซ็นต์ และมีเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

62.33 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA : จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตคือ 3:2

4.1.8.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

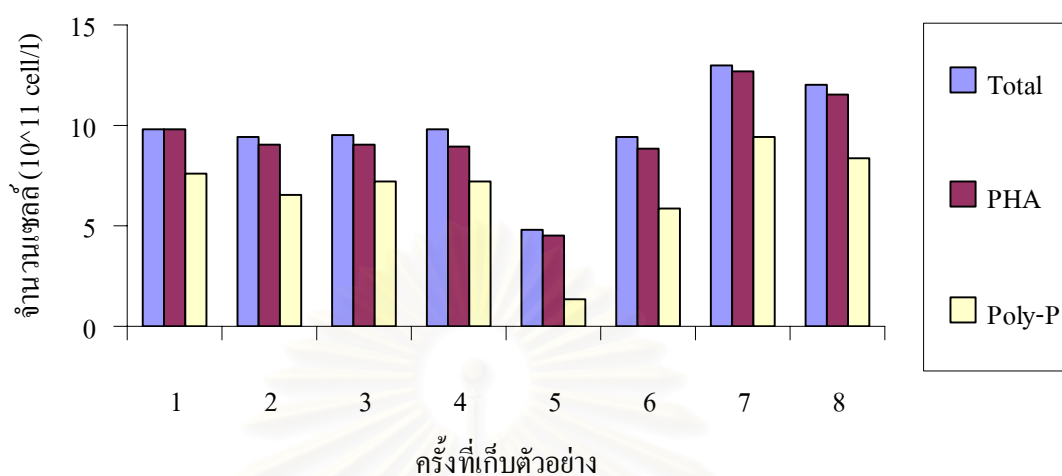
จากรูปที่ 4.24 พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (จุดเก็บตัวอย่าง RSN) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด ส่วนจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตจะมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่สะสม PHA ถ้ากำหนดให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ถึง 93.77 เปอร์เซ็นต์ และมีเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต 62.63 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA : จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตคือ 1.49:1 หรือประมาณ 3:2



รูปที่ 4.24 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

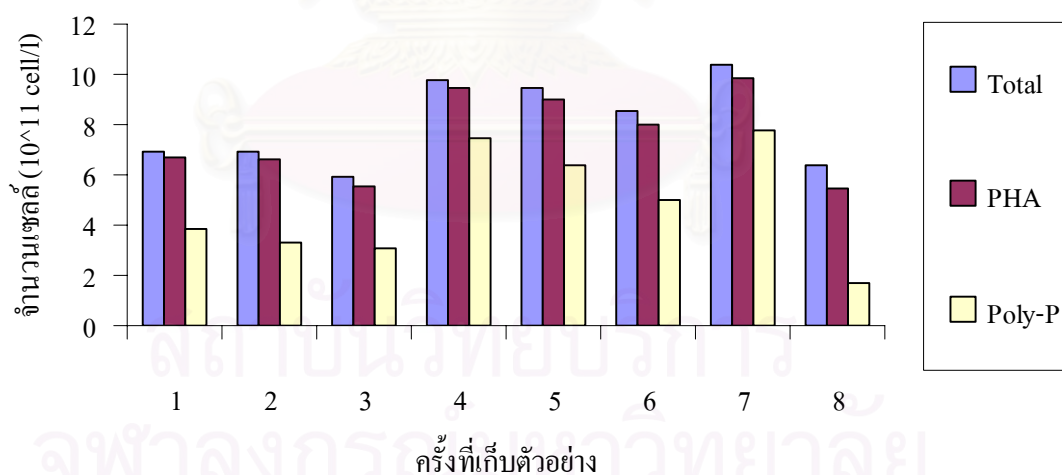
4.1.8.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

จากรูปที่ 4.25 พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี (จุดเก็บตัวอย่าง ESC) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด ส่วนจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตจะมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่สะสม PHA ถ้ากำหนดให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ถึง 95.81 เปอร์เซ็นต์ และมีเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต 68.74 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA : จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตคือ 1.39:1 หรือประมาณ 7:5



รูปที่ 4.25 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

4.1.8.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา



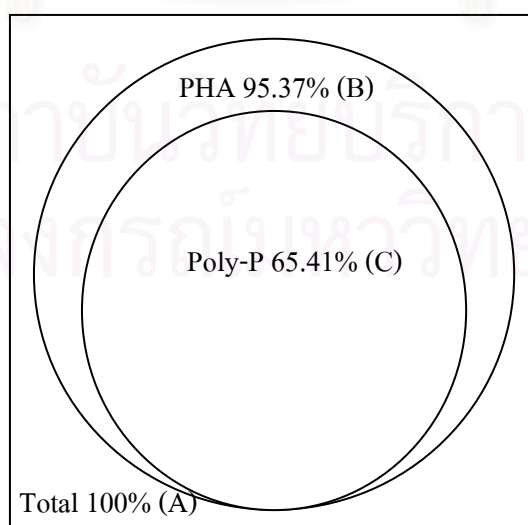
รูปที่ 4.26 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

จากรูปที่ 4.26 พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (จุดเก็บตัวอย่าง ESS) มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด ส่วนจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตจะมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่สะสม PHA ถ้ากำหนดให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมี

จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ถึง 96.32 เปอร์เซ็นต์ และมีเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต 61.37 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA : จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตคือ 1.57:1 หรือประมาณ 8:5

4.1.8.5 วิจัยและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตและจำนวนเซลล์ทั้งหมดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

จากหัวข้อที่ 4.1.8.1-4.1.8.4 พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มีความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต และจำนวนเซลล์ทั้งหมดเช่นเดียวกัน โดยจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA มีปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด ส่วนจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตจะมีจำนวนน้อยกว่าเซลล์ที่สะสม PHA จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ 95.37 เปอร์เซ็นต์ (B) ที่สามารถย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในการดึง simple organic molecules เข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA โดยมีจุลินทรีย์ถึง 29.96 เปอร์เซ็นต์ (B-C) ที่สามารถย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ทั้งหมด เพื่อให้ได้พลังงานในการดึง simple organic molecules เข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA และมีจุลินทรีย์ 65.41 เปอร์เซ็นต์ (C) ที่สามารถย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในการดึง simple organic molecules เข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA แต่ยังมีโพลีฟอสเฟตบางส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ในเซลล์ เนื่องมาจากระยะเวลาที่จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายโพลีฟอสเฟตไม่เท่ากัน โดยมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตเฉลี่ยคือ 95.37:65.41 หรือประมาณ 7:5



รูปที่ 4.27 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ทั้งหมดและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของแต่ละโรง พบว่า มีอัตราส่วนใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าในแต่ละโรงต่างมีชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ได้ปริมาณมาก แต่มีความสามารถในการสะสม PHA ได้ต่างกัน ซึ่งเนื่องมาจากคุณสมบัติของน้ำเสียและกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ทั้งหมดและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

| จุดเก็บตัวอย่าง | จำนวนเซลล์ทั้งหมด : จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA |
|-----------------|---|
| RSR1 | 1.028 : 1 |
| RSR2 | 1.067 : 1 |
| RSN | 1.066 : 1 |
| ESC | 1.044 : 1 |
| ESS | 1.038 : 1 |

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ PHA

4.2.1 ด้านอัตราการสะสม PHA

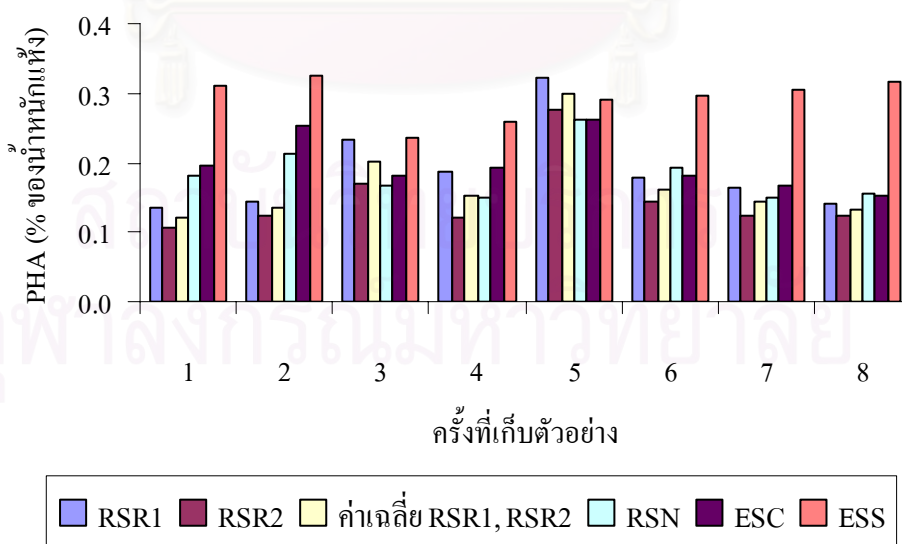
โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์เป็นแบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบบสองขั้นตอน (Two-Stage Activated Sludge) ซึ่งน้ำเสียจะต้องผ่านถังปฏิกรณ์ถึง 2 ครั้งและผ่านถังตกตะกอน 2 ครั้ง ดังนั้นจึงมีกากตะกอนส่วนเกินออกมาจากถังตกตะกอนทั้ง 2 ครั้ง กากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนระหว่างกลาง (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1) มีการสะสม PHA อยู่ในช่วง 0.136-0.323 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง หรือเฉลี่ย 0.188 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 5 มีการสะสม PHA สูงที่สุด ส่วนกากตะกอนที่ออกมาจากถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2) มีการสะสม PHA อยู่ในช่วง 0.107-0.276 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง หรือเฉลี่ย 0.149 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 5 มีการสะสม PHA สูงที่สุดเช่นกัน จากรูปที่ 4.28 สังเกตได้ว่า การสะสม PHA ของจุดเก็บตัวอย่าง RSR2 จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 แต่มีปริมาณที่ต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อนำปริมาณ PHA ที่ได้จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 มาเฉลี่ยกันแล้วพบว่ากากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีการสะสม PHA เฉลี่ย 0.168 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแวม (จุดเก็บตัวอย่าง RSN) มีการสะสม PHA อยู่ในช่วง 0.150-0.261 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง หรือเฉลี่ย 0.184 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 5 มีการสะสม PHA สูงที่สุด

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี (จุดเก็บตัวอย่าง ESC) มีการสะสม PHA อยู่ในช่วง 0.152-0.263 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง หรือเฉลี่ย 0.198 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 5 มีการสะสม PHA สูงที่สุด

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (จุดเก็บตัวอย่าง ESS) มีการสะสม PHA อยู่ในช่วง 0.235-0.326 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง หรือเฉลี่ย 0.292 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง โดยการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 2 มีการสะสม PHA สูงที่สุด

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา มีการสะสม PHA สูงกว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ หนองแวม และช่องนนทรี เล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha=0.05$ และมีการสะสม PHA ก่อนข้างคกที่กว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำอื่นๆ (S.D.=0.030) ส่วนกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ หนองแวม และช่องนนทรีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha=0.05$ และในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 5 ทั้ง 3 โรงก็มีการสะสม PHA มากกว่าการเก็บตัวอย่างในครั้งอื่น ส่วนโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์จุดเก็บตัวอย่าง RSR2 มีการสะสม PHA คงที่น้อยที่สุด (S.D.=0.063)



รูปที่ 4.28 ปริมาณ PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

4.2.2 ด้านอัตราการผลิต PHA

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าอัตราการผลิต PHA ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะสม PHA ของจุลินทรีย์เท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณกากตะกอนของแต่ละโรงอีกด้วย ดังนั้นถ้าเปรียบเทียบอัตราการผลิต PHA จากกากตะกอนของแต่ละโรง (จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2547) จะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมสามารถผลิต PHA ได้สูงสุดถึง 3331.46 กิโลกรัม/ปี รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีสามารถผลิต PHA ได้ 2416 กิโลกรัม/ปี โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์สามารถผลิต PHA ได้ 571.13 กิโลกรัม/ปี และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาซึ่งสามารถผลิต PHA ได้ 138.74 กิโลกรัม/ปี เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่าอัตราการผลิต PHA แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ทั้งสองโรงนี้มีอัตราการผลิต PHA/ปี ใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha=0.05$ กลุ่มที่ 2 คือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม กลุ่มที่ 3 คือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี ซึ่งทั้ง 3 กลุ่มนี้มีอัตราการผลิต PHA/ปี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha=0.05$

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ PHA ที่คาดว่าจะผลิตได้ในปี พ.ศ. 2547

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ปริมาณ | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ค่าเฉลี่ย ต่อเดือน | ค่าเฉลี่ย ต่อปี |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|--------------------|
| รัตนโกสินทร์ (อัตราการผลิต PHA 0.168 % ของ น.น.กากตะกอนแห้ง) | กากตะกอนส่วนเกิน ¹ (ลบ.ม) | 3706 | 3592 | 3108 | 599 | 2509 | 2509 | 3649 | 2994 | 3592 | 2766 | 2509 | 1796 | 2777 | 33329 |
| | กากตะกอนที่ผ่านการรีด ¹ (ตัน) | 189 | 183 | 158 | 31 | 128 | 128 | 186 | 153 | 183 | 141 | 128 | 92 | 142 | 1700 |
| | กากตะกอนแห้ง ² (ตัน) | 38 | 37 | 32 | 6 | 26 | 26 | 37 | 31 | 37 | 28 | 26 | 18 | 28 | 340 |
| | PHA ² (กิโลกรัม) | 64 | 62 | 53 | 10 | 43 | 43 | 63 | 51 | 62 | 47 | 43 | 31 | 48 | 571 |
| หนองแขม (อัตราการผลิต PHA 0.184 % ของ น.น.กากตะกอนแห้ง) | กากตะกอนส่วนเกิน ¹ (ลบ.ม) | 19471 | 16282 | 15143 | 12610 | 18191 | 13367 | 16001 | 12043 | 15375 | 12562 | 14380 | 13841 | 14939 | 179265 |
| | กากตะกอนที่ผ่านการรีด ¹ (ตัน) | 983 | 822 | 765 | 637 | 919 | 675 | 808 | 608 | 776 | 634 | 726 | 699 | 754 | 9053 |
| | กากตะกอนแห้ง ² (ตัน) | 197 | 164 | 153 | 127 | 184 | 135 | 162 | 122 | 155 | 127 | 145 | 140 | 151 | 1811 |
| | PHA ² (กิโลกรัม) | 362 | 303 | 281 | 234 | 338 | 248 | 297 | 224 | 286 | 233 | 267 | 257 | 278 | 3331 |

1 คัดแปลงจากกิจการร่วมค้า บริษัท ยูทิลิตี้ บิสิเนส อัลลายแอนซ์ จำกัด และบริษัท เนวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน), 2548

2 ได้จากการคำนวณ (ดูที่ภาคผนวก)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ PHA ที่คาดว่าจะผลิตได้ในปี พ.ศ. 2547 (ต่อ)

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ปริมาณ | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค | พ.ย. | ธ.ค. | ค่าเฉลี่ยต่อเดือน | ค่าเฉลี่ยต่อปี |
|--|--|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------------------|----------------|
| ช่องนนทรี (อัตราการสะสม PHA 0.198 % ของน.น.กากตะกอน แห้ง) | กากตะกอนส่วนเกิน ¹ (ลบ.ม) | - | - | - | - | - | 7233 | 7372 | 11490 | 13382 | 14216 | 6816 | 9264 | 9968 | 119613 |
| | กากตะกอนที่ผ่านการรีด ¹ (ตัน) | - | - | - | - | - | 369 | 376 | 586 | 682 | 725 | 348 | 472 | 508 | 6100 |
| | กากตะกอนแห้ง ² (ตัน) | - | - | - | - | - | 74 | 75 | 117 | 136 | 145 | 70 | 94 | 102 | 1220 |
| | PHA ² (กิโลกรัม) | - | - | - | - | - | 146 | 149 | 232 | 270 | 287 | 138 | 187 | 201 | 2416 |
| สีพระยา (อัตราการสะสม PHA 0.292 % ของน.น.กากตะกอน แห้ง) | กากตะกอนส่วนเกิน ¹ (ลบ.ม) | 355 | 401 | 447 | 201 | 278 | 524 | 463 | 139 | 602 | 432 | 632 | 185 | 388 | 4658 |
| | กากตะกอนที่ผ่านการรีด ¹ (ตัน) | 18 | 20 | 23 | 10 | 14 | 27 | 24 | 7 | 31 | 22 | 32 | 9 | 20 | 238 |
| | กากตะกอนแห้ง ² (ตัน) | 4 | 4 | 5 | 2 | 3 | 5 | 5 | 1 | 6 | 4 | 6 | 2 | 4 | 48 |
| | PHA ² (กิโลกรัม) | 11 | 12 | 13 | 6 | 8 | 16 | 14 | 4 | 18 | 13 | 19 | 6 | 12 | 139 |

1 ดัดแปลงจากกิจการร่วมค้า บริษัท ยูทิลิตี้ บิสิเนส อัลลายแอนซ์ จำกัด และบริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน), 2548

2 ได้จากการคำนวณ (ดูที่ภาคผนวก)

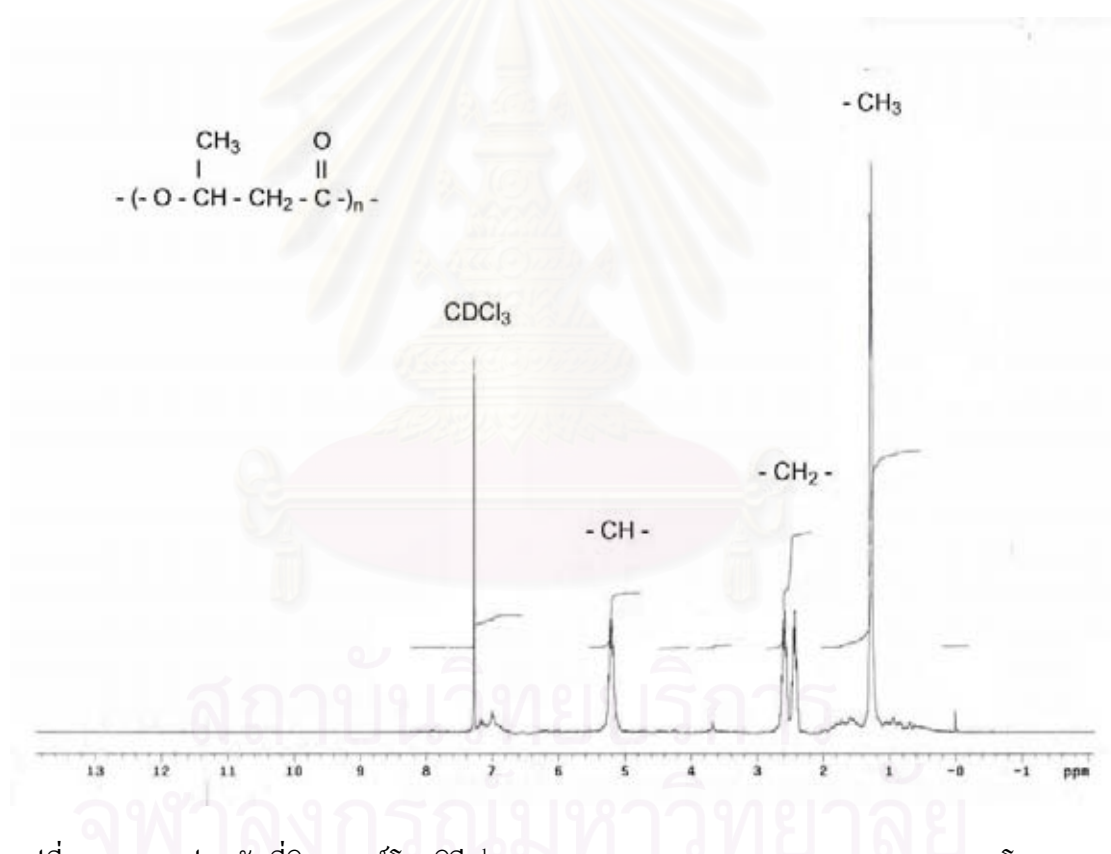
*หมายเหตุ ในเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมเป็นช่วงที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีเปลี่ยนผู้เดินระบบจึงไม่นำค่ามาคำนวณ

4.3 ผลการพิสูจน์หาเอกลักษณ์ของ PHA โดยวิธี NMR spectrometry

4.3.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

4.3.1.1 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (รูปที่ 4.29) พบว่า โครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วย หมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) ที่ 1.25 ppm (3H, d) หมู่เมทิลีน ($-\text{CH}_2-$) ที่ 2.50 ppm (2H, m) และหมู่เมไธน ($-\text{CH}-$) ที่ 5.22 ppm (1H, m) ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (PHB)

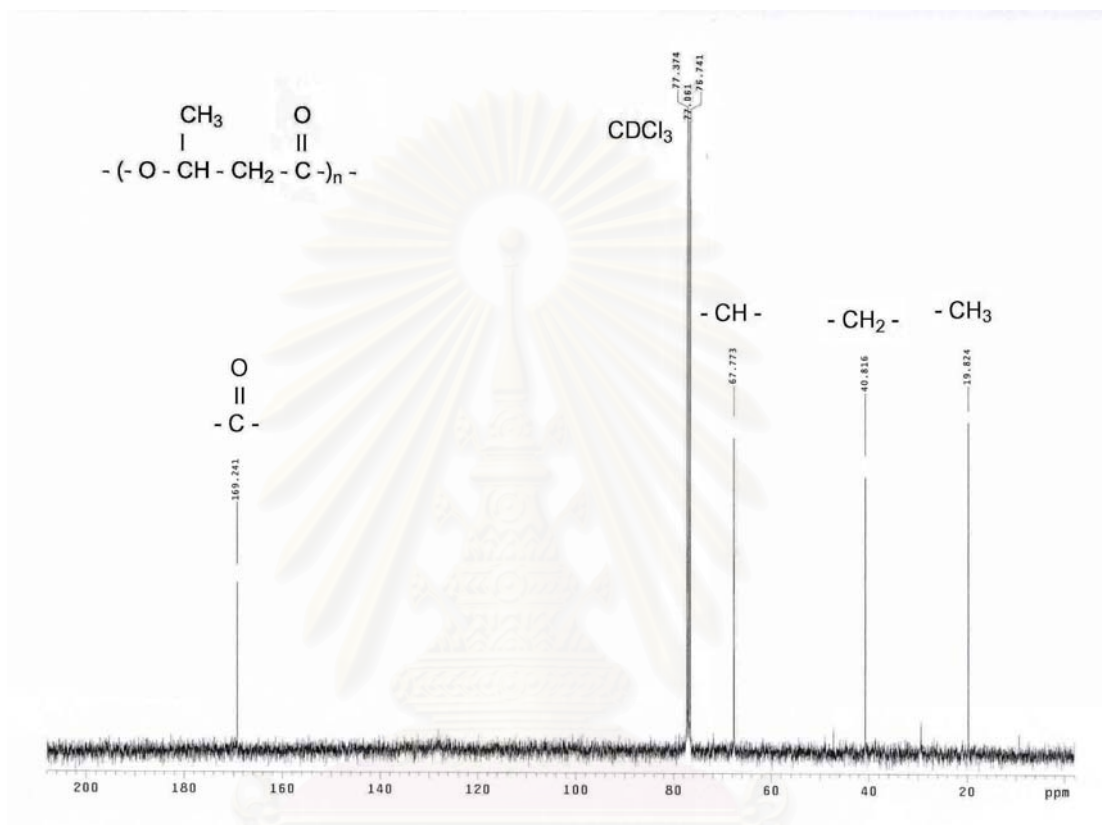


รูปที่ 4.29 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

4.3.1.2 คาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีคาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (รูปที่ 4.30) พบว่า โครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วย สัญญาณ 4 สัญญาณ คือ คาร์บอนจากหมู่เมทิลที่ 19.82 ppm หมู่เมทิลีนที่ 40.82 ppm

หมู่เมไธน์ที่ 67.77 ppm และหมู่คาร์บอนิลที่ 169.24 ppm ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB

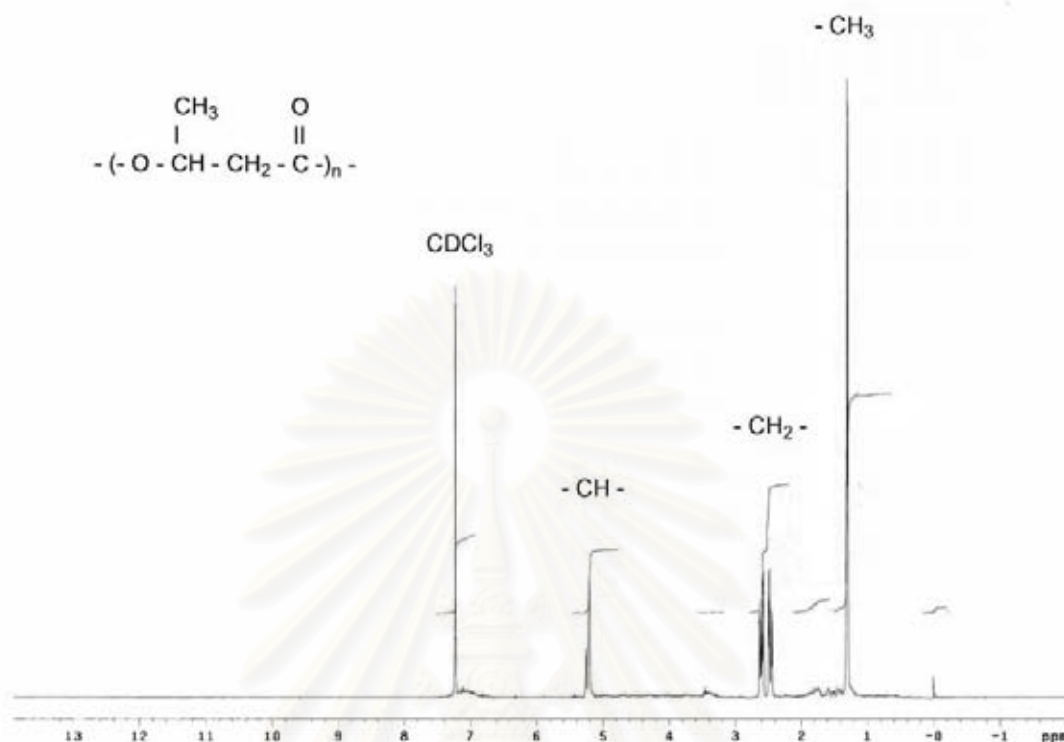


รูปที่ 4.30 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

4.3.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

4.3.2.1 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

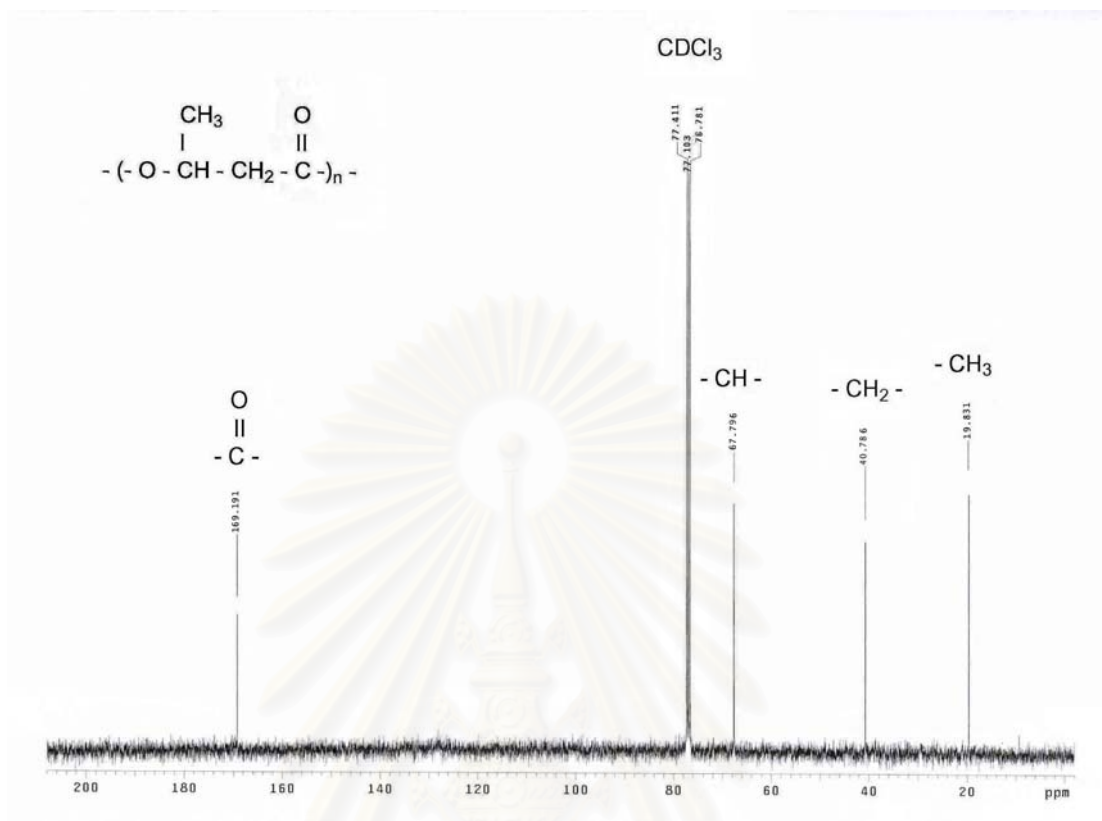
จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (รูปที่ 4.31) พบว่า โครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วย หมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) ที่ 1.31 ppm (3H, d) หมู่เมธีลีน ($-\text{CH}_2-$) ที่ 2.54 ppm (2H, m) และหมู่เมไธน์ ($-\text{CH}-$) ที่ 5.22 ppm (1H, m) ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB



รูปที่ 4.31 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

4.3.2.2 คาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีคาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (รูปที่ 4.32) พบว่า โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย สัญญาณ 4 สัญญาณ คือ คาร์บอนจากหมู่เมทิลที่ 19.83 ppm หมู่เอทิลีนที่ 40.79 ppm หมู่เมไธน์ที่ 67.80 ppm และหมู่คาร์บอนิลที่ 169.19 ppm ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB

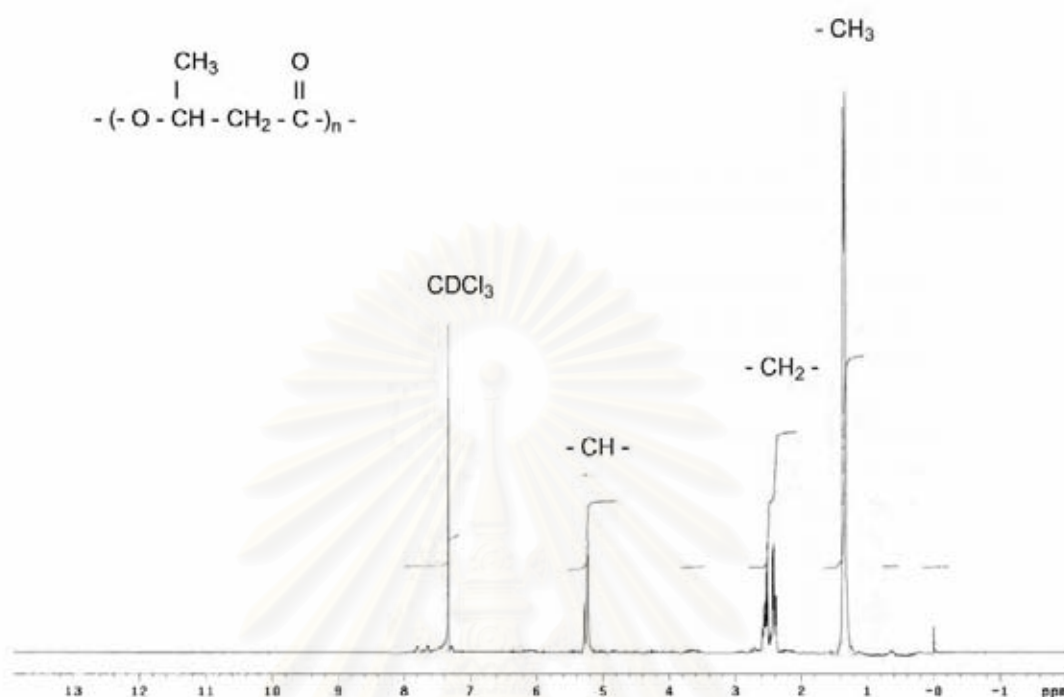


รูปที่ 4.32 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

4.3.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

4.3.3.1 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

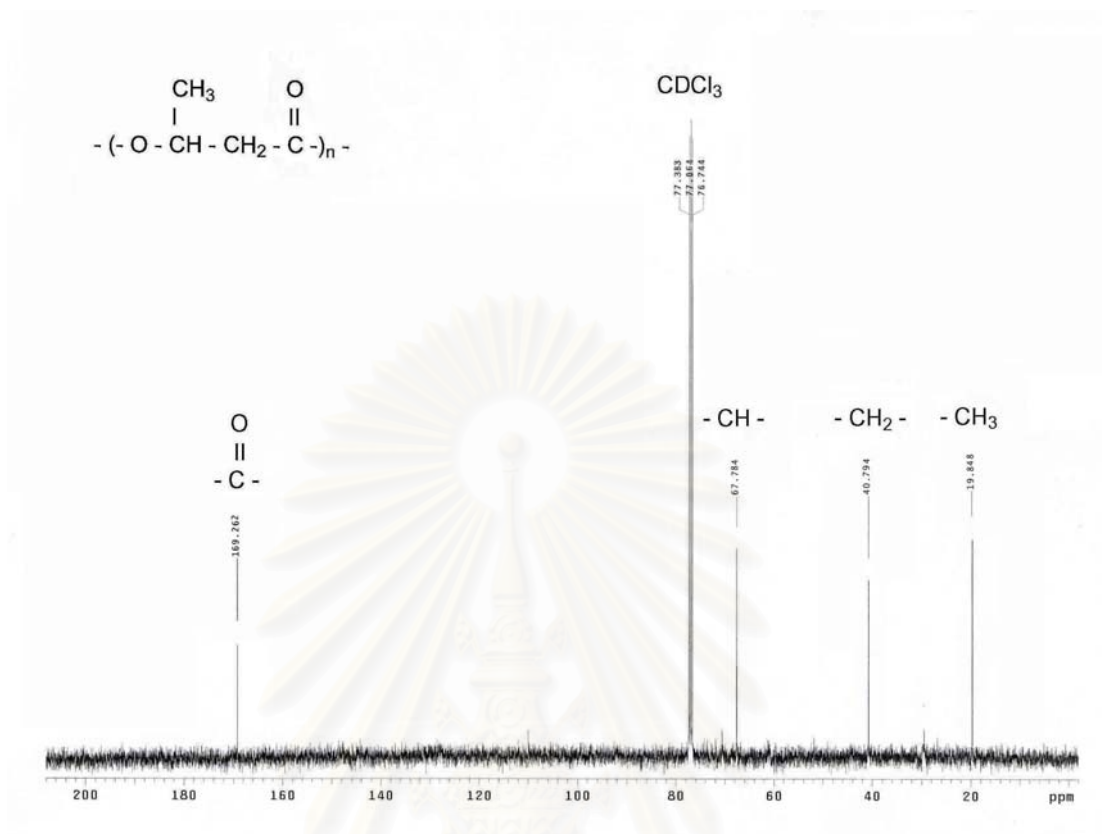
จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี (รูปที่ 4.33) พบว่า โครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วย หมู่เมทิล (-CH_3) ที่ 1.34 ppm (3H, d) หมู่เมทิลีน ($\text{-CH}_2\text{-}$) ที่ 2.49 ppm (2H, m) และหมู่เมไธน์ (-CH-) ที่ 5.24 ppm (1H, m) ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB



รูปที่ 4.33 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

4.3.3.2 คาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีคาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี (รูปที่ 4.34) พบว่า โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย สัญญาณ 4 สัญญาณ คือ คาร์บอนจากหมู่เมทิลที่ 19.85 ppm หมู่เมทิลีนที่ 40.79 ppm หมู่เมไธน์ที่ 67.78 ppm และหมู่คาร์บอนิลที่ 169.26 ppm ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB

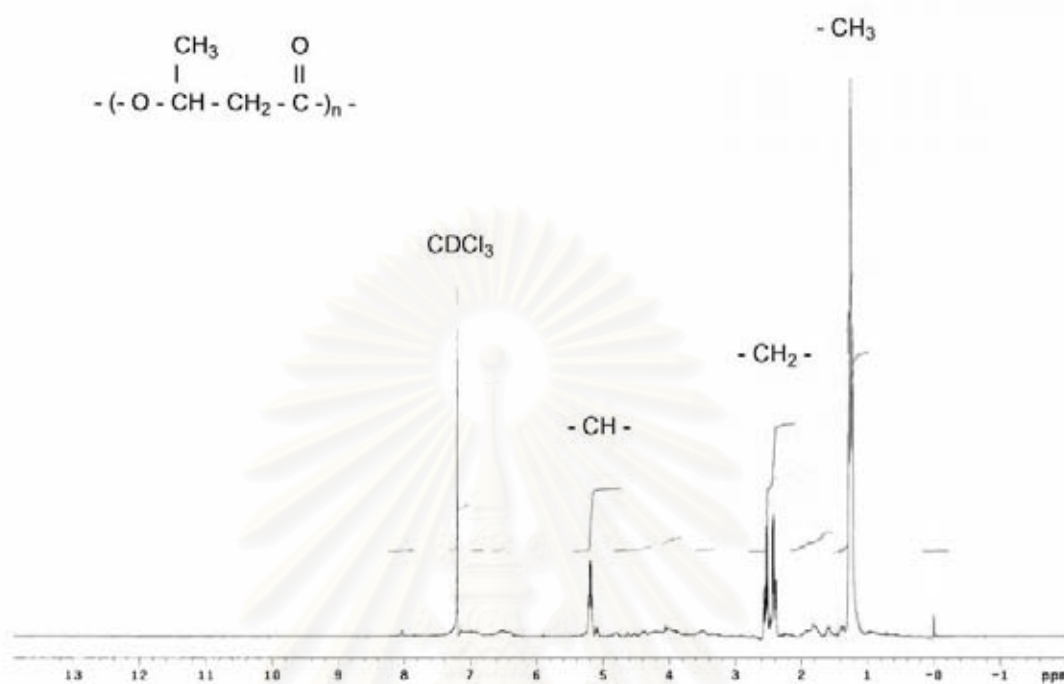


รูปที่ 4.34 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของนนทบุรี

4.3.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

4.3.4.1 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

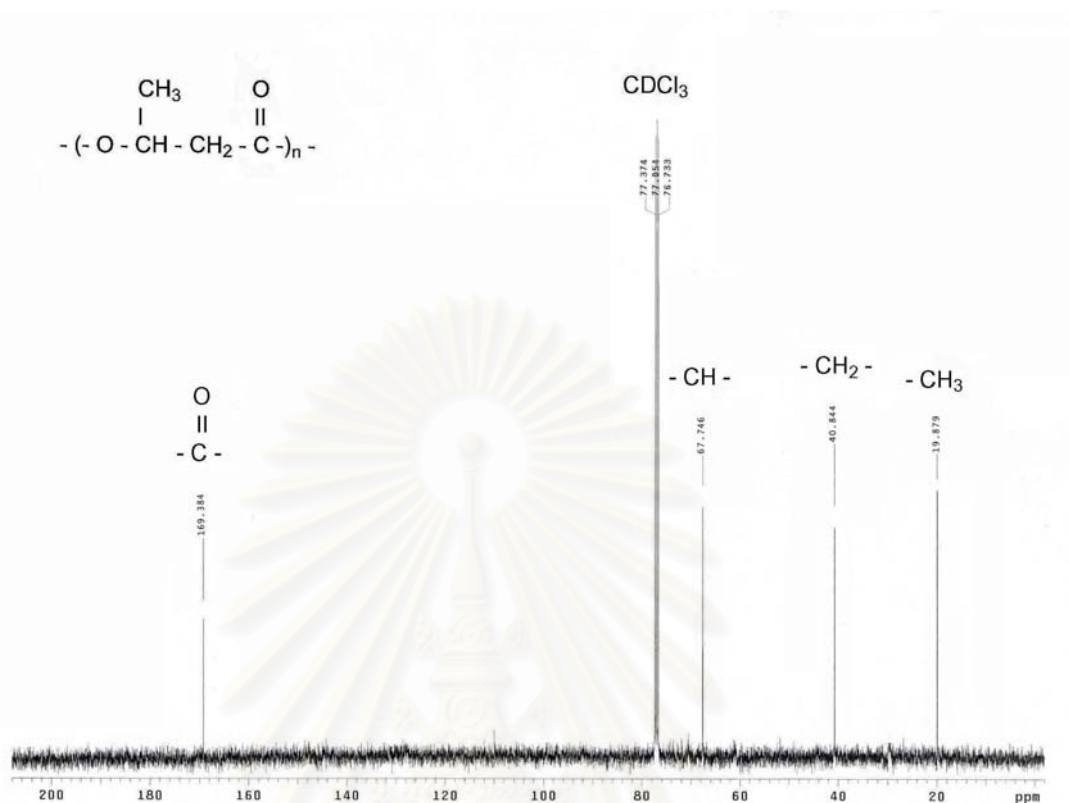
จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (รูปที่ 4.35) พบว่า โครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วย หมู่เมทิล (-CH₃) ที่ 1.29 ppm (3H, d) หมู่เมธีลีน (-CH₂-) ที่ 2.49 ppm (2H, m) และหมู่เมไธน (-CH-) ที่ 5.21 ppm (1H, m) ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB



รูปที่ 4.35 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา

4.3.4.2 คาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธีคาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา (รูปที่ 4.36) พบว่า โครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วยสัญญาณ 4 สัญญาณ คือ คาร์บอนจากหมู่เมทิลที่ 19.88 ppm หมู่เมทิลีนที่ 40.84 ppm หมู่เมไธนที่ 67.75 ppm และหมู่คาร์บอนิลที่ 169.38 ppm ดังนั้นจึงเป็น PHA ที่มีส่วนประกอบหลักคือ PHB



รูปที่ 4.36 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

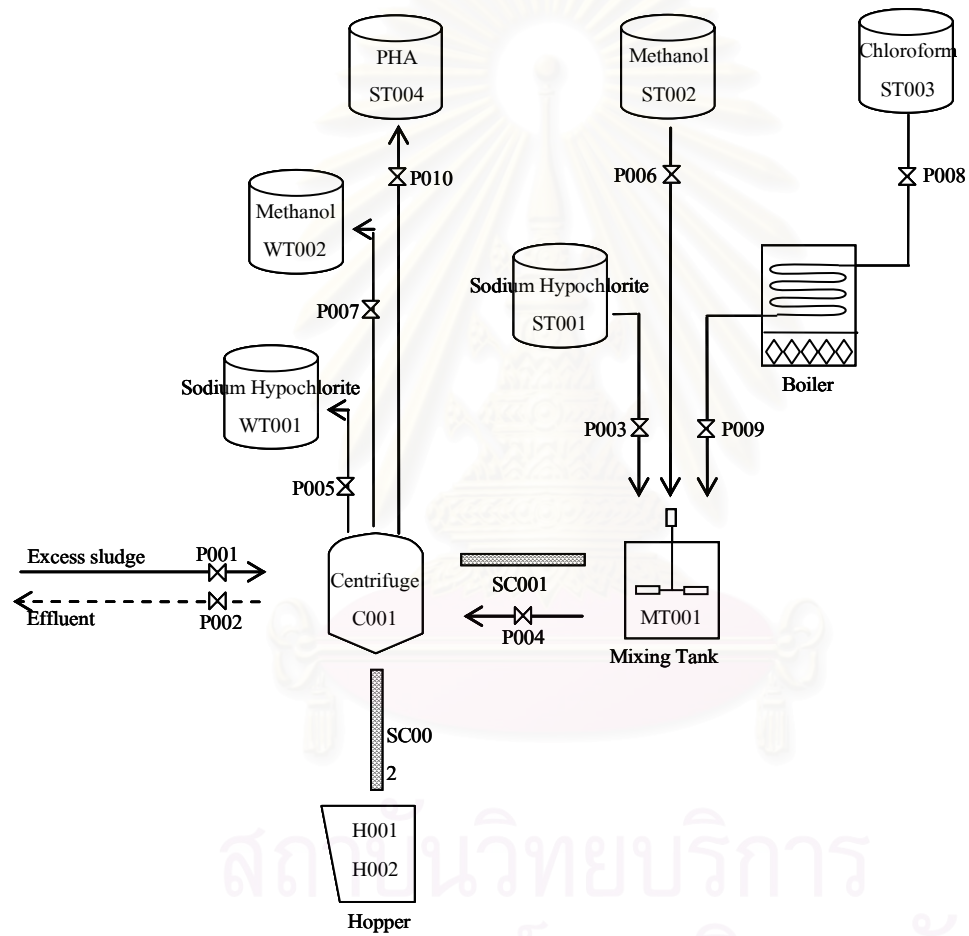
4.4 ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆกับอัตราการสะสม PHA

จากการศึกษาพบว่า การสะสม PHA จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ค่า COD TP VFAs ของน้ำเสียก่อนเข้า reactor และจำนวนจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ทำให้การสะสม PHA สูงสุดคือ ระบบ Activated Sludge แบบ Contact Stabilization ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ซึ่งไม่เพียงแต่การทำงานของระบบอย่างเดียว แต่ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสียด้วย โดยปริมาณ PHA ที่สะสมในกากตะกอนจะแปรผันตามปริมาณ COD ที่ถูกบำบัด ดังนั้นเมื่อค่า COD ของน้ำก่อนเข้า reactor ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีค่ามากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าโรงบำบัดอื่น จึงทำให้สามารถสะสม PHA ได้มาก ส่วน TP มีความสัมพันธ์กับการสะสม PHA โดยในถังตกตะกอน โพลีฟอสเฟตจะถูกย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการดึงสารอาหารมาเก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ PHA และปล่อยฟอสเฟตออกจากเซลล์ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากรูปที่ 4.12 จะพบว่าปริมาณ

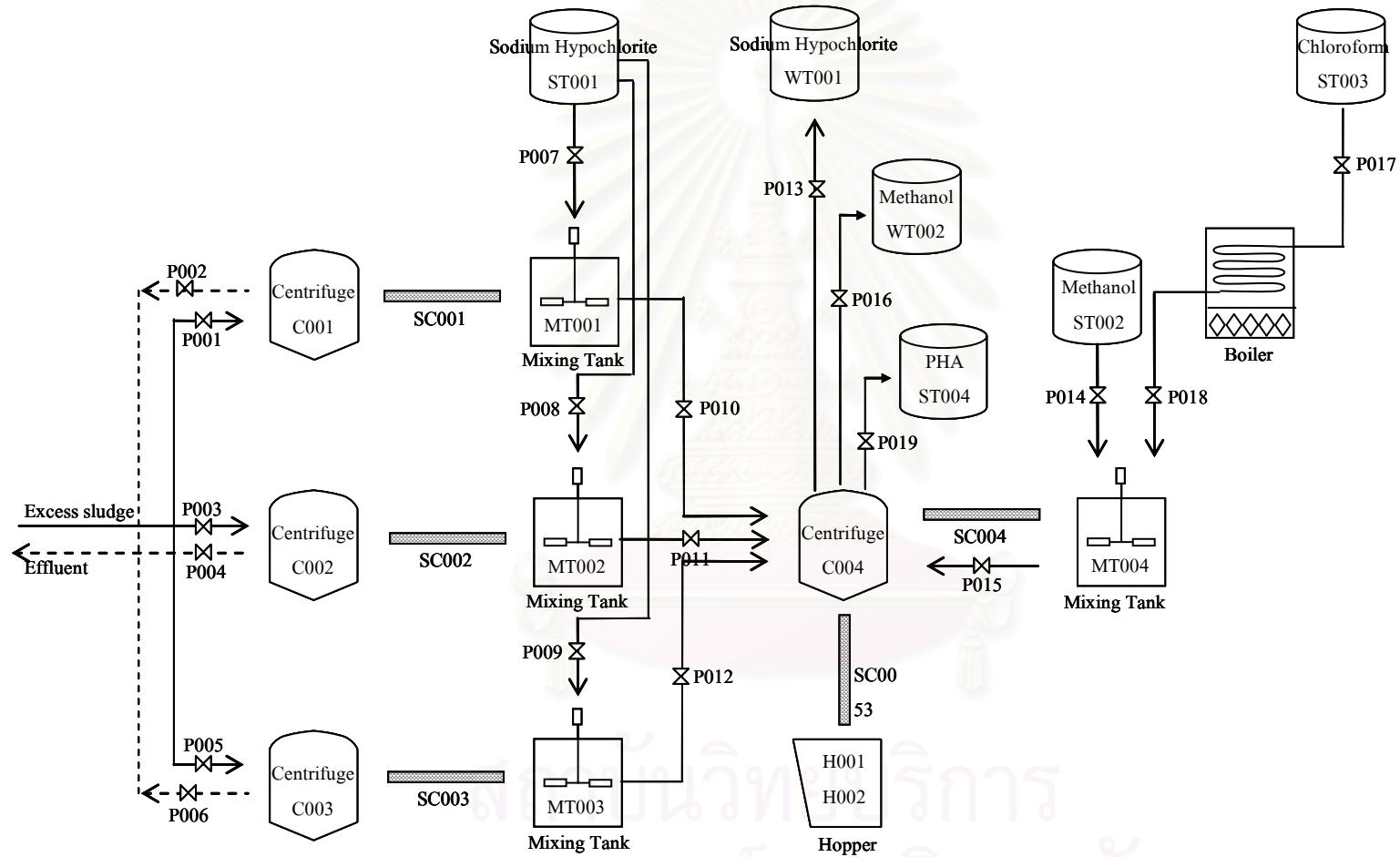
TP ที่คายออกจากเซลล์ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีค่ามากที่สุด ส่วน VFAs มีความสัมพันธ์กับการสะสม PHA โดยปริมาณ VFAs ที่เพิ่มขึ้นในถังตกตะกอนจะเป็นปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็น PHA ของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงพบว่า VFAs ที่สังเคราะห์ได้ในถังตะกอน จะแปรผกผันกับปริมาณ PHA ที่สะสมได้ในถังตกตะกอน ดังรูปที่ 4.18 พบว่าปริมาณ VFAs ที่สังเคราะห์ได้ในถังตกตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีค่าน้อยที่สุด จึงทำให้มีการสะสม PHA ได้สูงที่สุด นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับจำนวนของจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA จากตารางที่ 4.2 พบว่า โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีจำนวนของเซลล์ที่สามารถสะสม PHA ได้ถึง 95.37% ดังนั้นจึงทำให้ถังตกตะกอนมีการสะสม PHA ได้มาก

4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิต PHA

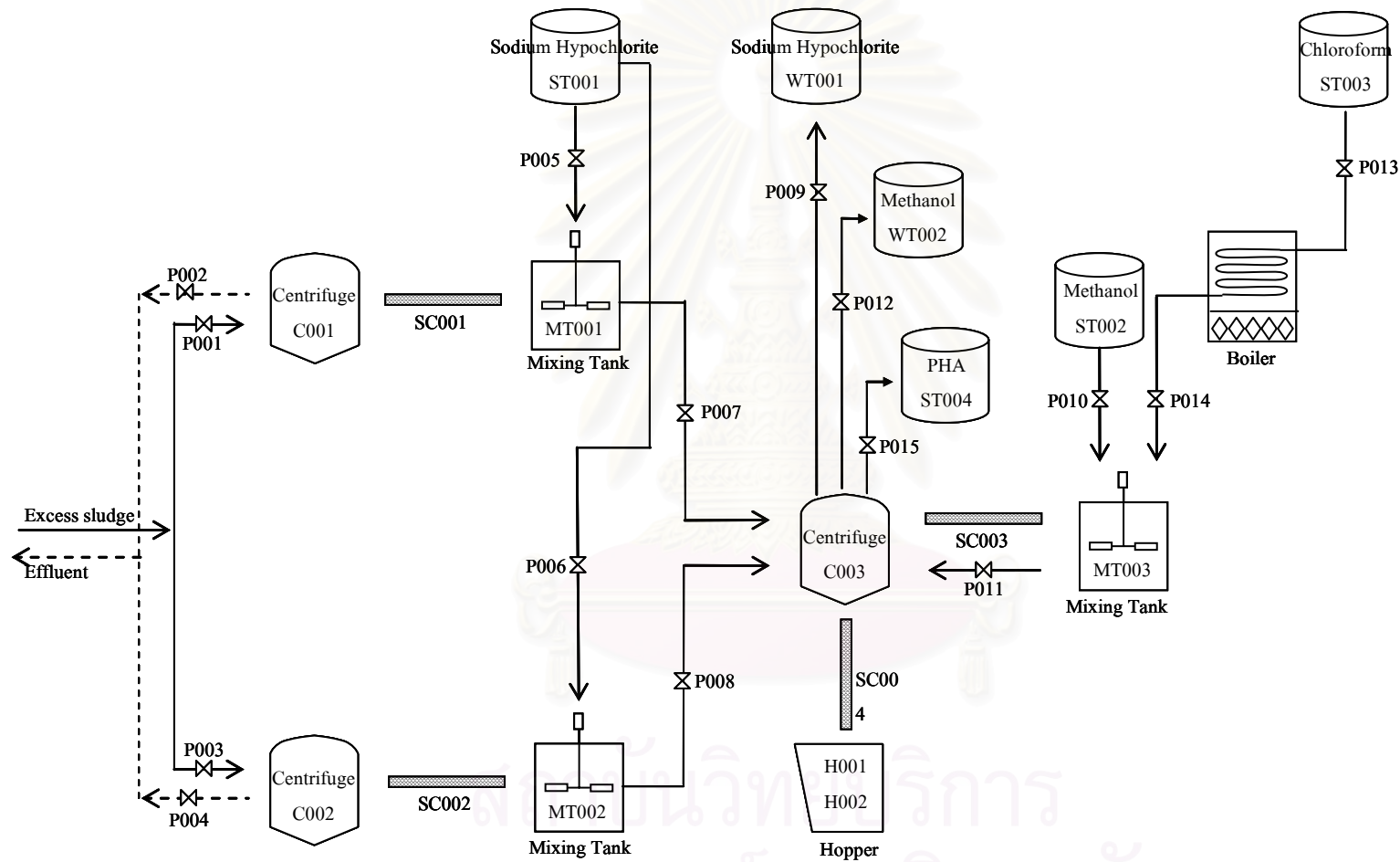
ความเป็นไปได้ในการผลิต PHA ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งความคุ้มค่าและความสามารถในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ จึงต้องทราบว่าต้นทุนการผลิตเท่าไร ราคาที่คุ้มค่าคือเท่าไร และราคาในการจำหน่ายจะต้องมีความใกล้เคียงกับราคาของผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่ขายอยู่ในปัจจุบันจึงจะสามารถจำหน่ายได้ ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต PHA โดยเริ่มจากการออกแบบระบบการผลิต PHA ซึ่งวิธีการผลิต PHA นั้นทำได้หลายวิธีดังแสดงในหัวข้อที่ 2.1.10 หน้า 16 จะเห็นได้ว่าการย่อยด้วยเอนไซม์เฉพาะจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์น้อย จึงไม่เลือกใช้วิธีนี้ในการผลิต PHA ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลาย จะใช้วิธีละลายเซลล์ในตัวทำละลายอินทรีย์จากนั้นกรองแยกกากเซลล์ออกแล้วจึงทำการตกตะกอน PHA และทำการตกตะกอนซ้ำ ทำให้ใช้ตัวทำละลายในปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการย่อยเซลล์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ขั้นตอนการละลายเซลล์ในตัวทำละลายอินทรีย์เพียงอย่างเดียว วิธีการนี้เรียกว่า วิธี Chloroform-hypochlorite method (Hahn และคณะ, 1995) โดยการแยกกากตะกอนออกจากน้ำ แล้วนำไปบ่มในโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แยกกากตะกอนออกและนำกากตะกอนไปล้างด้วยเมทานอล แล้วนำกากตะกอนไปละลายในคลอโรฟอร์มร้อน จากนั้นกรองแยกกากตะกอนออก จะได้ PHA ที่ละลายอยู่ในคลอโรฟอร์ม เมื่อคลอโรฟอร์มระเหยออกจะได้ PHA ในรูปของแข็ง เมื่อได้วิธีในการผลิตแล้วต่อไปจึงเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ค่าสารเคมี และค่าใช้จ่ายต่างๆในการผลิต เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนรวมในการผลิต PHA ต่อ 1 กิโลกรัม



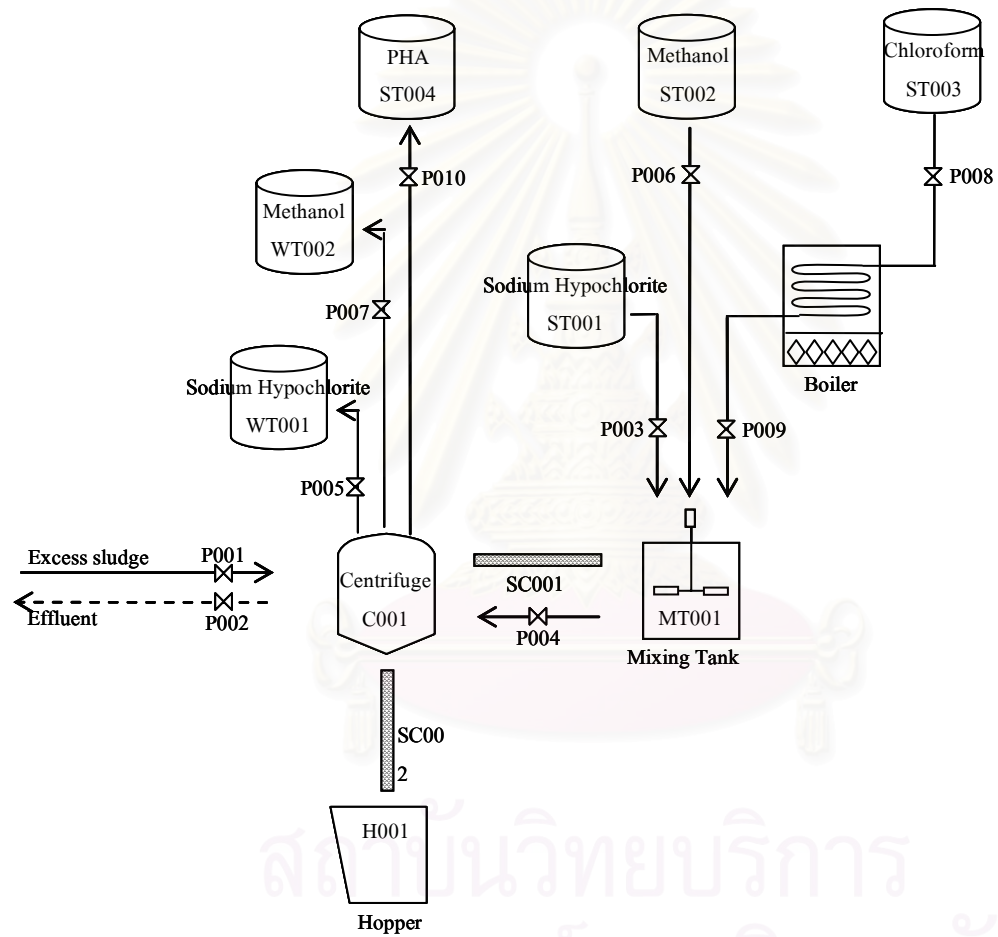
รูปที่ 4.37 ระบบการผลิต PHA ของ โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์



รูปที่ 4.38 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม



รูปที่ 4.39 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี



รูปที่ 4.40 ระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

4.5.1 ต้นทุนการผลิต PHA

4.5.1.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 4.4 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ในระยะเวลา 1 ปี

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|--|-------------|---------|
| 1 | ต้นทุนคงที่รวม | 10,060,293 | 8.29 |
| | 1.1 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA | 10,060,293 | 8.29 |
| 2 | ต้นทุนผันแปรรวม | 111,243,462 | 91.71 |
| | 2.1 ค่าวัตถุดิบ(ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.2 ค่าสารเคมี | 108,801,211 | 89.69 |
| | 2.2.1 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (2,969,465.4 × 12) | 35,633,585 | 29.38 |
| | 2.2.2 เมททานอล (2,419,564.4 × 12) | 29,034,773 | 23.94 |
| | 2.2.3 คลอโรฟอร์ม (3,677,737.82 × 12) | 44,132,854 | 36.38 |
| | 2.3 ค่าน้ำ (ใช้น้ำที่ได้จากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.4 ค่าไฟฟ้า (203,520.853 × 12) | 2,442,250 | 2.01 |
| | 2.5 ค่าแรงงาน (ใช้บุคลากรผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำที่มีอยู่เดิม) | 0 | 0.00 |
| 3 | ต้นทุนรวม (1+2) | 121,303,755 | 100.00 |
| 4 | ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ก.ก./ปี) | | 571 |
| 5 | ต้นทุนทั้งหมดต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (3/4) | | 212,441 |
| 7 | ต้นทุนคงที่ต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (1/4) | | 17,619 |
| 6 | ต้นทุนผันแปรต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (2/4) | | 194,822 |

4.5.1.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

ตารางที่ 4.5 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมในระยะเวลา 1 ปี

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|--|-------------|--------|
| 1 | ต้นทุนคงที่รวม | 32,174,216 | 5.13 |
| | 1.1 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA | 32,174,216 | 5.13 |
| 2 | ต้นทุนผันแปรรวม | 594,671,511 | 94.87 |
| | 2.1 ค่าวัตถุดิบ(ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |

ตารางที่ 4.5 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมในระยะเวลา 1 ปี (ต่อ)

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|--|-------------|---------|
| | 2.2 ค่าสารเคมี | 585,301,141 | 93.37 |
| | 2.2.1 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (15,974,376 × 12) | 191,692,512 | 30.58 |
| | 2.2.2 เมททานอล (13,016,158.32 × 12) | 156,193,900 | 24.92 |
| | 2.2.3 คลอโรฟอร์ม (19,784,560.77 × 12) | 237,414,729 | 37.87 |
| | 2.3 ค่าน้ำ (ใช้น้ำที่ได้จากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.4 ค่าไฟฟ้า (780,864.179 × 12) | 9,370,370 | 1.49 |
| | 2.5 ค่าแรงงาน (ใช้บุคลากรผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำที่มีอยู่เดิม) | 0 | 0.00 |
| 3 | ต้นทุนรวม (1+2) | 626,845,727 | 100.00 |
| 4 | ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ก.ก./ปี) | | 3,331 |
| 5 | ต้นทุนทั้งหมดต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (3/4) | | 188,185 |
| 7 | ต้นทุนคงที่ต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (1/4) | | 9,659 |
| 6 | ต้นทุนผันแปรต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (2/4) | | 178,526 |

4.5.1.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

ตารางที่ 4.6 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีในระยะเวลา 1 ปี

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|--|-------------|--------|
| 1 | ต้นทุนคงที่รวม | 24,557,993 | 5.82 |
| | 1.1 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA | 24,557,993 | 5.82 |
| 2 | ต้นทุนผันแปรรวม | 397,133,969 | 94.18 |
| | 2.1 ค่าวัตถุดิบ(ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.2 ค่าสารเคมี | 390,540,313 | 92.61 |
| | 2.2.1 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (10,658,851 × 12) | 127,906,212 | 30.33 |
| | 2.2.2 เมททานอล (8,684,990.16 × 12) | 104,219,882 | 24.71 |
| | 2.2.3 คลอโรฟอร์ม (13,201,184.95 × 12) | 158,414,219 | 37.57 |

ตารางที่ 4.6 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีในระยะเวลา 1 ปี
(ต่อ)

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|--|-------------|---------|
| | 2.3 ค่าน้ำ (ใช้น้ำที่ได้จากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.4 ค่าไฟฟ้า (549,471.316 × 12) | 6,593,656 | 1.56 |
| | 2.5 ค่าแรงงาน (ใช้บุคลากรผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำที่มีอยู่เดิม) | 0 | 0.00 |
| 3 | ต้นทุนรวม (1+2) | 421,691,962 | 100.00 |
| 4 | ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ก.ก./ปี) | | 2,416 |
| 5 | ต้นทุนทั้งหมดต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (3/4) | | 174,541 |
| 7 | ต้นทุนคงที่ต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (1/4) | | 10,165 |
| 6 | ต้นทุนผันแปรต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (2/4) | | 164,377 |

4.5.1.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

ตารางที่ 4.7 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาในระยะเวลา 1 ปี

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|--|------------|--------|
| 1 | ต้นทุนคงที่รวม | 8,864,705 | 35.27 |
| | 1.1 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA | 8,864,705 | 35.27 |
| 2 | ต้นทุนผันแปรรวม | 16,270,708 | 64.73 |
| | 2.1 ค่าวัตถุดิบ(ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.2 ค่าสารเคมี | 15,201,604 | 60.48 |
| | 2.2.1 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (414,891 × 12) | 4,978,692 | 19.81 |
| | 2.2.2 เมททานอล (338,059.04 × 12) | 4,056,708. | 16.14 |
| | 2.2.3 คลอโรฟอร์ม (513,850.30 × 12) | 6,166,204 | 24.53 |
| | 2.3 ค่าน้ำ (ใช้น้ำที่ได้จากระบบบำบัด) | 0 | 0.00 |
| | 2.4 ค่าไฟฟ้า (89,091.964 × 12) | 1,069,104 | 4.25 |
| | 2.5 ค่าแรงงาน (ใช้บุคลากรผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำที่มีอยู่เดิม) | 0 | 0.00 |
| 3 | ต้นทุนรวม (1+2) | 25,135,413 | 100.00 |

ตารางที่ 4.7 แสดงต้นทุนการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาในระยะเวลา 1 ปี (ต่อ)

| อันดับ | รายการ | ราคา (บาท) | ร้อยละ |
|--------|---|------------|---------|
| 4 | ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ก.ก./ปี) | | 139 |
| 5 | ต้นทุนทั้งหมดต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (3/4) | | 180,830 |
| 7 | ต้นทุนคงที่ต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (1/4) | | 63,775 |
| 6 | ต้นทุนผันแปรต่อกิโลกรัม (บาท/ก.ก.) (2/4) | | 117,055 |

4.5.1.5 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต PHA ของทั้ง 4 โรง

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต PHA ของทั้ง 4 โรงในระยะเวลาโครงการ 1 ปี

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ต้นทุนรวม (บาท/กก) | ต้นทุนคงที่รวม (บาท/กก) | ต้นทุนผันแปรรวม (บาท/กก) | ปริมาณการผลิต PHA (กก/ปี) | อัตราการผลิต PHA (%ของน้ำหมักภาคตะกอนแห้ง) |
|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| รัตนโกสินทร์ | 212,441 (100%) | 17,619 (8.29%) | 194,822 (91.71%) | 571 | 0.168 |
| หนองแขม | 188,185 (100%) | 9,659 (5.13%) | 178,526 (94.87%) | 3,331 | 0.184 |
| ช่องนนทรี | 174,541 (100%) | 10,165 (5.82%) | 164,377 (94.18%) | 2,416 | 0.198 |
| สี่พระยา | 180,830 (100%) | 63,775 (35.27%) | 117,055 (64.73%) | 139 | 0.292 |

จากตารางที่ 4.8 จะพบว่าต้นทุนการผลิต PHA ของทั้ง 4 โรงจะไม่เท่ากัน โรงควบคุมคุณภาพน้ำที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดคือ ช่องนนทรี ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 174,541.37 บาท/กิโลกรัม รองลงมาคือ สี่พระยา ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 180,830.31 บาท/กิโลกรัม หนองแขมมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 188,185.45 บาท/กิโลกรัม และโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่มีต้นทุนการผลิตสูงที่สุดคือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 212,440.90 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนทั้งหมดจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนคงที่รวม ซึ่งมาจากค่าก่อสร้างระบบการผลิต PHA เมื่อเรากำหนดระยะของโครงการ 1 ปี จะพบว่า ต้นทุนคงที่รวมจะแปรผกผันกับปริมาณการ

ผลิต ยิ่งผลิตได้มากจะทำให้ต้นทุนส่วนนี้ลดลง ซึ่งปริมาณการผลิตจะขึ้นอยู่กับอัตราการสะสม PHA ในกากตะกอน และปริมาณกากตะกอน และต้นทุนอีกส่วนหนึ่ง ได้แก่ ต้นทุนผันแปรรวม ซึ่งส่วนใหญ่มาจาก ค่าสารเคมี และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต โดยจะแปรผกผันกับอัตราการสะสม PHA ถ้าอัตราการสะสม PHA มาก ต้นทุนผันแปรจะลดลง

ดังนั้นถ้าต้องการลดต้นทุนในการผลิตจะสามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราการสะสม PHA ในกากตะกอน เมื่ออัตราการสะสม PHA สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณการผลิต PHA สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ลดลงตามลำดับ

4.5.2 ค่าใช้จ่ายใน ส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายใน ส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเครื่องจักร (บาท) | ค่าใช้จ่ายต่อปี | | | |
|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | | ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) | ค่าแรงงาน (บาท/ปี) | ค่าพอลิเมอร์ (บาท/ปี) | รวมทั้งหมด (บาท/ปี) |
| รัตนโกสินทร์ | 16,381,845 | 193,730 | ใช้บุคลากรผู้ควบคุมระบบ | 766,800 | 960,530 |
| หนองแขม | 460,000,000 | 3,013,380 | | 2,533,440 | 5,546,820 |
| ช่องนนทรี | 22,500,000 | 549,157 | บำบัดน้ำเสียที่ | 1,828,800 | 2,377,957 |
| สี่พระยา | 11,110,000 | 193,950 | มีอยู่เดิม | 129,600 | 323,550 |

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายใน ส่วนการบำบัดกากตะกอนจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนที่เป็นค่าเครื่องจักร ซึ่งจะลงทุนเพียงครั้งเดียว ในแต่ละโรงจะมูลค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับการออกแบบเพื่อให้รองรับปริมาณกากตะกอนของแต่ละโรง แต่ในโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนที่มากกว่าโรงอื่นๆ เนื่องจากในโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมจะรองรับกากตะกอนจากโรงอื่นด้วย เพื่อมาย่อยโดยใช้ anaerobic digester ซ้ำอีกครั้ง ดังนั้นระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมจึงมีขนาดใหญ่กว่าโรงอื่นๆ และค่าใช้จ่ายอีกส่วนหนึ่งของระบบการบำบัดกากตะกอนคือ ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าไฟฟ้า, ค่าแรงงาน และค่าพอลิเมอร์ ซึ่งจะผันแปรตรงกับปริมาณกากตะกอน ยิ่งมีปริมาณกากตะกอนมากค่าใช้จ่ายก็มากตามไปด้วย โดยค่าไฟฟ้า และค่าพอลิเมอร์ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์, โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา จะเป็นค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของแต่ละโรง แต่ค่าไฟฟ้า และค่าพอลิเมอร์ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม จะเป็นค่าใช้จ่ายรวมของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม, โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์, โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี และโรง

ควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา ส่วนค่าแรงงานจะใช้บุคลากรผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิม ค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอนเฉลี่ยของทุกโรงคือ 263 บาท/ตัน (ปริญญาญา ถึงมี, สัมภาษณ์, 27 สิงหาคม 2547)

4.5.3 เปรียบเทียบในกรณีที่มีการบำบัดกากตะกอนและในกรณีที่มีการผลิต PHA

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่มีการบำบัดกากตะกอนและในกรณีที่มีการผลิต PHA

| หัวข้อ | กรณีที่มีระบบบำบัดกากตะกอน | กรณีที่มีระบบการผลิต PHA |
|---|--|--|
| ค่าเครื่องจักร (บาท) (ต้นทุนคงที่รวม) | รัตน โกสินทร์ : 16,381,845 หนองแขม : 460,000,000 ชื่องนนทรี : 22,500,000 สีพระยา : 11,110,000 ไม่สามารถได้รับคืน | รัตน โกสินทร์ : 10,060,293 หนองแขม : 32,174,216 ชื่องนนทรี : 24,557,993 สีพระยา : 8,864,705 สามารถได้รับคืนจากการจำหน่าย PHA |
| ค่าใช้จ่ายในเวลา 1 ปี (บาท) (ต้นทุนผันแปรรวม) | รัตน โกสินทร์ : 960,530 หนองแขม : 5,546,820 ชื่องนนทรี : 2,377,957 สีพระยา : 323,550 ไม่สามารถได้รับคืน | รัตน โกสินทร์ : 111,243,462 หนองแขม : 594,671,511 ชื่องนนทรี : 397,133,969 สีพระยา : 16,270,708 สามารถได้รับคืนจากการจำหน่าย PHA |
| ประโยชน์ | ได้กากตะกอนที่ผ่านการรีด สามารถนำไปกำจัดได้ | ได้กากตะกอนที่ผ่านการ centrifuge สามารถนำไปกำจัดได้ และได้ผลิตภัณฑ์ PHA |
| สิ่งที่เหมือนกัน | ต้องนำกากตะกอนไปกำจัดต่อ (ฝังกลบ) | ต้องนำกากตะกอนไปกำจัดต่อ (ฝังกลบ) |
| สิ่งที่แตกต่าง | - เสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน 263 บาท/กก. - ไม่เกิดสารเคมีที่เป็น waste | - ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน - ได้ผลิตภัณฑ์ PHA ซึ่งมีต้นทุนการผลิตคือ รัตน โกสินทร์ : 212,441 บาท/กก หนองแขม : 188,185 บาท/กก ชื่องนนทรี : 174,541 บาท/กก สีพระยา : 180,830 บาท/กก - ได้กำไรจากการจำหน่าย PHA |

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่มีการบำบัดกากตะกอนและในกรณีที่มีการผลิต PHA (ต่อ)

| หัวข้อ | กรณีที่มีระบบบำบัดกากตะกอน | กรณีที่มีระบบการผลิต PHA |
|--------|----------------------------|---|
| | | - เกิดสารเคมีที่เป็น waste ได้แก่ รัตนโกสินทร์ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ : 593,893.08 ลิตร/ปี เมธานอล : 329,940.6 ลิตร/ปี หนองแขม โซเดียมไฮโปคลอไรท์ : 3,194,875.2 ลิตร/ปี เมธานอล : 1,774,930.68 ลิตร/ปี ช่างนนทรี โซเดียมไฮโปคลอไรท์ : 2,131,770.24 ลิตร/ปี เมธานอล : 1,184,316.84 ลิตร/ปี สีพระยา โซเดียมไฮโปคลอไรท์ : 82,978.2 ลิตร/ปี เมธานอล : 46,098.96 ลิตร/ปี |

จากตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำมีส่วนของระบบบำบัดกากตะกอนตามปกติ และในกรณีที่นำระบบการผลิต PHA มาแทนที่ส่วนของระบบการบำบัดกากตะกอน เมื่อเปรียบเทียบราคาเครื่องจักร ในกรณีที่มีระบบการผลิต PHA พบว่า โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา จะมีราคาเครื่องจักรที่ต่ำกว่ากรณีที่มีระบบบำบัดกากตะกอน ยกเว้นโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่างนนทรี สาเหตุที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมมีราคาเครื่องจักรในกรณีที่มีระบบการบำบัดกากตะกอนสูงมากเนื่องจาก จะต้องบำบัดกากตะกอนของโรงอื่นด้วย และค่าเครื่องจักรของระบบการบำบัดกากตะกอนจะเป็นค่าใช้จ่ายที่สูญเปล่า เมื่อลงทุนแล้วไม่สามารถได้รับคืน แต่เครื่องจักรของระบบการผลิต PHA จะเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่สูญเปล่า เพราะสามารถได้รับคืนจากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ PHA

ค่าใช้จ่ายในเวลา 1 ปี ของกรณีที่มีระบบบำบัดกากตะกอน หมายถึง ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน และค่าพอลิเมอร์ ในกรณีของระบบการผลิต PHA หมายถึง ค่าใช้จ่ายในส่วนของต้นทุนแปรผัน ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ, ค่าสารเคมี, ค่าน้ำ, ค่าไฟฟ้า และค่าแรงงาน ระบบการผลิต PHA จะมีค่าใช้จ่ายในเวลา 1 ปี สูงกว่าระบบการบำบัดกากตะกอนมาก แต่เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่สูญเปล่าเพราะ

สามารถได้รับคืนจากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ PHA แต่ระบบการบำบัดกากตะกอนถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าแต่เป็นค่าใช้จ่ายที่สูงเกินไปไม่สามารถได้รับคืน

เมื่อเปรียบเทียบประโยชน์ที่ได้รับพบว่า ระบบการผลิต PHA จะได้ประโยชน์มากกว่า คือ ได้ทั้งกากตะกอนที่ผ่านการ centrifuge สามารถนำไปกำจัดต่อได้ เช่นเดียวกับระบบการบำบัดกากตะกอน และได้ผลิตภัณฑ์ PHA ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าระบบการบำบัดกากตะกอน

สิ่งที่เหมือนกันของทั้ง 2 ระบบ คือ ต้องนำกากตะกอนที่ได้ไปกำจัดต่อ

สิ่งที่แตกต่างกันของทั้ง 2 ระบบ คือ ข้อดี และข้อเสีย โดยในระบบการบำบัดกากตะกอนนั้นมีข้อดีคือ ไม่เกิดสารเคมีที่เป็น waste ข้อเสียคือ เสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน 263 บาท/ตัน (ปริญญาธิงมี, สัมภาษณ์, 27 สิงหาคม 2547) ในระบบการผลิต PHA มีข้อดีคือ ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน และได้ผลิตภัณฑ์ PHA ซึ่งสามารถนำไปจำหน่ายได้ แต่ว่าต้นทุนยังแพงมาก ส่วนข้อเสียคือเกิดสารเคมีที่เป็น waste ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และเมธานอล

สรุปได้ว่า กรณีที่มีการนำระบบการผลิต PHA มาแทนที่ระบบการบำบัดกากตะกอนนั้นมีข้อดีมากกว่ากรณีที่มีส่วนของการบำบัดกากตะกอนตามปกติ โดยส่วนของค่าเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายในระบบสามารถได้รับคืน ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอน และยังได้ผลิตภัณฑ์ PHA ซึ่งเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์ ส่วนที่เหมือนกันคือต้องนำกากตะกอนไปกำจัดต่อ ส่วนข้อเสียคือ ได้ waste เกิดขึ้น และราคาต้นทุนของ PHA ยังสูงมากเมื่อเทียบกับการผลิต PHA ในระดับอุตสาหกรรม โดยในอุตสาหกรรมการผลิต PHA จะมีราคาอยู่ในช่วง 3-5 ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลกรัม (Lee,1996a) หรือ 123-205 บาท/กิโลกรัม (1 ดอลลาร์สหรัฐเท่ากับ 41 บาท) แต่จากการประมาณต้นทุนของ PHA ที่ได้จากโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง พบว่า ราคาต้นทุน PHA อยู่ในช่วง 174,541 - 212,441 บาท/กิโลกรัม ในแง่ของการตลาดเมื่อสินค้าชนิดเดียวกันที่มีราคาต่างกันมาก ผู้ซื้อย่อมซื้อสินค้าที่ราคาถูกกว่า และราคาของสินค้าชนิดเดียวกันก็ไม่ควรมีราคาที่แตกต่างกันมากเกินไป

ดังนั้น ถึงแม้ว่าการนำระบบการผลิต PHA มาแทนที่ระบบการบำบัดกากตะกอนจะมีข้อดีมากกว่า แต่ราคาของผลิตภัณฑ์ PHA นั้นยังสูงเกินกว่าที่จะจำหน่ายได้ การนำตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง มาผลิตเป็น PHA นั้นจึงยังไม่มีควมคุ้มทุน แต่ในอนาคต เมื่อมีการพัฒนาให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัดมีความสามารถในการสะสม PHA มากขึ้น เช่น การคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ที่จะใช้ในระบบบำบัด หรือการนำกากตะกอนมาเลี้ยงโดยเพิ่มอาหารและให้มีสภาวะที่ทำให้เกิดการสะสม PHA มากขึ้น ก่อนที่จะนำไปสกัด PHA ต่อไป และควรวางวิธีการจัดการกับ waste ที่เกิดขึ้นด้วย เมื่อสามารถทำให้ราคาต้นทุนของ PHA ลดลงจนใกล้เคียงกับราคาในอุตสาหกรรมการผลิต PHA เมื่อถึงเวลานั้นจึงควรจะนำระบบการผลิต PHA แทนที่ระบบการบำบัด

กากตะกอน ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ PHA ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนการบำบัดกากตะกอนได้อย่างแท้จริง

โรงบำบัดที่ควรนำระบบการผลิต PHA มาแทนที่ระบบการบำบัดกากตะกอน คือโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม เนื่องจากมีอัตราการผลิตได้มากที่สุด และมีต้นทุนคงที่ต่ำที่สุด ส่วนต้นทุนผันแปรแม้จะสูงกว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา แต่ในการผลิตจริงจะต้องมีการเพิ่มอัตราการสะสม PHA โดยการนำไปเติมสารอาหาร และเลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสม จนได้อัตราการสะสม PHA ที่ต้องการแล้วจึงนำไปผลิต ซึ่งจะทำให้ต้นทุนผันแปรนั้นลดลงกว่าเดิม ดังนั้นจึงควรพิจารณาในส่วนของต้นทุนคงที่และอัตราการผลิต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์

ปริมาณ COD มีผลต่อปริมาณ PHA ที่สะสมในเซลล์ โดยค่าเฉลี่ย PHA ที่สะสมในกากตะกอนจะแปรผันตามปริมาณ COD ที่ถูกกำจัด

ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์กับการสะสม PHA ในขณะที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ PHA จะถูกย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการนำฟอสเฟตมาเก็บสะสมในเซลล์ในรูปของโพลีฟอสเฟต ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำจึงมีค่าลดลง ส่วนในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือในถังตกตะกอนโพลีฟอสเฟตจะถูกย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานในการคั่งสารอาหารมาเก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ PHA และปล่อยฟอสเฟตออกจากเซลล์ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเพิ่มขึ้น

VFAs มีความสัมพันธ์กับการสะสม PHA โดยปริมาณ VFAs ที่เพิ่มขึ้นในถังตกตะกอนจะเป็นปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็น PHA ของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงพบว่า VFAs ที่สังเคราะห์ได้ขณะอยู่ในถังตกตะกอน จะแปรผกผันกับปริมาณ PHA ที่สะสมได้ในกากตะกอน

ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลูโคสและการสะสม PHA เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเป็นกลูโคสนั้นมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้

จำนวนเซลล์ที่สามารถสะสม PHA ได้มีถึง 96.32 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจำนวนเซลล์ถึง 34.95 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ทั้งหมด เพื่อให้ได้พลังงานในการคั่ง simple organic molecules เข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA และมีจำนวนเซลล์ 61.37 เปอร์เซ็นต์ที่สามารถย่อยสลายโพลีฟอสเฟตบางส่วนภายในเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในการคั่ง simple organic molecules เข้ามาเก็บสะสมเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ PHA

กากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยามีการสะสม PHA สูงกว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำอื่น (0.292 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha=0.05$ รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี (0.198 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง) โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (0.184 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง) และสุดท้ายคือโรงควบคุม

คุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (0.168 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรากตะกอนแห้ง) ซึ่งทั้ง 3 โรงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha=0.05$

อัตราการผลิต PHA ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะสม PHA ของจุลินทรีย์เท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณกากตะกอนของแต่ละโรงอีกด้วย ดังนั้นถ้าเปรียบเทียบอัตราการผลิต PHA จากกากตะกอนของแต่ละโรง จะพบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขมผลิต PHA ได้สูงสุดถึง 3331 กิโลกรัม/ปี รองลงมาคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรีสามารถผลิต PHA ได้ 2416 กิโลกรัม/ปี โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์สามารถผลิต PHA ได้ 571 กิโลกรัม/ปี และสุดท้ายคือโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยาซึ่งสามารถผลิต PHA ได้ 139 กิโลกรัม/ปี

การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของ PHA ที่สะสมในกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 แห่ง พบว่าเป็น PHA ชนิดพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต

โรงควบคุมคุณภาพน้ำที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดคือ ช่องนนทรี ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 174,541 บาทต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ สีพระยา ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 180,830 บาท/กิโลกรัม หนองแขมมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 188.185 บาท/กิโลกรัม และโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่มีต้นทุนการผลิตสูงที่สุดคือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ซึ่งมีราคาต้นทุนการผลิต PHA 212,441 บาท/กิโลกรัม ซึ่งต้นทุนการผลิต PHA จะขึ้นอยู่กับอัตราการสะสม PHA และอัตราการผลิต PHA

แม้ว่าการนำระบบการผลิต PHA มาแทนที่ระบบการบำบัดกากตะกอนจะมีข้อดีมากกว่า แต่ราคาของผลิตภัณฑ์ PHA นั้นยังสูงเกินกว่าที่จะจำหน่ายได้ ในอนาคตเมื่อมีการพัฒนาการผลิต PHA จนทำให้ต้นทุนลดลงจนใกล้เคียงกับราคาในอุตสาหกรรมการผลิต PHA เมื่อถึงเวลานั้นจึงควรจะนำระบบการผลิต PHA แทนที่ระบบการบำบัดกากตะกอน โดยกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่ควรจะนำมาผลิต PHA คือ โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตในส่วนของคุณทุนรวมทั้งรวมต่ำที่สุด และมีปริมาณกากตะกอนสูงที่สุด แต่ควรที่จะเพิ่มอัตราการสะสม PHA ก่อนการผลิต โดยการนำไปเติมสารอาหาร และเลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มอัตราการสะสม PHA

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิจการร่วมค้า บริษัท ยูทิลิตี้ บิสิเนส อัลลายแอนซ์ จำกัด และบริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน). 2548. สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักระบายน้ำ โครงการเดินระบบ นำร่องรักษา และจัดการบริหาร โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม รายงานประจำปี 2547 เดือน มกราคม- ธันวาคม 2547. กรุงเทพมหานคร: กิจการร่วมค้า บริษัท ยูทิลิตี้ บิสิเนส อัลลายแอนซ์ จำกัด และบริษัท เนาวรัตน์พัฒนาการ จำกัด (มหาชน). (เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์)
- จารุวรรณ เกษมทรัพย์ และเฉลิมราช วันทวิน. 2545. การสังเคราะห์พลาสติกที่ย่อยสลายได้จากสเต็มจลินทรีย์ส่วนเกินโดยใช้กรดอะซิติกที่ค่าพีเอชต่างๆ. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. หน้า 756. 24-26 ตุลาคม 2545 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร.
- ปริญญา ตังมี. วิศวกรควบคุมระบบ, โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม. สัมภาษณ์, 27 สิงหาคม 2547.
- พิจิตร เข็มมวารงกูร, เฉลิมราช วันทวิน และอรุณพ ฤทธิปัญญาวงศ์. 2545. การศึกษาเบื้องต้นของปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะสม PHA ในสเต็มจลินทรีย์ของระบบแอนแอโรบิก-เอโรบิกเอสบีอาร์. การประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 14 ของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. หน้า 62. 9-10 พฤษภาคม 2545 ศูนย์ประชุมไบเทค กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา. 2544. พลาสติก1. กรุงเทพมหานคร: สยามสปอร์ต ซินดิเคท.
- สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร. แนวทางการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย[Online]. (2547). แหล่งที่มา: <http://www.bma.go.th> [25 เมษายน 2547]

ภาษาอังกฤษ

- Anderson, A.J., and Dawes, E.A. 1990. Occurrence, metabolism, metabolic role., and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates. Microbiol. Rev. Dec: 450-472.
- APHA, AWWA and WPCI. 1985. STANDARD METHODS For the Examination of Water and Wastewater. The United States of America.
- Arun, V., Mino, T., and Matsuo, T. 2003. Biological mechanism of acetate uptake mediated by carbohydrate consumption in excess phosphorus removal systems. Water Research. 35: 565-570.

- Ballard, D.G.H., Holmes, P.A., and Snior, P.J. 1987. Formation of polymers of β -hydroxybutyric acid in bacterial cell and a comparison of the morphology of growth th formation of polyethylene in the solid state. In M. Fontanille and A. Guyot (ed.) Recent advances in mechanistic and synthetic aspects of polymerization. 215: 239-314.
- Barber, J. 2001. Metabolix [Online]. Available from : <http://www.metabolix.com/publications/pressreleases.html> [2004, January 27]
- Barker, P.S., and Dold, P.L. 1996. Denitrification behaviour in biological excess phosphorus removal activated sludge systems. Water Research. 30: 769-780.
- Brandl, H., gross, R.A., Lenz, R.W., and Fuller, R.C. 1990. Plastics from bacteria: Poly(β -hydroxyalkanoates) as natural, biocompatible, and biodegradable polymers. Adv. Biochem. Eng. 41: 78-93.
- Byrom, D. 1987. Polymer synthesis by microorganism; technology and economic. Tibtech. 5: 246-250.
- Carucci, A., Dionisi, D., Majone, M., Rolle, E., and Smurra, P. 2001. Aerobic storage by activated sludge on real wastewater. Water Research. 35: 3833-3844.
- Chen, G.Q., Konig, K.H., and Laffer, R.M. 1991 Occurrence of poly-D-(-)-3-hydroxyalkanoates in genus *Bacillus*. FEMS Microbial Lett. 84: 173-176.
- Choi, J., and Lee, S.Y. 1999. Factor affecting the economics of polyhydroxyalkanoate production by bacterial fermentation. Appl Microbiol Biotechnol. 51: 13-21.
- Chua, H., Yu, P.H.F., and Ho, L.Y. 1997. Coupling of Wastewater Treatment with Storage Polyme Production. App. Biochem. & Biotech. 63: 627-635.
- Chuang, S.H., Ouyang, C.F., Yuang, H.C., and You, S.J. 1998. Phosphorus and polyhydroxyalkanoates variation in a combined process with activated sludge and biofilm. Water Science and Technology. 37: 593-597.
- Dawes, E.A., and Senior, P.J. 1992. The role and regulaton of energy reserve polymers in microorganisms. Adv. Microbiol. Biotechnol. 37: 720-706.
- De Koning, G.J.M., Kellerhals, M., van Meurs, C., and Witholt, B. 1997. A process for the recovery of poly(hydroxyalkanoates) from *Pseudomonads*. 2. Process development and economic evaluation. Bioprocess Eng. 17: 5-21.
- Dionisi, D., Majone, M., Ramadori, R., and Beccari, M. 2001. The storage of acetate under anoxic conditions. Water Research. 35:2661-2668.

- Dircks, K., Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Mosbaek, H., and Aspegren, H. 2000. Storage and degradation of poly- β -hydroxybutyrate in activated sludge under aerobic conditions. Water Research. 35: 2277-2285.
- Doi, Y. 1990. Microbial poly(3-hydroxybutyrate). Microbial Polyesters. 2: 230-233.
- Doi, Y., Kunioka, M., Nakamura, Y., and Soag, K. 1987. Biosynthesis of copolyesters in *Alcaligenes eutrophus* H16 from ¹³C-labelled acetate and propionate. Macromolecular. 20: 2988-2991.
- Evan, D.J., and Sikdar, K.S. 1990. Biodegradable plastic. Chemtech. 5: 38-42.
- Gilbert, D.B. 2004. PHA Structure and Properties[online]. Available from: <http://www.metabolix.com/publications/pressreleases.html>[2004, January 27]
- Griffin, G.J.L. 1994. Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers. London: Blackie Academic and Professional.
- Hahn, S.K., Chang, Y.K. and Lee, S.Y. 1995. Apply. Environ. Microbiol. 61: 34.
- Harper, D.J., and Mc Kellar, J.F. 1972. Sensitised photodegradation of polypropylene. Chem. Ind. 25: 848.
- Haywood, A.C. 1958. Poly- β -hydroxybutyrate inclusion in the classification of aerobic gram-negative bacteria. Proc. Soc. Gen. Microbioa. 56: ii-iii.
- Hazenberg, W., and Witholt, B. 1997. Efficient production of medium-chainlength poly(3-hydroxyalkanoates) from octane by *Pseudomonas oleovorans*; economic considerations. Appl Microbiol Biotechnol. 48: 588-596.
- Holmes, P.A. 1985. Application of PHB-a microbial produced biodegradable thermoplastic. Phys. Technol. 16: 32-36.
- Hu, W.F., Chu, H., and Yu, P.H.F. 1997. synthesis of Poly(3-hydroxybuterate-co-3-hydroxyvalerate) from Activated Sludge. Biotechnol. Lett. 7: 695-698.
- Kalia, V.C., Raizada, N., and Sonakya, V., 2000. Bioplastics. J. Sci. Ind. Res. 59: 433-445. Cited in Reddy, C.S.K., Ghai, R., Rashmi and Kalia, 2003. polyhydroxyalkanoates: an overview. Bioresource technol. 87: 137-146.
- Kim, B.S., Lee, S.C., Lee, S.Y., Chan, H.N., Chang, Y.K., and Woo, S.I. 1994. Production of poly(3-hydroxybutyric acid) by fed-batch culture of *Alcaligenes eutrophus* with glucose concentration control. Biotechnology and Bioengineering. 43:892-898.

- Kortstee, G.J., Appeldoorn, K.J., Bonting, C.F., van Niel, E.W., and van Veen, H.W. 1994. Biology of polyphosphate-accumulating bacteria involved in enhanced biological phosphorus removal. FEMS Microbiology Reviews. 15: 137-153.
- Law, K.H., Leung, Y.C., Lawford, H., Chua, H., Wai-Hung, L., and Yu, P.H. 2001. Production of polyhydroxybutyrate by *Bacillus* species isolated from municipal activated sludge. Applied Biochemistry And Biotechnology. 91-93: 515-524.
- Leaversuch, R. 1987. Industry weights need to make polymers biodegradable. Mod. Plastic. 64: 52-55.
- Lee, S.Y. 1996a. Plastic bacteria? Progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria. TIBTECH. 14: 431-438.
- Lee, S.Y. 1996b. Review: Bacterial Polyhydroxyalkanoates. Biotechnol. Bioeng. 49: 1-14.
- Lee, S.Y., and Choi, J.I. 1998. Effect of fermentation performance on the economic of poly(3-hydroxybutyrate) production by *Alcaligenes latus*. Polym Degrad Stabil. 59: 387-393.
- Lie, E., Christensson, M., Jönsson, K., Østgaard, K., Johansson, P., and Welander, T. 1997. Carbon and phosphorus transformations in a full-scale enhanced biological phosphorus removal process. Water Research. 31: 2693-2698.
- Liu, W. 1994. Role of Glycogen in Acetate Uptake and Polyhydroxyalkanoates Synthesis in Anaerobic-Aerobic Activated Sludge with a Minimized Polyphosphate Content. J. Ferment. Biotechnol. 77: 535-540.
- Macrae, R.M., and Wilkinson, J.F. 1958. Poly- β -hydroxybutyrate metabolism in washed suspensions of *Bacillus cereus* and *Bacillus megaterium*. J. Gen. Microbiol. 19: 210-222.
- Madison, L.L., and Huisman, G.W. 1999. Metabolic engineering of poly(3-hydroxyalkanoates) from DNA to plastic. Microbiol. Mole. Biol. Rev. 63: 21-53.
- Meinhold, J., Pedersen, H., Arnold, E., Isaacs, S., and Henze, M. 1998. Effect of continuous addition of an organic substrate to the anoxic phase on biological phosphorus removal. Water Science and Technology. 38: 9-105.
- Østgaard, K., Christensson, M., Lie, E., Jönsson, K., and Welander, T. 1997. Anoxic biological phosphorus removal in a full-scale UCT process. Water Research. 31: 2719-2726.
- Petersen, B., Temmink, H., Henze, M., and Isaacs, S. 1998. Phosphate uptake kinetics in relation to PHB under aerobic conditions. Water Research. 32: 91-100.

- Reddy, C.S.K., Ghai, R., Rashmi and Kalia, 2003. polyhydroxyalkanoates: an overview. Bioresource technol. 87: 137-146.
- Ripley, L.E., Boyle, J.C., and Converse, J.C. 1986. Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-strength Wastes. JWPCF. 58: 406-411.
- Satoh, H., Mino, T., and Matsuo, T. 1992. Uptake of Organic Substrates and Accumulation of Polyhydroxyalkanoates Linked with Glycolysis of Intracellular Carbohydrates under Anaerobic Condition in the Biological Excess Phosphate Removal Process. Wat. Sci. Tech. 30: 203-211. อ้างถึงใน ธงชัย พรหมสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- Satoh, H., Mino, T., and Matsuo, T. 1998. PHA production by activated sludge. International Journal of Biological Macromolecules. 25: 105-109.
- Seeley, H.W. 1972. Microbes in action. 2nd. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Seviour, R.J., Maszenan, A.M., Soddell, J.A., Tandoi, V., Patel, B.K.C., Kong, Y., and Schumann, P. 2000. Microbiology of 'G-bacteria' in activated sludge. Environ Microbiol. 2: 581-93.
- Somiya, I., Tsuno, H., and Matsumoto, M. 2003. Phosphorus release-storage reaction and organic substrate behavior in biological phosphorus removal. Water Research. 22: 49-58.
- Trinder, P. Ann. 1969. Clin. Biochem. 6:24.
- Van Loosdrecht, M.C.M., Pot, M.A., and Heijnen, J.J. 1998. Importance of bacterial storage polymers in bioprocesses. Water Science and Technology. 35: 41-47.
- Wang, J.C., and Park, J.K. 1998. Effect of wastewater composition on microbial populations in biological phosphorus removal processes. Water Science and Technology. 38: 159-166.
- Wang, S. 1941. A direct smear method for counting microscopic particles in fluid. J Bacteriol. 42: 297-319.
- Witholt, B., and Kessler, B. 1999. Perspectives of medium chain length poly(hydroxyalkanoates), a versatile set of bacterial bioplastics. Current Opinion in Biotechnology. 10: 279-285.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำกรุงเทพมหานคร

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

1.1 ตะแกรงหยาบ (coarse screens) ในทางน้ำเข้าหน้าสถานีสูบน้ำได้ติดตั้งตะแกรงหยาบไว้ 2 ชุด เพื่อกรองเอาเศษขยะและของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 60 มิลลิเมตร ออกจากน้ำเสีย เพื่อป้องกันการติดขัดและความเสียหายให้กับเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ความสูงของเหล็กซี่ตะแกรงคือ 1.40 เมตร ความลึกของน้ำที่ไหลผ่านมากที่สุดเท่ากับ 0.94 เมตร และเปิดใช้งานตะแกรงทีละชุดสลับกัน เพื่อสามารถซ่อมแซมได้หากจำเป็น

1.2 สถานีสูบน้ำ (pumping station) สถานีสูบน้ำได้ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถรับได้ทั้งน้ำเสียและน้ำฝนที่ปนเข้ามาในท่อระบายน้ำ โดยจะสูบน้ำเสียขึ้นสู่ระบบบำบัดในกรณีที่น้ำมีปริมาณไม่เกินกว่า 5 เท่าของอัตราไหลขณะไม่มีฝนตก (5 DWF) และจะสูบน้ำระบายลงคลองบางลำพูโดยตรง หากเกิดฝนตกที่ทำให้อัตราไหลสูงกว่า 5 เท่าของอัตราไหลขณะไม่มีฝนตก เนื่องจากน้ำเสียที่จะเข้ามามีอัตราไหลสูงจนเกินไปและถูกเจือจางมากแล้ว หากสูบน้ำเข้ามาบำบัดจะไม่คุ้มค่าและอาจทำให้ระบบล้นไหลได้

1.3 ตะแกรงละเอียด (fine screens) ในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ได้มีการติดตั้งตะแกรงละเอียด 3 ชุด ซึ่งมีระยะห่างระหว่างซี่ตะแกรง 10 มิลลิเมตร ไว้หลังจากสถานีสูบน้ำ ก่อนน้ำจะเข้าไปยังถังแยกทรายเพื่อกรองเอาเศษของแข็งขนาดเล็กกว่า 60 มิลลิเมตร ที่ลอดผ่านตะแกรงหยาบมาได้ ออก ทั้งนี้เหล็กซี่ตะแกรงที่ใช้สูง 1.40 เมตร ความลึกของน้ำที่ไหลผ่านมากที่สุด 1.00 เมตร และเปิดใช้งานตะแกรงทีละชุดสลับกัน เพื่อสามารถซ่อมแซมได้หากจำเป็น

1.4 ถังแยกกรวดทราย (aerated grit chamber) ถังแยกกรวดทราย แยกกรวดทรายออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยกระบวนการตกตะกอนไปพร้อมๆ กับมีการเติมอากาศลงไปใต้น้ำ ทรายที่ตกลงสู่ก้นบ่อจะถูกรวบรวมโดยเครื่องกวาด เพื่อส่งแยกออกจากถัง ในระบบนี้ประกอบด้วยถังแยกกรวดทราย 4 ถัง เดินเครื่องพร้อมกัน โดยแต่ละถังมีขนาด 2.65 x 3.30 x 3.00 เมตร

1.5 ถังผันน้ำทิ้ง (diversion chamber) ทำหน้าที่ผันน้ำส่วนที่เกินกว่า 4,200 ลูกบาศก์เมตร/ชม. (2.5 DWF) ที่ตกลงคลองบางลำพูในช่วงฝนตก น้ำเสียที่เข้ามาในโรงบำบัดน้ำเสียและผ่านกระบวนการบำบัดขั้นแรกมาแล้ว ถ้ามีปริมาณมากเกินกว่า 4,200 ลูกบาศก์เมตร/ชม. (2.5 DWF) ก็ จะไหลล้น Side Weir ที่ตกลงคลองบางลำพู คงมีปริมาณน้ำเสียเพียง 4,200 ลูกบาศก์เมตร/ชม. (2.5 DWF) ที่ส่งไปบำบัดต่อในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา

1.6 การวัดอัตราการไหล (flow measurement) ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดขั้นที่สอง ในที่นี้ใช้ Magnetic Flow Meter ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่มีความแน่นอนสูงและซ่อมบำรุงได้ง่าย

1.7 ถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 1 (first stage aeration tank) ถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 1 มีจำนวน 2 ถัง ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถรับภาระน้ำเสียต่อน้ำหนักตะกอนในสัดส่วนที่สูง (อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อมวลตะกอนสูงเท่ากับ 5 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลกรัมตะกอนต่อวัน) สถานะนี้จะทำให้ตะกอนมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และทำให้ระบบปรับตัวได้ดีกับการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของภาระสารอินทรีย์และภาระน้ำเข้า เมื่อมีการเติมอากาศให้กับกากตะกอนย้อนกลับและน้ำเสีย จุลินทรีย์จากกากตะกอนย้อนกลับจะเริ่มแบ่งตัวอย่างรวดเร็วและเกาะกันเป็นกลุ่มกากตะกอนใหม่ กากตะกอนใหม่นี้เรียกว่า “กากตะกอนเร่ง” เพราะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศที่เติบโตอย่างรวดเร็วพร้อมกับสิ่งมีชีวิตในน้ำขนาดเล็กที่อาศัยจุลินทรีย์นั้นเป็นอาหารพร้อมด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ การเจริญเติบโตของกากตะกอนจุลินทรีย์นี้เป็นเหตุให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลงและแปรสภาพไปอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีและกากตะกอนแขวนลอยอยู่ที่ประมาณ 50–70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเติมอากาศเป็นระบบอัดอากาศผ่านท่อเซรามิกพอรุน โดยควบคุมความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำไว้ที่ 0.30–1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาเติมอากาศ 4-6 ชั่วโมง ปริมาตรถังเติมอากาศใบละ 399 ลูกบาศก์เมตร คือ ขนาด 21.00 x 3.80 x 5.00 เมตร

1.8 ถังตกตะกอนระหว่างกลาง (intermediate clarifier) ถังตกตะกอนระหว่างกลาง 2 ถัง มีไว้เพื่อให้กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 1 จมลงแยกออกจากน้ำ จากนั้นกากตะกอนที่ได้บางส่วนจะถูกนำกลับไปยังเติมอากาศตามสัดส่วนสารอินทรีย์ต่อกากตะกอนที่ออกแบบไว้ (กากตะกอนย้อนกลับประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์) สำหรับกากตะกอนส่วนเกินจะได้สูบไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอนต่อไป ถังตกตะกอนระหว่างกลางแต่ละใบมีขนาด 10.40 x 38.00 x 4.00 เมตร และพื้นที่ผิวของถังแต่ละใบคือ 395 ตารางเมตร

1.9 สถานีแยกขยะและสูบกากตะกอนกลับ-กากตะกอนส่วนเกิน สำหรับขั้นตอนที่ 1 (filter screen and return-excess sludge for the first stage) สถานีแยกขยะทำหน้าที่กรองคัดเศษขยะออกจากกากตะกอนที่สูบออกมาจากถังตกตะกอนระหว่างกลาง กากตะกอนนี้เป็นกากตะกอนอายุสั้น ซึ่งบางส่วนจะนำกลับไปยังถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 1 สำหรับกากตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอน เครื่องสูบกากตะกอนที่ใช้เป็นแบบจมน้ำได้ทั้งหมด 5 เครื่อง โดยเป็นแบบปรับรอบได้จำนวน 3 เครื่อง แต่ละเครื่องสามารถสูบได้ 275/550 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ใช้สูบกากตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 1 ส่วนอีก 2 เครื่องเป็นขนาด 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ใช้สูบกากตะกอนส่วนเกินไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอน

1.10 ถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 2 (second stage aeration tank) ถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 2 เป็นถังปฏิกริยาแบบมีอากาศและกึ่งไร้อากาศ ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปพร้อมๆ กับการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีต่างๆ ไป ถังเติมอากาศนี้ประกอบไปด้วยถังไหลตามยาวหรือคลองวนเวียนสองถัง ในแต่ละถังจะประกอบไปด้วยสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนมีอากาศ โดยจะมีการเติมอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบเซรามิกทรงกระบอก ในขณะที่ส่วนที่สองเป็นส่วนกึ่งไร้อากาศ คือ มีใบพัดติดตั้งเอาไว้ เพื่อกวนกากตะกอนให้กระจายสัมผัสน้ำเสียได้ดีทั่วทั้งถัง ในส่วนที่มีการเติมอากาศ แบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียและไนโตรเจนในสารอินทรีย์ไปเป็นไนเตรท ส่วนของถังที่ไม่มีการเติมอากาศ แบคทีเรียจะใช้ไนเตรท เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์แทนออกซิเจนและทำให้ไนเตรทเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน กระบวนการสลายไนเตรทนี้สามารถประหยัดออกซิเจน ซึ่งก็คือค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศไปได้ เพราะเหตุที่กากตะกอนในถังนี้ถูกออกแบบให้รับภาระสารอินทรีย์ต่อมวลกากตะกอนต่ำ จึงทำให้กากตะกอนจากถังนี้มีความหนาแน่นสูงและจมน้ำดี

1.11 ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย (final clarifier) ถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย ทำให้กากตะกอนจากถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 2 แยกออกจากน้ำใส โดยกระบวนการตกตะกอน กากตะกอนบางส่วนจะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 2 สำหรับกากตะกอนส่วนเกินจะถูกส่งไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอน เพื่อรักษาความเข้มข้นกากตะกอนในถังเติมอากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

1.12 สถานีสูบกากตะกอนกลับ-กากตะกอนส่วนเกิน สำหรับขั้นตอนที่ 2 (return and excess sludge pumps for the second stage) ในสถานีสูบกากตะกอนกลับนี้มีเครื่องสูบกากตะกอนกลับแบบจมน้ำได้ และปรับความเร็วรอบได้ จำนวน 4 เครื่องติดตั้งอยู่ แต่ละเครื่องมีความสามารถในการสูบ 375/675 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เพื่อใช้สูบกากตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 2 สำหรับกากตะกอนส่วนเกิน จะมีเครื่องสูบแบบจมน้ำได้อีก 2 เครื่อง สำหรับกากตะกอนส่วนเกิน

จะมีเครื่องสูบลบแบบจมน้ำได้อีก 2 เครื่อง สามารถสูบลบออกได้เครื่องละ 39 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่งไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอน

1.13 ถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอน (sludge thickener) ถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอนนี้ จะทำให้กากตะกอนเข้มข้นขึ้นโดยกระบวนการตกตะกอน พร้อมทั้งแยกน้ำใสออก กากตะกอนที่ผ่านถังนี้แล้วจะเพิ่มความเข้มข้นของของแข็งจาก 1 เปอร์เซ็นต์ เป็น 5 เปอร์เซ็นต์ กากตะกอนนี้จะถูกนำไปผสมกับสารโพลีเมอร์เหลวก่อนจะเข้าสู่เครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอน ส่วนน้ำใสจะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศขั้นตอนที่ 1 ภายในระบบนี้ มีถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอนเป็นถังทรงกระบอก จำนวน 2 ถัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 เมตร จุน้ำที่ศูนย์กลางลึก 3.77 เมตร

1.14 เครื่องเตรียมโพลีเมอร์อัตโนมัติและสูบลบจ่ายโพลีเมอร์ (automatic polymer preparation and polymer dosing pump) สารโพลีเมอร์เหลวในปริมาณที่เหมาะสมแน่นอน เป็นสิ่งจำเป็นต้องใช้ในการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนให้พร้อมเข้าสู่เครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องเตรียมโพลีเมอร์เหลวอัตโนมัติ ซึ่งจะผสมผงโพลีเมอร์และกวนให้เข้ากันดีกับน้ำจนกระทั่งละลายดีแล้วจึงสูบลบจ่ายเข้าไปผสมกับกากตะกอนในอัตราที่เหมาะสมต่อไป

1.15 เครื่องสูบกากตะกอน (สำหรับรีดน้ำออก) (belt press feeding pump) เครื่องสูบกากตะกอน มีหน้าที่ส่งกากตะกอนส่วนเกินจากถังเพิ่มความเข้มข้นกากตะกอนไปยังเครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอน ในส่วนนี้มีเครื่องสูบกากตะกอนติดตั้งไว้จำนวน 3 เครื่อง ซึ่งแต่ละเครื่องมีความสามารถสูบลบได้ 9–16 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

1.16 เครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอนและถังพักกากตะกอนแห้ง (sludge dewatering machine and dry sludge hopper) เครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอนเข้มข้น ทำให้กากตะกอนแห้งจับเป็นก้อนและสะดวกต่อการขนส่ง โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีเครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอนจำนวน 2 เครื่อง แต่ละเครื่องมีความสามารถที่จะรีดกากตะกอนได้ 14 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กากตะกอนที่รีดแล้วจะมีปริมาณของแข็งสูงได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บกากตะกอนแห้งขนาดความจุ 5 ตัน เพื่อรอการเก็บขนต่อไป

1.17 ระบบจ่ายโซดาไฟ (caustic soda feeding system) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ เป็นด่างอย่างแรงที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชของน้ำในโรงควบคุมคุณภาพน้ำ จึงจำเป็นต้องมีถังจำนวนสองใบ เพื่อเตรียมโซดาไฟให้เป็นสารละลาย และมีเครื่องสูบลบจ่ายเข้าถังในอัตราที่เหมาะสม (แต่ละเครื่องสูบลบได้ 0.50–5.00 ลิตรต่อนาที)

1.18 ระบบจ่ายสารส้ม (alum feeding system) สารส้มน้ำหรือสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต จำเป็นในการตกตะกอนของฟอสเฟอรัสในส่วนของถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย มีถังเก็บสารส้มเข้มข้นที่จัดเตรียมไว้สำหรับใช้งานจำนวน 2 ใบ เพื่อส่งต่อไปยังถังเจือจางสารส้มในถังอีกสองใบ ก่อนที่จะสูบจ่ายเข้าไปยังถังตกตะกอนขั้นตอนที่ 2 ในปริมาณที่เหมาะสม

1.19 ระบบกำจัดกลิ่น (deodorization system) ระบบกำจัดกลิ่น มีจำนวน 2 บ่อ เป็นบ่อคอนกรีตที่เคลือบผิวด้วยสารป้องกันการกัดกร่อน โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 224 ตารางเมตร มีหน้าที่กำจัดกลิ่นที่เกิดระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีความสามารถในการบำบัด 36,970 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ละบ่อประกอบด้วย 2 ส่วน โดยอากาศที่มีกลิ่นเหม็นจะถูกรวบรวมมาจากจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย และส่งผ่านระบบปรับสภาพอากาศ ซึ่งเป็นส่วนแรกของระบบ มีขนาดของบ่อ 9.35 x 1.00 x 1.80 เมตร ทำหน้าที่ปรับสภาพของอากาศ โดยสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนมากับอากาศลดอุณหภูมิ และเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ หลังจากนั้น อากาศก็จะไหลเข้าสู่ช่องกระจายอากาศทางด้านล่างตลอดตามแนวความยาวของบ่อส่วนที่สอง คือ ระบบตัวกรองด้านชีววิทยา มีขนาดของบ่อ 9.35 x 11.50 x 1.70 เมตร ซึ่งมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเกาะติดอยู่กับวัสดุตัวกรอง เพื่อทำหน้าที่แยกองค์ประกอบของสารปนเปื้อนที่ทำให้อากาศมีกลิ่นเหม็นออก กลายเป็นอากาศที่ไม่มีกลิ่นเหม็น หลังจากนั้น อากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วก็จะระบายออกสู่บรรยากาศ

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

2.1 ตะแกรงดักขยะ (screen) ลักษณะเป็นตะแกรงชนิด Bar Screen มีช่องห่างขนาด 6 มม. ใช้สำหรับดักขยะหรือเศษสิ่งของขนาดใหญ่ที่ปนมากับน้ำเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้เศษขยะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย มีการทำงานโดยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

2.2 การกำจัดกรวดทราย (grit removal) การกำจัดกรวดทรายที่ปนมากับน้ำเสีย ให้กำจัดออกไปก่อนเข้าสู่ถังเติมอากาศ ใช้วิธี Vortex Method

2.3 ถังเติมอากาศ (aeration tank) ถังเติมอากาศเป็นถังปฏิกรณ์ที่มีการจ่ายออกซิเจนให้แบคทีเรีย และจัดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ พร้อมทั้งทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้แปรสภาพเป็นกากตะกอนแบคทีเรีย ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมอากาศในระบบบำบัดเป็นแบบ Vertical Loop Reactors (VLR) ซึ่งมีลักษณะคล้ายระบบ oxidation ditch ที่มีการไหลเวียนของน้ำและเติมออกซิเจนในแนวนอน ขณะที่การไหลเวียนของน้ำเสียใน VLR เป็นแบบแนวตั้งไหลจากบนลงล่าง โดยตรงส่วนตรงกลางของถัง

ปฏิกิริยาเคมี baffle กันในแนวราบ ส่วนของถังปฏิกิริยาถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนล่างของถัง จะมีเครื่องเติมอากาศด้วย fine bubble membrane diffusers ซึ่งจะมีข้อดีคือ อากาศจะใช้เวลาเพิ่มขึ้น 6 เท่าก่อนขึ้นสู่ผิวน้ำ และส่วนบนของถัง จะมีการเติมอากาศด้วย disc aerators ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้

ถังปฏิกิริยาแบบ VLR ในระบบนี้ออกแบบมาให้ใช้จำนวน 4 ถัง โดยน้ำเสียจะไหลผ่านจนครบทุกถังก่อนออกสู่ถังตกตะกอน ในขั้นตอนนี้แต่ละถังปฏิกิริยาจะถูกควบคุมให้ค่า DO ในแต่ละถังแตกต่างกัน คือ มีค่า DO เป็น 1 mg/l , 0 mg/l , 1 mg/l , และ 2 mg/l ตามลำดับ โดยแต่ละถังปฏิกิริยาจะเดินระบบในกระบวนการที่แตกต่างกันดังนี้คือ

- VLR 1 เดินระบบในแบบ contact stabilization process
- VLR 2 เดินระบบในแบบ anoxic process
- VLR 3 เดินระบบในแบบ aerobic process
- VLR 4 เดินระบบในแบบ aerobic process

แต่การเดินระบบในปัจจุบันจะแตกต่างจากที่ได้ออกแบบระบบไว้ เนื่องจากระบบนี้จะออกแบบมาเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีค่า BOD ประมาณ 150 แต่ปัจจุบันนี้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่า BOD ประมาณ 50 ดังนั้นใน VLR 2 จึงไม่สามารถควบคุมค่า DO ให้ต่ำลงถึง 0 ได้ เพราะค่า BOD ต่ำจุลินทรีย์จึงไม่สามารถใช้ออกซิเจนจนหมดได้ ทำให้ VLR 2 เดินระบบในแบบ aerobic process ส่วน VLR 1 เดินระบบในแบบ contact stabilization process เนื่องจากต้องรับจุลินทรีย์ที่ส่งกลับมาจากบ่อตกตะกอนขั้นที่ 2 ดังนั้นค่า DO ในแต่ละถังแตกต่างกัน คือ มีค่า DO เป็น 1 mg/l , 1 mg/l , 1 mg/l , และ 2 mg/l ตามลำดับ โดยแต่ละถังปฏิกิริยาจะเดินระบบในกระบวนการที่แตกต่างกันดังนี้คือ

- VLR 1 เดินระบบในแบบ contact stabilization process
- VLR 2 เดินระบบในแบบ aerobic process
- VLR 3 เดินระบบในแบบ aerobic process
- VLR 4 เดินระบบในแบบ aerobic process

2.4 ถังตกตะกอนขั้นที่ 2 น้ำเสียจากถังเติมอากาศ จะผ่านเข้าสู่ถังตกตะกอนขั้นที่ 2 เพื่อให้เกิดการตกตะกอนแบบที่เรียกกันว่าตัวกันเป็นก้อนและมีน้ำหนักรวม โดยขั้นตอนนี้ก่อนเข้าสู่ถังตกตะกอนนี้

จะมีการเติม ferric chloride (FeCl_3) เพื่อกำจัดฟอสฟอรัส แต่ในปัจจุบันฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณน้อยมากจึงไม่มีการเติม ferric chloride

2.5 ถังเติมอากาศขั้นสุดท้าย น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเข้าสู่ถังเติมอากาศขั้นสุดท้ายเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำทิ้งจนได้ค่า DO ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด และป้องกันไม่ให้น้ำทิ้งที่บำบัดแล้วก่อผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

2.6 กากตะกอนส่วนเกิน กากตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งหมุนเวียนกลับมาใช้ในถังเติมอากาศ ส่วนที่เหลือนำไปบำบัดต่อไป

2.7 การบำบัดกากตะกอน กากตะกอนที่เกิดจากโรงบำบัดน้ำเสียจะนำไปเก็บไว้ใน aerated holding basins เพื่อนำไปกำจัดต่อไปด้วย belt filter presses

3. กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

3.1 inlet chamber รับน้ำเสียจากระบบท่อรวม ภายในมีตะแกรงหยาบสำหรับดักขยะที่มากับน้ำเสีย

3.2 inlet pumping station สูบน้ำเสียที่ถูกดักขยะออกไปแล้ว ไปยัง dynamic separator

3.3 storm chamber กรณีที่ฝนตกหนัก รับน้ำเสียที่ถูกเจือจางโดยน้ำฝนแล้ว ซึ่งไหลล้นมาจาก inlet pumping station และไหลต่อไปที่ storm pumping station

3.4 dynamic separator เป็นถังกลมมีหน้าที่แยกของแข็งหยาบและกรวดทรายออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการหมุนวนของแข็งหยาบจะตกลงที่ก้นถัง มี submersible pump สูบน้ำเสียที่ก้นถังไปแยกต่อไป ส่วนน้ำเสียส่วนบนจะไหลต่อไปที่ band screen

3.5 screening and grit removal ประกอบด้วย underflow screen และ grit classifier เพื่อแยกของแข็งหยาบออกจากน้ำเสียที่ถูกสูบมาจาก dynamic separator ก่อนไหลต่อไปที่ band screen

3.6 band screen เป็น fine screen แบบ vertical มีหน้าที่แยกของแข็งที่มีขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย

3.7 storm pumping station รับน้ำจาก storm chamber และน้ำจะถูกส่งต่อไปยัง storm screen

3.8 storm screen จะมีทั้งชนิด rotary storm screen และ static storm screen ทำหน้าที่แยกของแข็งที่ปะปนมากับน้ำ ก่อนปล่อยลงสู่คลองซ่องนทรีที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา

3.9 CASS feed pumping station สูบน้ำเสียที่ผ่านการแยกขยะและของแข็งออกแล้วไปสู่การบำบัดขั้นที่สอง (CASS)

3.10 CASS basin บำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่า BOD ของแฉ่งแขวนลอย ในโตรเจน และฟอสฟอรัส มีการเติมอากาศโดยใช้ air blower จ่ายลมผ่านหัวเติมอากาศ (air diffuser) มีเครื่องสูบลมกากตะกอนหมุนเวียนกากตะกอนในถังและมีเครื่องสูบลมกากตะกอนส่วนเกินออกจากถัง ภายในถังมี decanter เพื่อรับน้ำใสที่บำบัดแล้วออกจากถัง การทำงานของถังจะทำงานแบบมีขั้นตอน (sequence batch) สารเคมี alum ใช้สำหรับช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัส

3.11 outfall cascade รับน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้ว ช่วยให้น้ำทิ้งมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจากการสัมผัสกับอากาศก่อนไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา

3.12 night soil reception tank รับของเสียจากบ่อเกรอะโดยรถดูดส้วม ภายในถังประกอบด้วย screen & compactor และ grit classifier screen เพื่อแยกของแข็งหยาบออกจากของเสีย มี submersible mixer เพื่อกวนไม่ให้เกิดการทับถมของกากตะกอน และมีเครื่องสูบลมกากตะกอนออกจากถัง (ปัจจุบันได้ยกเลิกการใช้แล้ว)

3.13 sludge buffer เป็นถังเก็บกากตะกอนที่มาจาก CASS basin และ night soil reception tank ภายในถังมีการเติมอากาศจาก air blower ด้วย (ปัจจุบันมีแต่กากตะกอนที่มาจาก CASS basin เนื่องจากปัจจุบันได้ยกเลิกการใช้ night soil reception tank)

3.14 combined belt press เป็นเครื่องรีดกากตะกอนที่มาจาก sludge buffer tank กากตะกอนจะถูกสัมผัสกับโพลีเมอร์ เพื่อให้สามารถรีดน้ำออกจากกากตะกอนได้ง่าย หลังจากผ่านการรีดกากตะกอนจะแห้งจะถูกผสมกับ lime

3.15 sludge lime conditioning ช่วยปรับสภาพกากตะกอนแห้งให้แห้งมากขึ้นให้ได้ 20 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะนำไปกำจัด

4. กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

4.1 เครื่องดักขยะขนาดหยาบ (automatic bar screen) ทำหน้าที่ดักขยะชิ้นใหญ่ออกจากน้ำเสีย การทำงานเป็นลักษณะแบบ automatic โดยใช้ timer ควบคุมการทำงานทุก 15 นาที

4.2 เครื่องดักขยะชนิดละเอียด (fine screen) ทำหน้าที่ดักขยะที่มีขนาดเล็ก ๆ

4.3 บ่อรวบรวมน้ำเสีย (equalization) ทำหน้าที่รวบรวมน้ำเสีย ภายในมี mixer ทำหน้าที่กวนน้ำเสียให้มีคุณสมบัติเท่าเทียมกันหมด ก่อนจะสูบลำเลียงไปสู่ขบวนการบำบัดของแต่ละขั้น

4.4 บ่อดักกรวด-ทราย (aerated grit chamber) ทำหน้าที่แยกกรวด-ทรายและคราบไขมันออกจากน้ำเสีย เป็นการป้องกันไม่ให้เครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหาย โดยใช้ air lift pump แยกกรวด-ทรายออกทิ้งไป

4.5 บ่อสัมผัส (contact tank) ทำหน้าที่เป็นถังเติมอากาศให้กากตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด สัมผัสจับหรือดูดซับสารอินทรีย์ หรือสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่ผ่านขบวนการบำบัดทางกายภาพมาแล้ว

4.6 บ่อดกตะกอน (clarifier tank) ทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอน เมื่อกากตะกอนจุลินทรีย์จมลงสู่ก้นถัง ภายในจะมีเครื่องกวาดกากตะกอน (scraper) ทำหน้าที่กวาดกากตะกอนให้มารวมกันอยู่ใน Hopper ก้นถัง ส่วนน้ำใสด้านบนจะไหลล้นออกมาเป็นน้ำผ่านการบำบัด

4.7 บ่อสเปรย์น้ำ (spray water tank) ทำหน้าที่รับน้ำที่ผ่านการบำบัด จากนั้นจะสูบน้ำบางส่วนไปสเปรย์รดพองในถังเติมอากาศ และบางส่วนจะถูกส่งไปผ่านถังกรองทราย (sand filter) แล้วจ่ายให้กับรถบรรทุกน้ำไปใช้ประโยชน์ในการล้างพื้นถนน รดน้ำต้นไม้ตามเกาะกลางถนน ส่วนใหญ่ที่เหลือจะถูกส่งไปฝังฆ่าเชื้อโรค

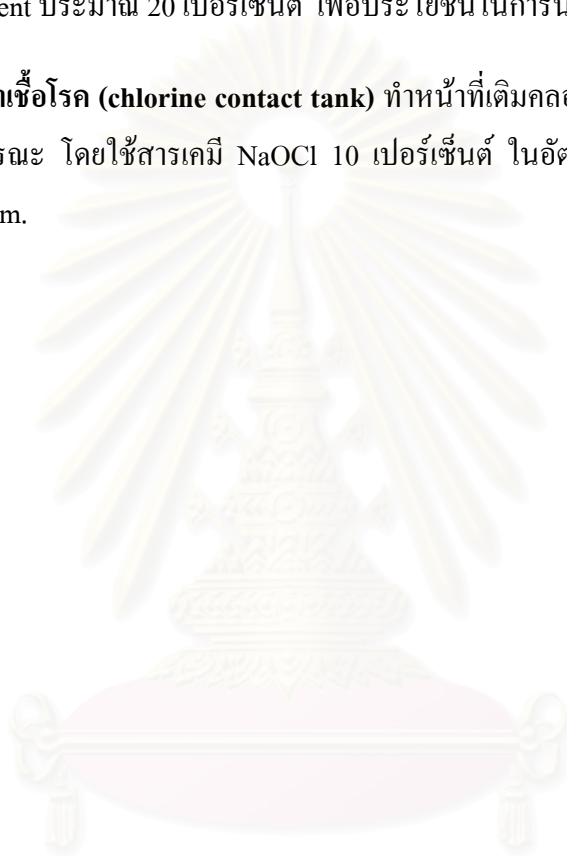
4.8 บ่อย่อยสลาย (stabilization tank) ทำหน้าที่เป็นถังเติมอากาศ (reaeration tank) แก่จุลินทรีย์ที่หมุนเวียนอยู่ในระบบ เพื่อให้กากตะกอนจุลินทรีย์มีระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือสิ่งสกปรกจนหมด ก่อนกลับไปสู่อุปกรณ์สัมผัส (contact tank) อีกครั้ง

4.9 ถังทำให้กากตะกอนเข้มข้น (sludge thickener tank) ทำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอน โดยสูบกากตะกอนส่วนเกินมาในถัง sludge thickener tank แล้วป้อน polymer จากเครื่องเตรียม polymer มาช่วยในการตกตะกอนให้เข้มข้นขึ้น มีถัง flocculation tank ช่วยในการกวนผสม

4.10 ถังกักเก็บและย่อยกากตะกอน (sludge storage tank) ทำหน้าที่กักเก็บรวบรวมกากตะกอนส่วนเกิน และเกิดการย่อยสลายของกากตะกอนบางส่วน โดยภายในมีเติมอากาศอยู่ด้วย

4.11 เครื่องรีดกากตะกอน (dewatering machine) เป็นเครื่องรีดน้ำออกจากกากตะกอน โดยใช้ polymer ช่วย กล่าวคือ ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะของเหลวให้มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว โดยมีค่า solid content ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อประโยชน์ในการนำกากตะกอนไปกำจัดต่อไป

4.12 บ่อฆ่าเชื้อโรค (chlorine contact tank) ทำหน้าที่เติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยใช้สารเคมี NaOCl 10 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 4 ppm. เพื่อให้มีคลอรีนตกค้าง 0.5 ถึง 1 ppm.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางผลการวิเคราะห์

ตารางที่ ข.1 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| ครั้งที่ | ปริมาณ COD (มก./ล.) | | | | | | | | | ประสิทธิภาพ การบำบัด (%) |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------------|--------------------------------|
| | RR1 | RC1 | R1 | RR2 | RC2 | R2 | RE | RR1-R2 | ลดลง ¹ | |
| 1 | 58.56 | 29.01 | 29.02 | 29.10 | 17.61 | 17.50 | 18.90 | 41.07 | 39.66 | 67.72 |
| 2 | 60.38 | 36.02 | 34.31 | 30.70 | 18.80 | 19.10 | 20.01 | 41.28 | 40.37 | 66.87 |
| 3 | 82.76 | 40.60 | 39.40 | 35.91 | 24.80 | 24.02 | 23.01 | 58.75 | 59.75 | 72.20 |
| 4 | 71.10 | 37.30 | 39.99 | 32.40 | 16.80 | 18.20 | 21.20 | 52.91 | 49.90 | 70.19 |
| 5 | 105.87 | 41.50 | 39.29 | 39.70 | 28.01 | 27.20 | 25.81 | 78.67 | 80.06 | 75.62 |
| 6 | 70.00 | 39.10 | 32.51 | 31.98 | 20.00 | 16.81 | 19.49 | 53.19 | 50.50 | 72.15 |
| 7 | 65.76 | 39.60 | 37.00 | 35.09 | 17.30 | 17.11 | 16.80 | 48.65 | 48.95 | 74.45 |
| 8 | 60.44 | 33.73 | 32.66 | 33.38 | 19.33 | 20.50 | 18.37 | 39.94 | 42.07 | 69.60 |
| เฉลี่ย | 71.86 | 37.11 | 35.52 | 33.53 | 20.33 | 20.05 | 20.45 | 51.80 | 51.41 | 71.10 |

¹ ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor (RR1) และน้ำออกจากระบบ (RE)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

| ครั้งที่ | ปริมาณ COD (มก./ล.) | | | | | | ประสิทธิภาพการบำบัด(%) |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------------|
| | NR | NC | N | NE | NR-N | ลดลง ¹ | |
| 1 | 69.54 | 20.51 | 17.61 | 16.50 | 51.93 | 53.04 | 76.28 |
| 2 | 80.17 | 25.40 | 24.20 | 22.03 | 55.97 | 58.14 | 72.53 |
| 3 | 64.00 | 20.31 | 17.20 | 15.20 | 46.80 | 48.80 | 76.25 |
| 4 | 60.91 | 15.31 | 12.60 | 15.50 | 48.31 | 45.41 | 74.55 |
| 5 | 90.71 | 23.89 | 24.49 | 23.50 | 66.21 | 67.20 | 74.09 |
| 6 | 73.74 | 26.80 | 22.70 | 20.00 | 51.04 | 53.74 | 72.88 |
| 7 | 60.90 | 19.50 | 16.01 | 14.40 | 44.89 | 46.50 | 76.35 |
| 8 | 63.01 | 22.16 | 20.01 | 19.63 | 43.00 | 43.38 | 68.84 |
| เฉลี่ย | 70.37 | 21.74 | 19.35 | 18.35 | 51.02 | 52.03 | 73.97 |

¹ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor (NR) และน้ำออกจากระบบ (NE)

ตารางที่ ข.3 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

| ครั้งที่ | ปริมาณ COD (มก./ล.) | | | | | | ประสิทธิภาพการบำบัด(%) |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------------|
| | CR | CA | CC | CE | CR-CC | ลดลง ¹ | |
| 1 | 74.28 | 35.76 | 20.95 | 20.58 | 53.33 | 53.69 | 72.29 |
| 2 | 90.10 | 38.60 | 23.10 | 22.42 | 67.00 | 67.68 | 75.12 |
| 3 | 69.99 | 20.02 | 16.90 | 16.66 | 53.09 | 53.34 | 76.20 |
| 4 | 75.04 | 23.98 | 24.16 | 23.32 | 50.87 | 51.72 | 68.92 |
| 5 | 93.38 | 33.69 | 26.40 | 25.39 | 66.98 | 68.00 | 72.81 |
| 6 | 70.57 | 27.30 | 17.60 | 16.68 | 52.97 | 53.89 | 76.36 |
| 7 | 68.38 | 28.51 | 16.50 | 17.21 | 51.89 | 51.17 | 74.83 |
| 8 | 60.53 | 23.68 | 20.38 | 20.09 | 40.15 | 40.44 | 66.82 |
| เฉลี่ย | 75.28 | 28.94 | 20.75 | 20.29 | 54.54 | 54.99 | 72.92 |

¹ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor (CR) และน้ำออกจากระบบ (CE)

ตารางที่ ข.4 แสดงปริมาณ COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

| ครั้งที่ | ปริมาณ COD (มก./ล.) | | | | | | ประสิทธิภาพการบำบัด(%) |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------------|
| | SR | SC | S | SE | SR-S | ลดลง ¹ | |
| 1 | 102.95 | 20.80 | 24.97 | 20.43 | 77.98 | 82.52 | 80.15 |
| 2 | 105.50 | 25.77 | 20.66 | 16.65 | 84.85 | 88.86 | 84.22 |
| 3 | 81.99 | 16.69 | 22.00 | 16.39 | 59.99 | 65.60 | 80.00 |
| 4 | 89.68 | 24.71 | 19.39 | 15.35 | 70.29 | 74.33 | 82.88 |
| 5 | 102.09 | 29.00 | 24.99 | 24.18 | 77.10 | 77.90 | 76.31 |
| 6 | 99.66 | 20.00 | 21.90 | 20.34 | 77.76 | 79.32 | 79.59 |
| 7 | 98.26 | 25.79 | 17.60 | 17.95 | 80.67 | 80.31 | 81.73 |
| 8 | 104.39 | 21.89 | 20.67 | 20.00 | 83.72 | 84.39 | 80.84 |
| เฉลี่ย | 98.06 | 23.08 | 21.52 | 18.91 | 76.54 | 79.15 | 80.72 |

¹ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor (SR) และน้ำออกจากระบบ (SE)

ตารางที่ ข.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า COD ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ย COD (มก. /ล.) | | | ประสิทธิภาพการบำบัด(%) |
|--------------------|-------------------------|--------|-------------------|------------------------|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | ลดลง ¹ | |
| รัตนโกสินทร์ | 71.86 | 20.45 | 51.41 | 71.10 |
| หนองแขม | 70.37 | 18.35 | 52.03 | 73.97 |
| ช่องนนทรี | 75.28 | 20.29 | 54.99 | 72.92 |
| สี่พระยา | 98.06 | 18.91 | 79.15 | 80.72 |

¹ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor และน้ำออกจากระบบ

ตารางที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และปริมาณ PHA

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ย COD (มก./ล.) | | | ค่าเฉลี่ย PHA (%ของน้ำหนักกาก ตะกอนแห้ง) |
|--------------------|------------------------|--------|-------------------|--|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | ลดลง ¹ | |
| รัตนโกสินทร์ | 71.857 | 20.449 | 51.810 | 0.149 |
| หนองแขม | 70.370 | 18.345 | 52.030 | 0.184 |
| ช่องนนทรี | 75.284 | 20.293 | 54.540 | 0.198 |
| สี่พระยา | 98.064 | 18.913 | 76.540 | 0.292 |

¹ ส่วนต่างของค่า COD ในน้ำก่อนเข้า reactor และน้ำในถังตกตะกอน (ในโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์จะใช้น้ำในถังตกตะกอนขั้นที่ 2 และใช้ค่าเฉลี่ย PHA ในจุดเก็บตัวอย่าง RSR2)

ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| ครั้งที่ | ปริมาณ TP (มก./ล.) | | | | | | | | | | ประสิทธิภาพ การบำบัด (%) |
|----------|--------------------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|-------------------|--------------------------------|
| | RR1 | RC1 | R1 | RR2 | RC2 | R2 | RE | R1-RC1 | R2-RC2 | ลดลง ¹ | |
| 1 | 3.61 | 2.08 | 2.33 | 2.34 | 0.12 | 0.24 | 0.23 | 0.25 | 0.12 | 3.38 | 93.68 |
| 2 | 3.78 | 2.06 | 2.37 | 2.35 | 0.30 | 0.55 | 0.54 | 0.31 | 0.25 | 3.25 | 85.83 |
| 3 | 5.80 | 2.61 | 3.14 | 3.10 | 1.07 | 1.45 | 1.43 | 0.53 | 0.38 | 4.36 | 75.29 |
| 4 | 5.23 | 2.54 | 2.95 | 2.97 | 0.40 | 0.64 | 0.63 | 0.41 | 0.24 | 4.60 | 87.90 |
| 5 | 6.50 | 3.09 | 3.86 | 3.91 | 1.32 | 1.92 | 1.83 | 0.77 | 0.60 | 4.68 | 71.90 |
| 6 | 4.65 | 2.41 | 2.78 | 2.82 | 0.58 | 0.90 | 0.88 | 0.37 | 0.32 | 3.78 | 81.17 |
| 7 | 4.44 | 2.12 | 2.48 | 2.50 | 0.37 | 0.62 | 0.63 | 0.36 | 0.25 | 3.81 | 85.86 |
| 8 | 3.70 | 2.34 | 2.65 | 2.65 | 0.80 | 1.05 | 1.04 | 0.31 | 0.25 | 2.66 | 71.98 |
| เฉลี่ย | 4.71 | 2.41 | 2.82 | 2.83 | 0.62 | 0.92 | 0.90 | 0.41 | 0.30 | 3.81 | 81.70 |

¹ ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้า reactor (RR1) และน้ำออกจากระบบ (RE)

ตารางที่ ข.8 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

| ครั้งที่ | ปริมาณ TP (มก./ล.) | | | | | | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) |
|----------|--------------------|------|------|------|------|-------------------|-------------------------|
| | NR | NC | N | NE | N-NC | ลดลง ¹ | |
| 1 | 1.78 | 0.64 | 1.05 | 1.1 | 0.41 | 0.68 | 38.17 |
| 2 | 1.96 | 0.80 | 1.27 | 1.29 | 0.47 | 0.67 | 34.02 |
| 3 | 1.63 | 0.64 | 0.98 | 0.99 | 0.35 | 0.64 | 39.41 |
| 4 | 1.51 | 0.54 | 0.86 | 0.9 | 0.32 | 0.61 | 40.32 |
| 5 | 2.26 | 0.90 | 1.49 | 1.5 | 0.59 | 0.76 | 33.52 |
| 6 | 1.89 | 0.76 | 1.18 | 1.22 | 0.43 | 0.67 | 35.35 |
| 7 | 1.35 | 0.46 | 0.79 | 0.76 | 0.33 | 0.59 | 43.79 |
| 8 | 1.59 | 0.75 | 1.09 | 1.12 | 0.34 | 0.47 | 29.69 |
| เฉลี่ย | 1.75 | 0.69 | 1.09 | 1.11 | 0.40 | 0.64 | 36.78 |

¹ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้า reactor (NR) และน้ำออกจากระบบ (NE)

ตารางที่ ข.9 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

| ครั้งที่ | ปริมาณ TP (มก./ล.) | | | | | | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) |
|----------|--------------------|------|------|------|-------|-------------------|-------------------------|
| | CR | CA | CC | CE | CC-CA | ลดลง ¹ | |
| 1 | 2.32 | 0.96 | 1.38 | 1.40 | 0.42 | 0.92 | 39.78 |
| 2 | 2.58 | 1.07 | 1.56 | 1.60 | 0.49 | 0.99 | 38.17 |
| 3 | 1.96 | 0.55 | 0.92 | 0.95 | 0.37 | 1.01 | 51.45 |
| 4 | 2.22 | 0.63 | 0.95 | 1.07 | 0.32 | 1.15 | 51.83 |
| 5 | 2.64 | 0.93 | 1.48 | 1.53 | 0.55 | 1.11 | 42.03 |
| 6 | 2.08 | 0.75 | 1.13 | 1.15 | 0.38 | 0.93 | 44.64 |
| 7 | 1.86 | 0.75 | 0.99 | 1.11 | 0.24 | 0.75 | 40.26 |
| 8 | 1.75 | 0.52 | 0.90 | 0.85 | 0.38 | 0.90 | 51.57 |
| เฉลี่ย | 2.18 | 0.77 | 1.16 | 1.21 | 0.39 | 0.97 | 44.55 |

¹ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้า reactor (CR) และน้ำออกจากระบบ (CE)

ตารางที่ ข.10 แสดงปริมาณ TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

| ครั้งที่ | ปริมาณ TP (มก./ล.) | | | | | | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) |
|----------|--------------------|------|------|------|------|-------------------|-------------------------|
| | SR | SC | S | SE | S-SC | ลดลง ¹ | |
| 1 | 2.33 | 0.70 | 1.43 | 1.38 | 0.73 | 0.95 | 40.70 |
| 2 | 2.59 | 0.85 | 1.62 | 1.68 | 0.77 | 0.91 | 35.24 |
| 3 | 1.46 | 0.50 | 1.04 | 1.07 | 0.54 | 0.39 | 26.78 |
| 4 | 1.61 | 0.50 | 1.08 | 1.10 | 0.58 | 0.51 | 31.68 |
| 5 | 1.80 | 0.70 | 1.37 | 1.37 | 0.67 | 0.43 | 23.97 |
| 6 | 1.97 | 0.86 | 1.54 | 1.55 | 0.68 | 0.42 | 21.28 |
| 7 | 2.10 | 0.70 | 1.42 | 1.37 | 0.72 | 0.73 | 34.82 |
| 8 | 2.44 | 0.82 | 1.55 | 1.51 | 0.74 | 0.93 | 38.08 |
| เฉลี่ย | 2.04 | 0.70 | 1.38 | 1.38 | 0.68 | 0.66 | 31.57 |

¹ ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้า reactor (SR) และน้ำออกจากระบบ (SE)

ตารางที่ ข.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า TP ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ย TP (มก./ล.) | | | ประสิทธิภาพการบำบัด (%) |
|--------------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------------------|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | ลดลง ¹ | |
| รัตนโกสินทร์ | 4.71 | 0.90 | 3.81 | 81.70 |
| หนองแขม | 1.75 | 1.11 | 0.64 | 36.78 |
| ช่องนนทรี | 2.18 | 1.21 | 0.97 | 44.55 |
| สี่พระยา | 2.04 | 1.38 | 0.66 | 31.57 |

¹ ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้าระบบและน้ำออกจากระบบ

ตารางที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TP และปริมาณ PHA

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ย TP (มก./ล.) | | | ค่าเฉลี่ย PHA (%ของน้ำหนักกาก ตะกอนแห้ง) |
|--------------------|-----------------------|--------|------------------------|--|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | เพิ่มขึ้น ¹ | |
| รัตนโกสินทร์ | 4.714 | 0.900 | 0.300 | 0.149 |
| หนองแขม | 1.746 | 1.110 | 0.404 | 0.183 |
| ช่องนนทรี | 2.176 | 1.207 | 0.391 | 0.198 |
| สี่พระยา | 2.038 | 1.378 | 0.680 | 0.292 |

¹ฟอสฟอรัสที่ถูกคายออกจากเซลล์เมื่ออยู่ในถังตกตะกอน (ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนและน้ำในถังตกตะกอน ส่วนในโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์จะใช้ส่วนต่างของค่า TP ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนขั้นที่2 และในถังตกตะกอนขั้นที่2 และใช้ค่าเฉลี่ย PHA ในจุดเก็บตัวอย่าง RSR2)

ตารางที่ ข.13 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| ครั้งที่ | ปริมาณ VFAs (มก./ล.) | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | RR1 | RC1 | R1 | RR2 | RC2 | R2 | RE | R1-RC1 | R2-RC2 |
| 1 | 30.60 | 21.21 | 27.40 | 26.92 | 21.01 | 27.99 | 26.99 | 6.19 | 6.98 |
| 2 | 18.48 | 10.40 | 16.40 | 16.45 | 9.91 | 16.44 | 15.80 | 6.00 | 6.53 |
| 3 | 16.40 | 9.79 | 13.50 | 13.40 | 6.00 | 11.50 | 10.48 | 3.71 | 5.50 |
| 4 | 20.16 | 12.90 | 17.80 | 17.61 | 11.32 | 17.83 | 17.96 | 4.91 | 6.51 |
| 5 | 26.00 | 18.10 | 19.55 | 19.60 | 13.60 | 16.19 | 16.24 | 1.45 | 2.59 |
| 6 | 19.10 | 11.20 | 16.27 | 16.30 | 11.50 | 17.45 | 16.01 | 5.07 | 5.95 |
| 7 | 21.91 | 12.44 | 17.85 | 17.44 | 12.20 | 18.70 | 18.50 | 5.40 | 6.50 |
| 8 | 23.98 | 16.86 | 22.85 | 22.30 | 13.80 | 20.30 | 19.94 | 5.99 | 6.50 |
| เฉลี่ย | 22.08 | 14.11 | 18.95 | 18.75 | 12.42 | 18.30 | 17.74 | 4.84 | 5.88 |

ตารางที่ ข.14 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

| ครั้งที่ | ปริมาณ VFAs (มก./ล.) | | | | |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|------|
| | NR | NC | N | NE | N-NC |
| 1 | 31.80 | 24.90 | 29.89 | 28.59 | 4.99 |
| 2 | 23.28 | 15.01 | 19.78 | 18.19 | 4.78 |
| 3 | 18.30 | 9.04 | 14.54 | 13.92 | 5.50 |
| 4 | 21.36 | 13.28 | 19.03 | 18.48 | 5.75 |
| 5 | 25.90 | 16.00 | 19.00 | 18.20 | 3.00 |
| 6 | 17.76 | 10.01 | 14.82 | 13.60 | 4.81 |
| 7 | 23.01 | 13.90 | 19.65 | 18.90 | 5.75 |
| 8 | 24.88 | 14.40 | 20.00 | 19.71 | 5.60 |
| เฉลี่ย | 23.29 | 14.57 | 19.59 | 18.70 | 5.02 |

ตารางที่ ข.15 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

| ครั้งที่ | ปริมาณ VFAs (มก./ล.) | | | | |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | CR | CA | CC | CE | CC-CA |
| 1 | 45.02 | 27.20 | 31.28 | 31.13 | 4.09 |
| 2 | 16.96 | 10.56 | 14.19 | 14.02 | 3.63 |
| 3 | 22.80 | 10.60 | 15.33 | 15.13 | 4.73 |
| 4 | 18.04 | 9.60 | 13.67 | 13.54 | 4.07 |
| 5 | 31.60 | 23.36 | 26.16 | 26.10 | 2.79 |
| 6 | 24.00 | 14.81 | 19.53 | 19.30 | 4.73 |
| 7 | 27.44 | 20.01 | 25.14 | 25.02 | 5.13 |
| 8 | 33.26 | 25.60 | 31.06 | 30.96 | 5.46 |
| เฉลี่ย | 27.39 | 17.72 | 22.04 | 21.90 | 4.33 |

ตารางที่ ข.16 แสดงปริมาณ VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

| ครั้งที่ | ปริมาณ VFAs (มก./ล.) | | | | |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|------|
| | SR | SC | S | SE | S-SC |
| 1 | 32.81 | 21.60 | 23.36 | 24.40 | 1.75 |
| 2 | 18.36 | 6.24 | 7.73 | 9.16 | 1.49 |
| 3 | 17.60 | 7.76 | 11.34 | 11.01 | 3.58 |
| 4 | 16.56 | 10.40 | 13.46 | 14.08 | 3.06 |
| 5 | 22.00 | 10.80 | 13.05 | 14.20 | 2.26 |
| 6 | 18.40 | 10.43 | 12.50 | 14.24 | 2.07 |
| 7 | 19.70 | 13.20 | 15.13 | 15.60 | 1.93 |
| 8 | 24.58 | 14.50 | 16.11 | 18.31 | 1.60 |
| เฉลี่ย | 21.25 | 11.87 | 14.08 | 15.13 | 2.22 |

ตารางที่ ข.17 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า VFAs ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ย VFAs (มก. /ล.) | | |
|--------------------|--------------------------|--------|-------------------|
| | น้ำเข้า | น้ำออก | ลดลง ¹ |
| รัตนโกสินทร์ | 22.080 | 17.740 | 4.340 |
| หนองแขม | 23.285 | 18.700 | 4.585 |
| ช่องนนทรี | 27.390 | 21.90 | 5.490 |
| สี่พระยา | 21.250 | 15.125 | 6.125 |

¹ ส่วนต่างของค่า VFAs ในน้ำก่อนเข้า reactor และน้ำที่ออกจากระบบ

ตารางที่ ข.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFAs และปริมาณ PHA

| โรงควบคุมคุณภาพน้ำ | ค่าเฉลี่ย VFAs (มก./ล.) | | | ค่าเฉลี่ย PHA (% ของน้ำหมักกาก ตะกอนแห้ง) |
|--------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|---|
| | น้ำก่อนเข้าถัง ตกตะกอน | น้ำในถัง ตกตะกอน | เพิ่ม ¹ | |
| รัตน โกสินทร์ | 12.417 | 18.300 | 5.883 | 0.149 |
| หนองแขม | 14.57 | 19.59 | 5.022 | 0.184 |
| ช่องนนทรี | 17.72 | 22.04 | 4.327 | 0.198 |
| สี่พระยา | 11.87 | 14.08 | 2.218 | 0.292 |

¹VFAs ที่สังเคราะห์ได้ขณะอยู่ในถังตกตะกอน (ส่วนต่างของค่า VFAs ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนและน้ำในถังตกตะกอน แต่โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตน โกสินทร์จะใช้ส่วนต่างของค่า VFAs ในน้ำก่อนเข้าถังตกตะกอนขั้นที่2 และในถังตกตะกอนขั้นที่2 และใช้ค่าเฉลี่ย PHA ในจุดเก็บตัวอย่าง RSR2)

ตารางที่ ข.19 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| จุดเก็บ ตัวอย่าง | จำนวนจุลินทรีย์ที่มีการสะสม PHA (10^{11} cell/l) | | | | | | | | | S.D. |
|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| RSR1 | 16.15 | 10.71 | 14.84 | 14.86 | 11.76 | 15.38 | 18.85 | 13.38 | 14.49 | 2.56 |
| RSR2 | 4.02 | 6.04 | 6.66 | 10.03 | 5.12 | 5.70 | 10.54 | 9.08 | 7.15 | 2.42 |
| RSN | 11.02 | 8.81 | 5.82 | 9.04 | 6.71 | 7.83 | 8.68 | 4.57 | 7.81 | 2.04 |
| ESC | 9.81 | 9.05 | 9.05 | 8.92 | 4.49 | 8.89 | 12.70 | 11.56 | 9.31 | 2.41 |
| ESS | 6.69 | 6.58 | 5.51 | 9.50 | 9.03 | 8.02 | 9.81 | 5.50 | 7.58 | 1.75 |

ตารางที่ ข.20 แสดงจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| จุดเก็บ ตัวอย่าง | จำนวนจุลินทรีย์ที่มีการสะสมโพลีฟอสเฟต (10^{11} cell/l) | | | | | | | | | S.D. |
|---------------------|---|------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| RSR1 | 13.32 | 7.02 | 11.43 | 11.75 | 7.35 | 11.64 | 14.58 | 8.70 | 10.72 | 2.76 |
| RSR2 | 2.08 | 4.06 | 4.27 | 8.11 | 2.23 | 2.23 | 9.04 | 6.02 | 4.75 | 2.72 |
| RSN | 8.43 | 6.48 | 4.14 | 7.04 | 4.02 | 4.41 | 5.91 | 1.30 | 5.22 | 2.21 |
| ESC | 7.56 | 6.50 | 7.17 | 7.21 | 1.35 | 5.83 | 9.40 | 8.41 | 6.68 | 2.42 |
| ESS | 3.82 | 3.34 | 3.10 | 7.46 | 6.42 | 5.03 | 7.77 | 1.70 | 4.83 | 2.21 |

ตารางที่ ข.21 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| จุดเก็บ ตัวอย่าง | จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (10^{11} cell/l) | | | | | | | | | S.D. |
|---------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| RSR1 | 16.62 | 11.31 | 15.04 | 15.04 | 12.03 | 16.10 | 19.02 | 14.06 | 14.90 | 2.49 |
| RSR2 | 4.81 | 6.42 | 6.78 | 10.43 | 5.79 | 6.01 | 11.05 | 9.74 | 7.63 | 2.39 |
| RSN | 11.74 | 9.41 | 5.91 | 8.95 | 7.29 | 8.52 | 9.10 | 5.71 | 8.33 | 1.99 |
| ESC | 9.79 | 9.39 | 9.52 | 9.78 | 4.81 | 9.42 | 12.98 | 12.04 | 9.72 | 2.40 |
| ESS | 6.93 | 6.92 | 5.92 | 9.78 | 9.49 | 8.52 | 10.40 | 6.40 | 7.87 | 1.72 |

ตารางที่ ข.22 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR1)

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง RSR1 | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | % |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| Total ¹ (10 ¹¹ cell/l) | 16.62 | 11.31 | 15.04 | 15.04 | 12.03 | 16.10 | 19.02 | 14.06 | 14.90 | 100.00 |
| PHA ² (10 ¹¹ cell/l) | 16.15 | 10.71 | 14.84 | 14.86 | 11.76 | 15.38 | 18.85 | 13.38 | 14.49 | 97.24 |
| Poly-P ³ (10 ¹¹ cell/l) | 13.32 | 7.02 | 11.43 | 11.75 | 7.35 | 11.64 | 14.58 | 8.70 | 10.72 | 71.96 |

¹จำนวนเซลล์ทั้งหมด

²จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

³จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

ตารางที่ ข.23 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (จุดเก็บตัวอย่าง RSR2)

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง RSR2 | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|--------|--------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | % |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| Total ¹ (10 ¹¹ cell/l) | 4.81 | 6.42 | 6.78 | 10.43 | 5.79 | 6.01 | 11.05 | 9.74 | 7.63 | 100.00 |
| PHA ² (10 ¹¹ cell/l) | 4.02 | 6.04 | 6.66 | 10.03 | 5.12 | 5.70 | 10.54 | 9.08 | 7.15 | 93.70 |
| Poly-P ³ (10 ¹¹ cell/l) | 2.08 | 4.06 | 4.27 | 8.11 | 2.23 | 2.23 | 9.04 | 6.02 | 4.75 | 62.33 |

¹จำนวนเซลล์ทั้งหมด

²จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

³จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

ตารางที่ ข.24 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแวม

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง RSN | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | % |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| Total ¹ (10 ¹¹ cell/l) | 11.74 | 9.41 | 5.91 | 8.95 | 7.29 | 8.52 | 9.10 | 5.71 | 8.33 | 100.00 |
| PHA ² (10 ¹¹ cell/l) | 11.02 | 8.81 | 5.82 | 9.04 | 6.71 | 7.83 | 8.68 | 4.57 | 7.81 | 93.77 |
| Poly-P ³ (10 ¹¹ cell/l) | 8.43 | 6.48 | 4.14 | 7.04 | 4.02 | 4.41 | 5.91 | 1.30 | 5.22 | 62.63 |

¹จำนวนเซลล์ทั้งหมด

²จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

³จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

ตารางที่ ข.25 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง ESC | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | % |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| Total ¹ (10 ¹¹ cell/l) | 9.79 | 9.39 | 9.52 | 9.78 | 4.81 | 9.42 | 12.98 | 12.04 | 9.72 | 100.00 |
| PHA ² (10 ¹¹ cell/l) | 9.81 | 9.05 | 9.05 | 8.92 | 4.49 | 8.89 | 12.70 | 11.56 | 9.31 | 95.81 |
| Poly-P ³ (10 ¹¹ cell/l) | 7.56 | 6.50 | 7.17 | 7.21 | 1.35 | 5.83 | 9.40 | 8.41 | 6.68 | 68.74 |

¹จำนวนเซลล์ทั้งหมด

²จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

³จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

ตารางที่ ข.26 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา

| พารามิเตอร์ | จุดเก็บตัวอย่าง ESS | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------|------|------|------|------|-------|------|--------|--------|
| | ครั้งที่เก็บตัวอย่าง | | | | | | | | เฉลี่ย | % |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| Total ¹ (10 ¹¹ cell/l) | 6.93 | 6.92 | 5.92 | 9.78 | 9.49 | 8.52 | 10.40 | 6.40 | 7.87 | 100.00 |
| PHA ² (10 ¹¹ cell/l) | 6.69 | 6.58 | 5.51 | 9.50 | 9.03 | 8.02 | 9.81 | 5.50 | 7.58 | 96.32 |
| Poly-P ³ (10 ¹¹ cell/l) | 3.82 | 3.34 | 3.10 | 7.46 | 6.42 | 5.03 | 7.77 | 1.70 | 4.83 | 61.37 |

¹จำนวนเซลล์ทั้งหมด

²จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

³จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

ตารางที่ ข.27 แสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

| จุดเก็บตัวอย่าง | Total ³ (%) | PHA ¹ (%) | Poly-P ² (%) |
|-----------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| RSR1 | 100.00 | 97.24 | 71.96 |
| RSR2 | 100.00 | 93.70 | 62.33 |
| RSN | 100.00 | 93.77 | 62.63 |
| ESC | 100.00 | 95.81 | 68.74 |
| ESS | 100.00 | 96.32 | 61.37 |
| เฉลี่ย | 100.00 | 95.37 | 65.41 |

¹จำนวนเซลล์ทั้งหมด

²จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

³จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

ตารางที่ ข.28 แสดงปริมาณ PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

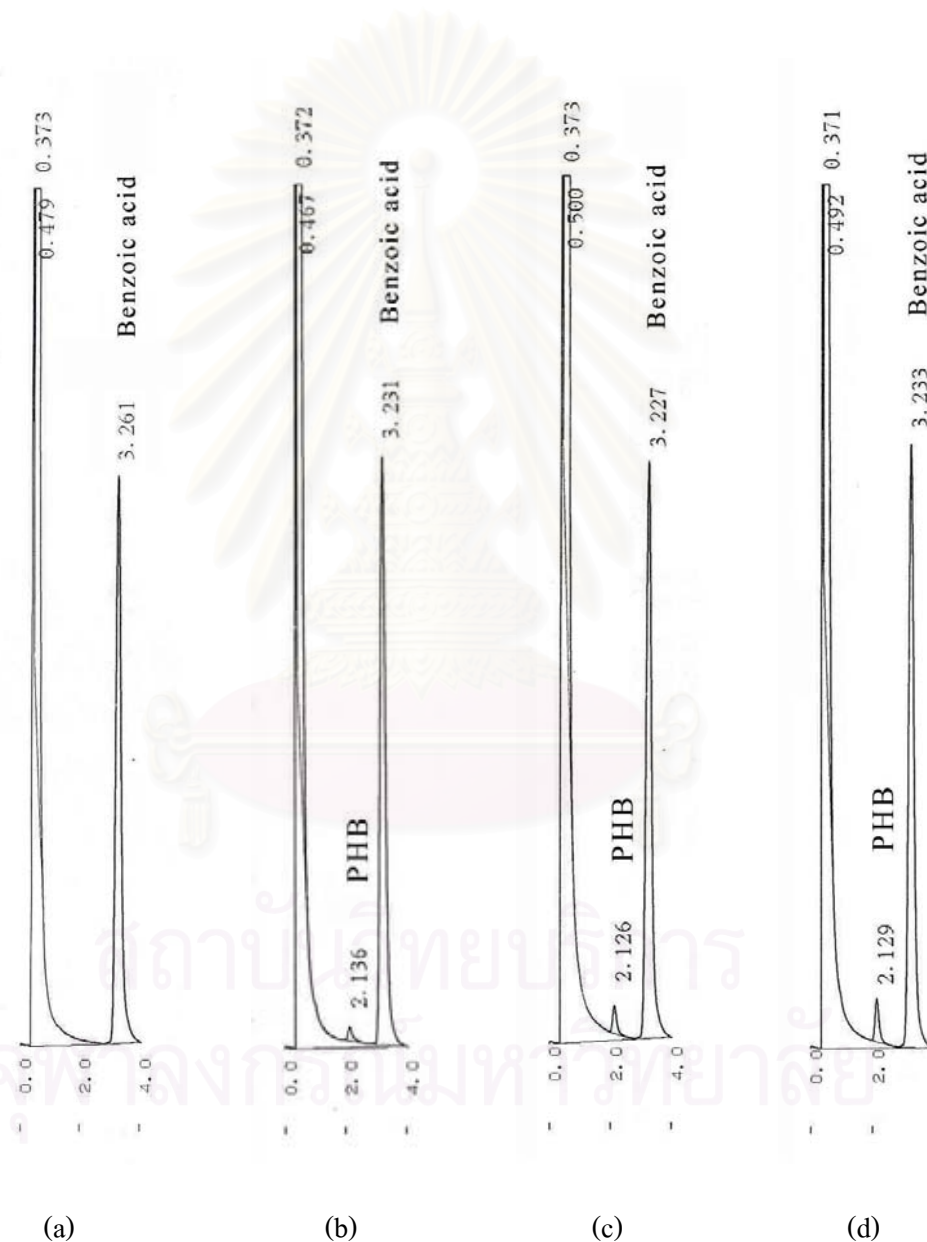
| จุดเก็บ ตัวอย่าง | ปริมาณ PHA (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง) | | | | | | | | | S.D. |
|------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|
| | ครั้งที่ | | | | | | | | เฉลี่ย | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| RSR1 | 0.136 | 0.143 | 0.233 | 0.186 | 0.323 | 0.178 | 0.165 | 0.142 | 0.188 | 0.063 |
| RSR2 | 0.107 | 0.125 | 0.171 | 0.120 | 0.276 | 0.145 | 0.123 | 0.123 | 0.149 | 0.055 |
| ค่าเฉลี่ย ¹ | 0.122 | 0.134 | 0.202 | 0.153 | 0.299 | 0.162 | 0.144 | 0.132 | 0.168 ^a | 0.058 |
| RSN | 0.182 | 0.212 | 0.167 | 0.151 | 0.261 | 0.193 | 0.150 | 0.155 | 0.184 ^a | 0.038 |
| ESC | 0.195 | 0.252 | 0.180 | 0.194 | 0.263 | 0.182 | 0.166 | 0.152 | 0.198 ^a | 0.039 |
| ESS | 0.310 | 0.326 | 0.235 | 0.259 | 0.289 | 0.295 | 0.305 | 0.316 | 0.292 ^b | 0.030 |

¹ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง RSR1 และ RSR2

ตัวอักษรด้านขวามือที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณ PHA เฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับ $\alpha=0.05$

ภาคผนวก ค

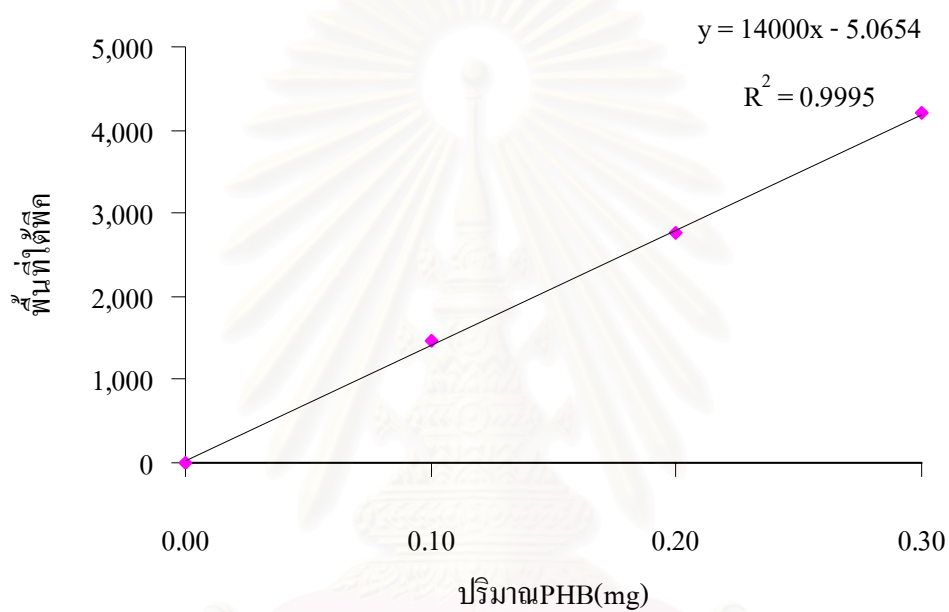
โครมาโตแกรมที่วิเคราะห์โดยวิธี Gas Chromatography



รูปที่ ค.1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน PHB โดย (a) คือ PHB 0 mg (b) คือ PHB 0.1 mg (c) คือ PHB 0.2 mg และ (d) คือ PHB 0.3 mg

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐาน

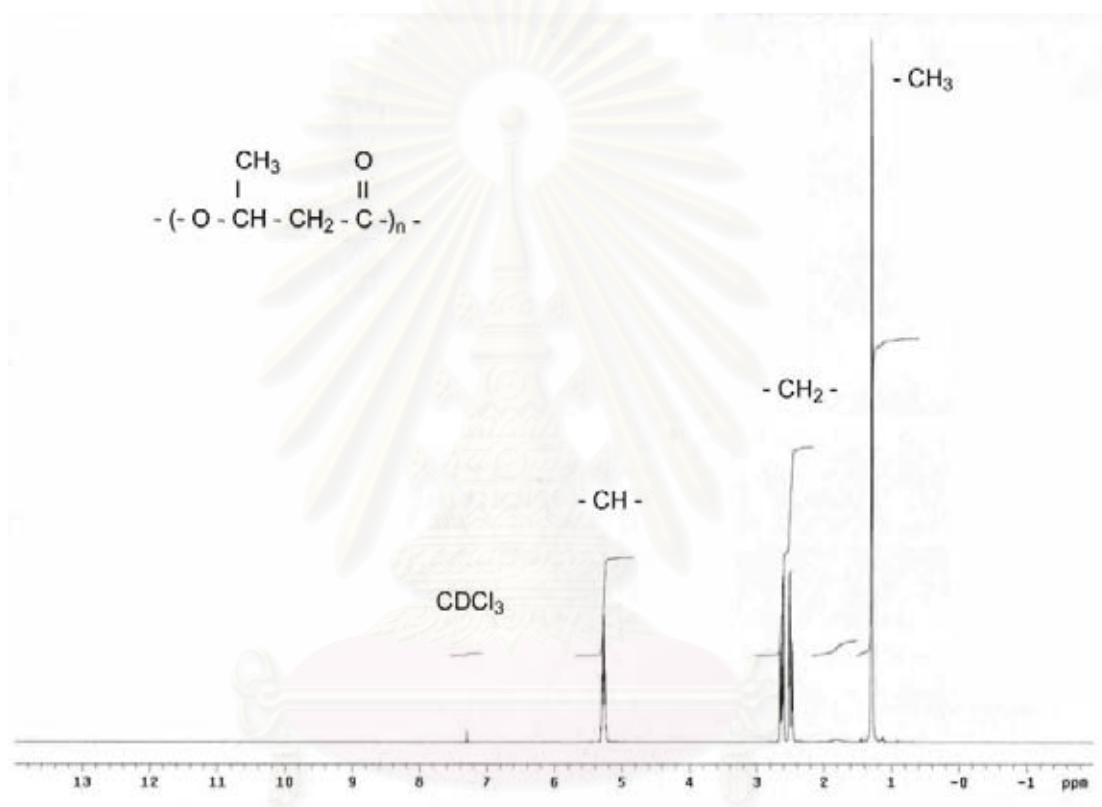


รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้คำนวณหาปริมาณ PHA

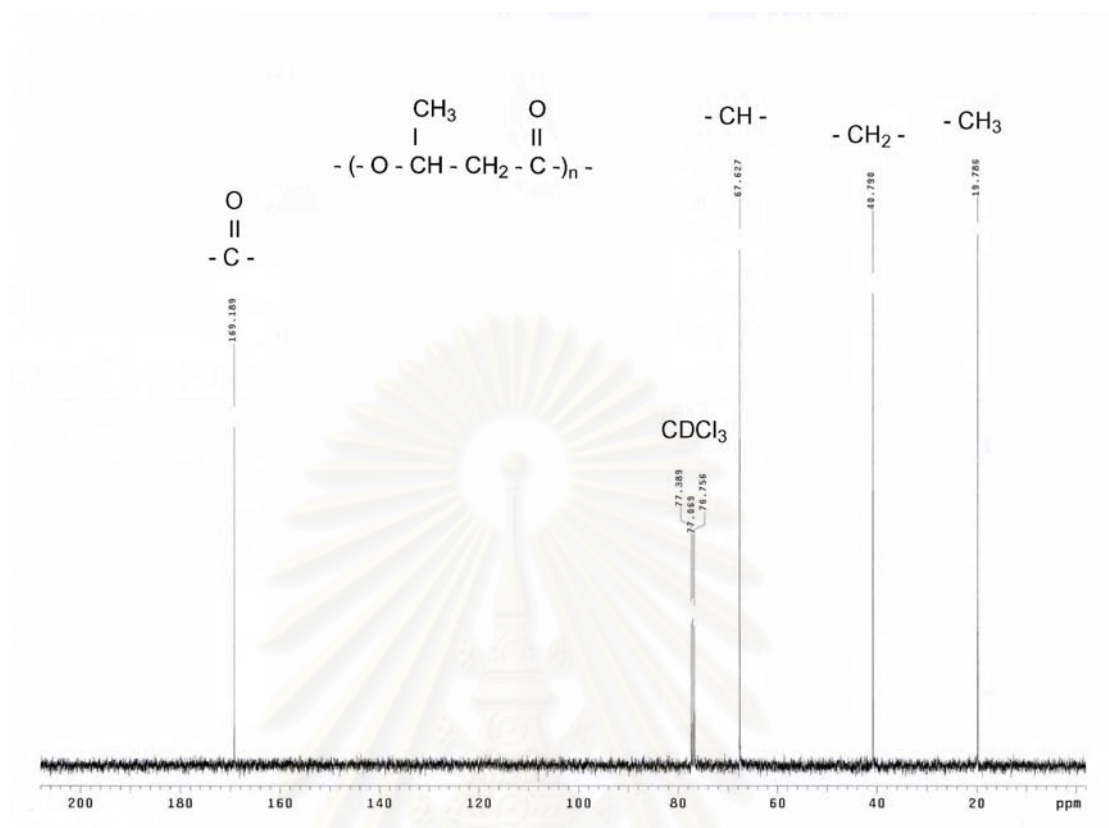
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี NMR spectroscopy

รูปที่ จ.1 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^1H NMR spectroscopy ของสาร PHB มาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ.2 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของสาร PHB มาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1. เปรียบเทียบอัตราการสะสม PHA (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

โดย system 1 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

system 2 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

system 3 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

system 4 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

Descriptives

| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|-------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 1 | 8 | .16850 | .058211 | .020581 | .11983 | .21717 | .122 | .299 |
| 2 | 8 | .18388 | .038122 | .013478 | .15200 | .21575 | .150 | .261 |
| 3 | 8 | .19800 | .039435 | .013942 | .16503 | .23097 | .152 | .263 |
| 4 | 8 | .29187 | .030661 | .010840 | .26624 | .31751 | .235 | .326 |
| Total | 32 | .21056 | .063593 | .011242 | .18763 | .23349 | .122 | .326 |

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PHA

| (I) SYSTEM | (J) SYSTEM | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|------------|------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| 1 | 2 | -.015375 | .021414 | .915 | -.07904 | .04829 |
| | 3 | -.029500 | .021414 | .600 | -.09317 | .03417 |
| | 4 | -.123375(*) | .021414 | .000 | -.18704 | -.05971 |
| 2 | 1 | .015375 | .021414 | .915 | -.04829 | .07904 |
| | 3 | -.014125 | .021414 | .932 | -.07779 | .04954 |
| | 4 | -.108000(*) | .021414 | .000 | -.17167 | -.04433 |
| 3 | 1 | .029500 | .021414 | .600 | -.03417 | .09317 |
| | 2 | .014125 | .021414 | .932 | -.04954 | .07779 |
| | 4 | -.093875(*) | .021414 | .002 | -.15754 | -.03021 |
| 4 | 1 | .123375(*) | .021414 | .000 | .05971 | .18704 |
| | 2 | .108000(*) | .021414 | .000 | .04433 | .17167 |
| | 3 | .093875(*) | .021414 | .002 | .03021 | .15754 |

- The mean difference is significant at the .05 level.

PHA

| SYSTEM | N | Subset for alpha = .05 | |
|--------|---|------------------------|--------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | 8 | .16850 | |
| 2 | 8 | .18388 | |
| 3 | 8 | .19800 | |
| 4 | 8 | | .29187 |
| Sig. | | .600 | 1.000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

A Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

2. เปรียบเทียบอัตราการผลิต PHA (กิโลกรัมต่อปี) ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

โดย system 1 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

system 2 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

system 3 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

SYSTEM 4 หมายถึง โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PHA

| (I) SYSTEM | (J) SYSTEM | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|------------|------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| 1 | 2 | -228.80750(*) | 23.26547 | .000 | -296.4352 | -161.1798 |
| | 3 | -78.87417(*) | 23.26547 | .016 | -146.5019 | -11.2465 |
| | 4 | 36.43583 | 23.26547 | .491 | -31.1919 | 104.0635 |
| 2 | 1 | 228.80750(*) | 23.26547 | .000 | 161.1798 | 296.4352 |
| | 3 | 149.93333(*) | 23.26547 | .000 | 82.3056 | 217.5610 |
| | 4 | 265.24333(*) | 23.26547 | .000 | 197.6156 | 332.8710 |
| 3 | 1 | 78.87417(*) | 23.26547 | .016 | 11.2465 | 146.5019 |
| | 2 | -149.93333(*) | 23.26547 | .000 | -217.5610 | -82.3056 |
| | 4 | 115.31000(*) | 23.26547 | .000 | 47.6823 | 182.9377 |
| 4 | 1 | -36.43583 | 23.26547 | .491 | -104.0635 | 31.1919 |
| | 2 | -265.24333(*) | 23.26547 | .000 | -332.8710 | -197.6156 |
| | 3 | -115.31000(*) | 23.26547 | .000 | -182.9377 | -47.6823 |

* The mean difference is significant at the .05 level.

Descriptives

| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|-------|----|----------|-------------------|---------------|-------------------------------------|-------------|---------|---------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| | | | | | 1 | 12 | | |
| 2 | 12 | 274.8375 | 42.14807 | 12.16710 | 248.0579 | 301.6171 | 221.57 | 358.22 |
| 3 | 12 | 124.9042 | 104.76583 | 30.24329 | 58.3391 | 191.4692 | 8.98 | 286.75 |
| 4 | 12 | 9.5942 | 3.99178 | 1.15233 | 7.0579 | 12.1304 | 3.43 | 15.63 |
| Total | 48 | 113.8415 | 116.78262 | 16.85612 | 79.9313 | 147.7516 | 3.43 | 358.22 |

PHA

| SYSTEM | N | Subset for alpha = .05 | | |
|--------|----|------------------------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 12 | 9.5942 | | |
| 1 | 12 | 46.0300 | | |
| 3 | 12 | | 124.9042 | |
| 2 | 12 | | | 274.8375 |
| Sig. | | .491 | 1.000 | 1.000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณต้นทุนในการผลิต PHA

1. การคำนวณหาต้นทุนน้ำกากตะกอนแห้ง

เนื่องจากกากตะกอนที่ผ่านการรีดมีความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ และน้ำกากตะกอนแห้งมีความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

$$\text{จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 คือความเข้มข้นของกากตะกอนที่ผ่านการรีด

V_1 คือน้ำหนักของกากตะกอนที่ผ่านการรีด

C_2 คือความเข้มข้นของกากตะกอนแห้ง

V_2 คือน้ำหนักของกากตะกอนแห้ง

$$\text{ดังนั้น} \quad \text{น้ำหนักของกากตะกอนแห้ง} = C_1V_1/C_2$$

ตัวอย่าง การคำนวณน้ำหนักกากตะกอนแห้งของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัศันโกสินทร์เดือนมกราคม

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของกากตะกอนแห้ง} &= (20(\%) \times 189(\text{ตัน}))/100(\%) \\ &= 37.8 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

2. การคำนวณหาปริมาณ PHA

ตัวอย่าง การคำนวณปริมาณ PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัศันโกสินทร์ในเดือนมกราคม

อัตราการสะสม PHA 0.168% ของน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

ปริมาณกากตะกอนแห้ง 100 ก.ก. จะมีปริมาณ PHA 0.168 ก.ก.

ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนแห้ง 37,800 ก.ก. จะมีปริมาณ PHA 63.50 ก.ก.

3. การหาราคาค่าก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 4 โรง

วิธีที่ใช้ในการผลิต PHA คือวิธี chloroform-hypochlorite method (Hahn และคณะ, 1995) โดยการแยกกากตะกอนออกจากน้ำ แล้วนำไปบ่มในโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แยกกากตะกอนออกและนำกากตะกอนไปล้างด้วยเมทานอล แล้วนำกากตะกอนไปละลายในคลอโรฟอร์มร้อน จากนั้นกรองแยกกากตะกอนออก จะได้ PHA ที่ละลายอยู่ในคลอโรฟอร์ม เมื่อคลอโรฟอร์มระเหยออกจะได้ PHA ในรูปของแข็ง

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | คุณสมบัติ | ราคา (บาท) |
|--------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 1 | Centrifuge (C001) | 175l/min | 4,305,000 |
| 2 | Mixing Tank (MT001) | 757.06l | 2,460,000 |
| 3 | Boiler | 350 kw | 1,640,000 |
| 4 | Storage Tank (ST001) | 14,005.61l | 135,508 |
| 5 | Storage Tank (ST002-ST004) | 9463.25l | 328,645 |
| 6 | Waste Tank (WT001) | 14,005.61l | 135,508 |
| 7 | Waste Tank (WT002) | 9463.25l | 109,548 |
| 8 | Pump (P001-P010) | 20l/sec | 320,000 |
| 9 | Screw Conveyor (SC001-SC002) | 3.5m ³ /hr | 580,000 |
| 10 | Hopper (H001-H002) | 2,043kg | 46,084 |
| | รวม | | 10,060,293 |

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำลำพระยา

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | คุณสมบัติ | ราคา (บาท) |
|--------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 1 | Centrifuge (C001) | 175l/min | 4,305,000 |
| 2 | Mixing Tank (MT001) | 757.06l | 1,558,000 |
| 3 | Boiler | 350 kw | 1,640,000 |
| 4 | Storage Tank (ST001-ST004) | 3,785.3l | 288,205 |
| 5 | Waste Tank (ST001-ST002) | 3,785.3l | 144,103 |
| 6 | Pump (P001-P010) | 20l/sec | 320,000 |
| 7 | Screw Conveyor (SC001-SC002) | 3.5m ³ /hr | 580,000 |
| 8 | Hopper (H001) | 908kg | 29,397 |
| | รวม | | 8,864,705 |

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแรม

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | คุณสมบัติ | ราคา (บาท) |
|--------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 1 | Centrifuge (C001-C004) | 175l/min | 17,220,000 |
| 2 | Mixing Tank (MT001-MT004) | 1892.65l | 9,840,000 |
| 3 | Boiler | 350 kw | 1,640,000 |
| 4 | Storage Tank (ST001) | 37,853l | 262,421 |
| 5 | Storage Tank (ST002) | 21,576.21l | 193,195 |
| 6 | Storage Tank (ST003-ST004) | 28,389.75l | 426,772 |
| 7 | Waste Tank (WT001) | 37,853l | 262,421 |
| 8 | Waste Tank (WT002) | 21,576.21l | 192,195 |
| 9 | Pump (P001-P019) | 20l/sec | 608,000 |
| 10 | Screw Conveyor (SC001-SC005) | 3.5m ³ /hr | 1,450,000 |
| 11 | Hopper (H001-H002) | 2,497kg | 79,212 |
| | รวม | | 32,174,216 |

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองนทรี

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | คุณสมบัติ | ราคา (บาท) |
|--------|----------------------------|------------|------------|
| 1 | Centrifuge (C001-C003) | 175l/min | 12,915,000 |
| 2 | Mixing Tank (MT001-MT003) | 1892.65l | 7,380,000 |
| 3 | Boiler | 350 kw | 1,640,000 |
| 4 | Storage Tank (ST001) | 32,807.20l | 242,228 |
| 5 | Storage Tank (ST002) | 16,401.71l | 161,467 |
| 6 | Storage Tank (ST003-ST004) | 21,576.21l | 386,391 |
| 7 | Waste Tank (WT001) | 32,807.20l | 242,228 |
| 8 | Waste Tank (WT002) | 16,401.71l | 161,467 |

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี (ต่อ)

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | คุณสมบัติ | ราคา (บาท) |
|--------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 9 | Pump (P001-P015) | 20l/sec | 480,000 |
| 10 | Screw Conveyor (SC001-SC003) | 3.5m ³ /hr | 870,000 |
| 11 | Hopper (H001-H002) | 2,497kg | 79,212 |
| รวม | | | 24,557,993 |

4. การหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA เป็นเวลา 1 เดือน

4.1 การหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ข.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85% ของกำลังไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 2.20น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.-2.20น. | |
|--------|---------------------|---------------------|---|--------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | | | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) |
| 1 | Centrifuge (C001) | 127.500 | 8.035 | 1,024.450 | 2.678 | 341.483 | 10.713 | 1,365.933 |
| 2 | Mixing Tank (MT001) | 4.250 | 3.498 | 14.867 | 1.166 | 4.956 | 4.664 | 19.822 |
| 3 | Boiler | 297.500 | 1.000 | 297.497 | 0.333 | 99.166 | 1.333 | 396.663 |
| 4 | Pump (P001) | 2.040 | 0.482 | 0.983 | 0.161 | 0.328 | 0.643 | 1.311 |
| 5 | Pump (P002) | 2.040 | 6.700 | 13.668 | 2.233 | 4.556 | 8.934 | 18.225 |

ตารางที่ ข.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (ต่อ)

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85% ของกำลังไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 2.20น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.-2.20น. | |
|--------|------------------------|---------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | | | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) |
| 6 | Pump (P003) | 2.040 | 0.017 | 0.034 | 0.006 | 0.011 | 0.022 | 0.046 |
| 7 | Pump (P004) | 2.040 | 0.602 | 1.228 | 0.201 | 0.409 | 0.802 | 1.637 |
| 8 | Pump (P005) | 2.040 | 0.459 | 0.936 | 0.153 | 0.312 | 0.612 | 1.248 |
| 9 | Pump (P006) | 2.040 | 0.010 | 0.019 | 0.003 | 0.006 | 0.013 | 0.026 |
| 10 | Pump (P007) | 2.040 | 0.404 | 0.824 | 0.135 | 0.275 | 0.538 | 1.098 |
| 11 | Pump (P008) | 2.040 | 0.012 | 0.025 | 0.004 | 0.008 | 0.016 | 0.033 |
| 12 | Pump (P009) | 2.040 | 0.012 | 0.025 | 0.004 | 0.008 | 0.016 | 0.033 |
| 13 | Pump (P010) | 2.040 | 0.422 | 0.860 | 0.141 | 0.287 | 0.562 | 1.147 |
| 14 | Screw Conveyor (SC001) | 1.275 | 8.181 | 10.430 | 2.727 | 3.477 | 10.907 | 13.907 |
| 15 | Screw Conveyor (SC002) | 1.275 | 0.472 | 0.602 | 0.157 | 0.201 | 0.629 | 0.802 |
| รวม | | 452.200 | 30.305 | 1,366.449 | 10.102 | 455.483 | 40.406 | 1,821.932 |

ดังนั้น 1 เดือนใช้พลังงานไฟฟ้า $1,821.932 \times 30 = 54,657.96$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โดยเป็นช่วง On Peak คือ $1,366.449 \times 20 = 27,328.98$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

และเป็นช่วง Off Peak คือ $(455.483 \times 20) + (1,821.932 \times 10) = 27,328.96$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

*หมายเหตุ ช่วง On Peak : 9.00 น. - 22.00 น.

ช่วง Off Peak : 22.00 น. - 9.00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.

ตารางที่ ข.6 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
รัตนโกสินทร์ในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|--|---|----------------|------------|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 452.200×132.93 | 60,111 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(27,328.98 \times 2.6950) + (27,328.96 \times 1.1914)$ | 106,211 | บาท |
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | $60,111 + 106,211 + 228$ | 166,550 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F _t) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _t | $54,657.96 \times 0.4328$ | 23,656 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _t) × (7/100) | $(166,550 + 23,656) \times 7/100$ | 13,314 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 166,550 + 23,656 + 13,314 | 203,521 | บาท |

| | | |
|-----------|--|--------------------------------------|
| *หมายเหตุ | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 2.6950 บาท/หน่วย |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 1.1914 บาท/หน่วย |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้า | 452.200 กิโลวัตต์ |
| | พลังงานไฟฟ้า | 54,657.96 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 27,328.98 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 27,328.96 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้ารืแอกตีฟ | ไม่สามารถทราบได้ตั้งคู่มือที่มิเตอร์ |
| | การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F _t) | 43.28 สตางค์/หน่วย |

(ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48)

4.2 การหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

ตารางที่ ข.7 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85% ของ กำลัง ไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 7.08 น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.-7.08 น. | |
|--------|------------------------|-----------------------------------|---|--|---|--|--|--|
| | | | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) |
| 1 | Centrifuge (C001) | 127.500 | 10.533 | 1,342.983 | 5.267 | 671.492 | 15.800 | 2,014.475 |
| 2 | Centrifuge (C002) | 127.500 | 10.533 | 1,342.983 | 5.267 | 671.492 | 15.800 | 2,014.475 |
| 3 | Centrifuge (C003) | 127.500 | 7.900 | 1,007.237 | 7.900 | 1,007.237 | 15.800 | 2,014.475 |
| 4 | Centrifuge (C004) | 127.500 | 4.545 | 579.488 | 4.545 | 579.488 | 9.090 | 1,158.975 |
| 5 | Mixing Tank (MT001) | 4.250 | 4.000 | 17.000 | 2.000 | 8.500 | 6.000 | 25.500 |
| 6 | Mixing Tank (MT002) | 4.250 | 3.000 | 12.750 | 3.000 | 12.750 | 6.000 | 25.500 |
| 7 | Mixing Tank (MT003) | 4.250 | 3.000 | 12.750 | 3.000 | 12.750 | 6.000 | 25.500 |
| 8 | Mixing Tank (MT004) | 4.250 | 1.494 | 6.350 | 1.494 | 6.350 | 2.988 | 12.699 |
| 9 | Boiler | 297.500 | 3.000 | 892.491 | 3.000 | 892.491 | 6.000 | 1,784.982 |
| 10 | Pump (P001) | 2.040 | 1.921 | 3.919 | 0.384 | 0.784 | 2.305 | 4.703 |

ตารางที่ ข.7 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรง
ควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (ต่อ)

| อันดับ | รายชื่อ เครื่องจักร | 85% ของกำลัง ไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 7.08 น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.-7.08 น. | |
|--------|------------------------|-------------------------------|---|--|---|--|--|--|
| | | | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) |
| 11 | Pump (P002) | 2.040 | 13.165 | 26.857 | 2.633 | 5.371 | 15.798 | 32.228 |
| 12 | Pump (P003) | 2.040 | 1.537 | 3.135 | 0.768 | 1.568 | 2.305 | 4.703 |
| 13 | Pump (P004) | 2.040 | 10.532 | 21.485 | 5.266 | 10.743 | 15.798 | 32.228 |
| 14 | Pump (P005) | 2.040 | 1.537 | 3.135 | 0.768 | 1.568 | 2.305 | 4.703 |
| 15 | Pump (P006) | 2.040 | 10.532 | 21.485 | 5.266 | 10.743 | 15.798 | 32.228 |
| 16 | Pump (P007) | 2.040 | 0.027 | 0.056 | 0.014 | 0.028 | 0.041 | 0.084 |
| 17 | Pump (P008) | 2.040 | 0.021 | 0.042 | 0.021 | 0.042 | 0.041 | 0.084 |
| 18 | Pump (P009) | 2.040 | 0.021 | 0.042 | 0.021 | 0.042 | 0.041 | 0.084 |
| 19 | Pump (P010) | 2.040 | 0.394 | 0.804 | 0.394 | 0.804 | 0.788 | 1.607 |
| 20 | Pump (P011) | 2.040 | 0.394 | 0.804 | 0.394 | 0.804 | 0.788 | 1.607 |
| 21 | Pump (P012) | 2.040 | 0.394 | 0.804 | 0.394 | 0.804 | 0.788 | 1.607 |
| 22 | Pump (P013) | 2.040 | 1.620 | 3.305 | 1.620 | 3.305 | 3.240 | 6.610 |
| 23 | Pump (P014) | 2.040 | 0.034 | 0.070 | 0.034 | 0.070 | 0.068 | 0.140 |
| 24 | Pump (P015) | 2.040 | 2.134 | 4.353 | 2.134 | 4.353 | 4.268 | 8.706 |
| 25 | Pump (P016) | 2.040 | 1.431 | 2.919 | 1.431 | 2.919 | 2.862 | 5.838 |
| 26 | Pump (P017) | 2.040 | 0.044 | 0.089 | 0.044 | 0.089 | 0.088 | 0.179 |
| 27 | Pump (P018) | 2.040 | 0.044 | 0.089 | 0.044 | 0.089 | 0.088 | 0.179 |
| 28 | Pump (P019) | 2.040 | 1.497 | 3.055 | 1.497 | 3.055 | 2.995 | 6.109 |

ตารางที่ ข.7 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (ต่อ)

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85% ของ กำลัง ไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 7.08 น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.-7.08 น. | |
|--------|------------------------------|-----------------------------------|---|--|---|--|--|--|
| | | | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) |
| 29 | Screw Conveyor (SC001) | 1.275 | 10.600 | 13.515 | 5.300 | 6.758 | 15.900 | 20.273 |
| 30 | Screw Conveyor (SC002) | 1.275 | 10.600 | 13.515 | 5.300 | 6.758 | 15.900 | 20.273 |
| 31 | Screw Conveyor (SC003) | 1.275 | 10.600 | 13.515 | 5.300 | 6.758 | 15.900 | 20.273 |
| 32 | Screw Conveyor (SC004) | 1.275 | 3.321 | 4.234 | 3.321 | 4.234 | 6.642 | 8.469 |
| 33 | Screw Conveyor (SC005) | 1.275 | 1.647 | 2.100 | 1.647 | 2.100 | 3.294 | 4.200 |
| | รวม | 869.635 | 132.051 | 5,357.358 | 79.467 | 3,936.333 | 211.518 | 9,293.691 |

ดังนั้น 1 เดือนใช้พลังงานไฟฟ้า $9,293.691 \times 30 = 278,810.73$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โดยเป็นช่วง On Peak คือ $5,357.358 \times 20 = 107,147.16$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

และเป็นช่วง Off Peak คือ $(3,936.333 \times 20) + (9,293.691 \times 10) = 171,663.57$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

*หมายเหตุ ช่วง On Peak : 9.00 น. - 22.00 น.

ช่วง Off Peak : 22.00 น. - 9.00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.

ตารางที่ ข.8 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|--|---|----------------|------------|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 869.635 × 132.93 | 115,601 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | (107,147.16 × 2.6950) + (171,663.57 × 1.1914) | 493,282 | บาท |
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | 115,601+ 493,282+ 228 | 609,110 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F _p) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _p | 278,810.73 × 0.4328 | 120,669 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _p) × (7/100) | (609,110+120,669) × 7/100 | 51,085 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 609,110.+ 120,669.+ 51,085 | 780,864 | บาท |

| | | |
|-----------|------------------------------|------------------------------|
| *หมายเหตุ | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 2.6950 บาท/หน่วย |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 1.1914 บาท/หน่วย |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้า | 869.635กิโลวัตต์ |
| | พลังงานไฟฟ้า | 278,810.73 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 107,147.16 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 171,663.57 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |

ความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ ไม่สามารถทราบได้ต้องดูที่มิเตอร์
 การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F) 43.28 สตางค์/หน่วย
 (ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48)

4.3 การหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี

ตารางที่ ข.9 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของ
 โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85% ของกำลังไฟ (kw) | วันจันทร์-วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์-วันศุกร์ 22.00 น.- 6.31 น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.- 6.31 น. | |
|--------|------------------------|---------------------------|---|--|---|--|---|--|
| | | | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) |
| 1 | Centrifuge (C001) | 127.500 | 10.547 | 1,344.697 | 5.273 | 672.348 | 15.820 | 2,017.045 |
| 2 | Centrifuge (C002) | 127.500 | 10.547 | 1,344.697 | 5.273 | 672.348 | 15.820 | 2,017.045 |
| 3 | Centrifuge (C003) | 127.500 | 3.058 | 389.913 | 3.058 | 389.913 | 6.116 | 779.826 |
| 4 | Mixing Tank (MT001) | 4.250 | 3.000 | 12.750 | 3.000 | 12.750 | 6.000 | 25.500 |
| 5 | Mixing Tank (MT002) | 4.250 | 3.000 | 12.750 | 3.000 | 12.750 | 6.000 | 25.500 |
| 6 | Mixing Tank (MT003) | 4.250 | 1.000 | 4.250 | 1.000 | 4.250 | 2.000 | 8.500 |
| 7 | Boiler | 297.500 | 2.000 | 594.994 | 2.000 | 594.994 | 4.000 | 1,189.988 |
| 8 | Pump (P001) | 2.040 | 1.923 | 3.923 | 0.385 | 0.785 | 2.307 | 4.707 |
| 9 | Pump (P002) | 2.040 | 13.183 | 26.893 | 2.637 | 5.379 | 15.820 | 32.272 |
| 10 | Pump (P003) | 2.040 | 1.538 | 3.138 | 0.769 | 1.569 | 2.307 | 4.707 |
| 11 | Pump (P004) | 2.040 | 10.546 | 21.515 | 5.273 | 10.757 | 15.820 | 32.272 |

ตารางที่ ข.9 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรง
ควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนันทรี (ต่อ)

| อันดับ | รายชื่อ เครื่องจักร | 85% ของ กำลัง ไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 6.31 น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.- 6.31 น. | |
|--------|------------------------------|-----------------------------------|---|--|---|--|---|--|
| | | | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) | ช.ม. การ ทำงาน/ วัน | พลังงาน ไฟฟ้าที่ ใช้ (kw- hr/day) |
| 12 | Pump (P005) | 2.040 | 0.021 | 0.042 | 0.021 | 0.042 | 0.041 | 0.084 |
| 13 | Pump (P006) | 2.040 | 0.021 | 0.042 | 0.021 | 0.042 | 0.041 | 0.084 |
| 14 | Pump (P007) | 2.040 | 0.040 | 0.081 | 0.040 | 0.081 | 0.079 | 0.162 |
| 15 | Pump (P008) | 2.040 | 0.040 | 0.081 | 0.040 | 0.081 | 0.079 | 0.162 |
| 16 | Pump (P009) | 2.040 | 1.088 | 2.220 | 1.088 | 2.220 | 2.177 | 4.440 |
| 17 | Pump (P010) | 2.040 | 0.023 | 0.047 | 0.023 | 0.047 | 0.046 | 0.093 |
| 18 | Pump (P011) | 2.040 | 1.436 | 2.930 | 1.436 | 2.930 | 2.873 | 5.860 |
| 19 | Pump (P012) | 2.040 | 0.963 | 1.965 | 0.963 | 1.965 | 1.926 | 3.929 |
| 20 | Pump (P013) | 2.040 | 0.029 | 0.060 | 0.029 | 0.060 | 0.058 | 0.119 |
| 21 | Pump (P014) | 2.040 | 0.029 | 0.060 | 0.029 | 0.060 | 0.058 | 0.119 |
| 22 | Pump (P015) | 1.275 | 1.007 | 1.284 | 1.007 | 1.284 | 2.014 | 2.567 |
| 23 | Screw Conveyor (SC001) | 1.275 | 10.612 | 13.530 | 5.306 | 6.765 | 15.918 | 20.295 |
| 24 | Screw Conveyor (SC002) | 1.275 | 10.612 | 13.530 | 5.306 | 6.765 | 15.918 | 20.295 |
| 25 | Screw Conveyor (SC003) | 1.275 | 2.251 | 2.870 | 2.251 | 2.870 | 4.503 | 5.741 |

ตารางที่ ข.9 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี (ต่อ)

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85% ของกำลังไฟ (kw) | วันจันทร์ - วันศุกร์ 9.00 น.- 22.00 น. | | วันจันทร์ - วันศุกร์ 22.00 น.- 6.31 น. | | วันเสาร์-วันอาทิตย์ 9.00 น.- 6.31 น. | |
|--------|------------------------|---------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
| | | | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) | ช.ม. การทำงาน/วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/day) |
| 26 | Screw Conveyor (SC004) | 1.275 | 1.107 | 1.411 | 1.107 | 1.411 | 2.214 | 2.822 |
| รวม | | 727.685 | 89.620 | 3,799.670 | 50.334 | 2,404.464 | 139.954 | 6,204.135 |

ดังนั้น 1 เดือนใช้พลังงานไฟฟ้า $6,204.135 \times 30 = 186,124.05$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โดยเป็นช่วง On Peak คือ $3,799.670 \times 20 = 75,993.4$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

และเป็นช่วง Off Peak คือ $(2,404.464 \times 20) + (6,204.135 \times 10) = 110,130.63$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

*หมายเหตุ ช่วง On Peak : 9.00 น. - 22.00 น.

ช่วง Off Peak : 22.00 น. - 9.00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.

ตารางที่ ข.10 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี ในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|----------------------------|---|---------|-----|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 727.685×132.93 | 96,731 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(75,993.4 \times 2.6950) + (110,130.63 \times 1.1914)$ | 336,011 | บาท |

ตารางที่ ข.10 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนันทรีในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2 (ต่อ)

| | | | |
|---|--|----------------|------------|
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | 96,731 + 336,011 + 228 | 432,970 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F_t) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _t | 186,124.05 × 0.4328 | 80,554 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _t) × (7/100) | (432,970+ 80,554) × 7/100 | 35,947 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 432,970+ 80,554+ 35,947 | 549,471 | บาท |

| | | |
|-----------|--|---|
| *หมายเหตุ | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 2.6950 บาท/หน่วย |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 1.1914 บาท/หน่วย |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้า | 727.685 กิโลวัตต์ |
| | พลังงานไฟฟ้า | 186,124.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 75,993.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 110,130.63 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ | ไม่สามารถทราบได้ต้องดูที่มิเตอร์ |
| | การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F _t) | 43.28 สตางค์/หน่วย (ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

ตารางที่ ข.11 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

| อันดับ | รายชื่อเครื่องจักร | 85%ของ กำลังไฟ (kw) | วันจันทร์ – วันอาทิตย์ 9.00 น.- 12.04 น. | |
|--------|------------------------|---------------------------|---|------------------------------------|
| | | | ช.ม. การทำงาน/ วัน | พลังงานไฟฟ้าที่ ใช้ (kw-hr/day) |
| 1 | Centrifuge (C001) | 127.500 | 1.468 | 187.170 |
| 2 | Mixing Tank (MT001) | 2.125 | 1.166 | 2.478 |
| 3 | Boiler | 297.500 | 0.333 | 99.166 |
| 4 | Pump (P001) | 2.040 | 0.180 | 0.366 |
| 5 | Pump (P002) | 2.040 | 1.230 | 2.509 |
| 6 | Pump (P003) | 2.040 | 0.003 | 0.006 |
| 7 | Pump (P004) | 2.040 | 0.175 | 0.357 |
| 8 | Pump (P005) | 2.040 | 0.083 | 0.169 |
| 9 | Pump (P006) | 2.040 | 0.002 | 0.004 |
| 10 | Pump (P007) | 2.040 | 0.076 | 0.155 |
| 11 | Pump (P008) | 2.040 | 0.002 | 0.004 |
| 12 | Pump (P009) | 2.040 | 0.002 | 0.004 |
| 13 | Pump (P010) | 2.040 | 0.079 | 0.161 |
| 14 | Screw Conveyor (SC001) | 1.275 | 1.442 | 1.839 |
| 15 | Screw Conveyor (SC002) | 1.275 | 0.096 | 0.122 |
| รวม | | 450.075 | 6.337 | 294.511 |

ดังนั้น 1 เดือนใช้พลังงานไฟฟ้า $294.511 \times 30 = 8,835.33$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โดยเป็นช่วง On Peak คือ $294.511 \times 20 = 5,890.22$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

และเป็นช่วง Off Peak คือ $294.511 \times 10 = 2,945.11$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

*หมายเหตุ ช่วง On Peak : 9.00 น. - 22.00 น.

ช่วง Off Peak : 22.00 น. - 9.00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.

ตารางที่ ข.12 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต PHA ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
รัตนโกสินทร์ในระยะเวลา 1 เดือน ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|--|---|---------------|------------|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 450.075×132.93 | 59,828 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(5,890.22 \times 2.6950) + (2,945.11 \times 1.1914)$ | 19,383 | บาท |
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | $59,828 + 19,383 + 228$ | 79,440 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F _t) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _t | $8,835.33 \times 0.4328$ | 3,824 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _t) × (7/100) | $(79,440 + 3,824) \times 7/100$ | 5,828 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 79,440 + 3,824 + 5,828 | 89,092 | บาท |

| | | |
|-----------|--|----------------------------------|
| *หมายเหตุ | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 2.6950 บาท/หน่วย |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 1.1914 บาท/หน่วย |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้า | 450.075 กิโลวัตต์ |
| | พลังงานไฟฟ้า | 8,835.33 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 5,890.22 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 2,945.11 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้ารืแอกตีฟ | ไม่สามารถทราบได้ต้องดูที่มิเตอร์ |
| | การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F _t) | 43.28 สตางค์/หน่วย |

(ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48)

5. การคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิต PHA ในระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ ข.13 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองการผลิต

| ครั้งที่ | กากตะกอนส่วนเกิน (1) | โซเดียมไฮโปคลอไรท์(1) | เมรทานอล(1) | คลอโรฟอร์ม(1) |
|----------|----------------------|-----------------------|-------------|---------------|
| 1 | 31.68 | 0.55 | 0.30 | 0.40 |
| 2 | 39.6 | 0.70 | 0.35 | 0.50 |
| 3 | 11.88 | 0.20 | 0.13 | 0.15 |
| 4 | 17.82 | 0.35 | 0.20 | 0.24 |
| เฉลี่ย | 25.25 | 0.45 | 0.25 | 0.32 |

*หมายเหตุ คลอโรฟอร์มใช้ซ้ำ 2 ครั้ง ดังนั้นใช้คลอโรฟอร์ม 0.16 ลิตร

โซเดียมไฮโปคลอไรท์ราคาลิตรละ 60 บาท

เมรทานอลราคาลิตรละ 88 บาท

คลอโรฟอร์มราคาลิตรละ 209 บาท

5.1 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 0.45 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 2,777,000 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 49,491.09 ลิตร

และ ราคาของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (49,491.09 ลิตร×60 บาท) คือ 2,969,465 บาท

ปริมาณเมรทานอล

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้เมรทานอล 0.25 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 2,777,000 ลิตร ใช้เมรทานอล 27,495.05 ลิตร

และ ราคาของเมรทานอล (27,495.05 ลิตร×88 บาท) คือ 2,419,564 บาท

ปริมาณคลอโรฟอร์ม

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 0.16 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 2,777,000 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 17,596.83 ลิตร

และ ราคาของคลอโรฟอร์ม (17,596.83 ลิตร×209 บาท) คือ 3,677,737 บาท

5.2 โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 0.45 ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 14,939,000 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 266,239.60 ลิตร
 และ ราคาของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (266,239.60 ลิตร×60 บาท) คือ 15,974,376 บาท

ปริมาณเมรทานอล

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้เมรทานอล 0.25 ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 14,939,000 ลิตร ใช้เมรทานอล 147,910.89 ลิตร
 และ ราคาของเมรทานอล (147,910.89 ลิตร×88 บาท) คือ 13,016,158บาท

ปริมาณคลอโรฟอร์ม

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 0.16 ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 14,939,000 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 94,662.97 ลิตร
 และ ราคาของคลอโรฟอร์ม (94,662.97 ลิตร×209 บาท) คือ 19,784,561 บาท

5.3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี

ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 0.45 ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 9,968,000 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 177,647.52 ลิตร
 และ ราคาของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (177,647.52 ลิตร×60 บาท) คือ 10,658,851 บาท

ปริมาณเมรทานอล

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้เมรทานอล 0.25 ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 9,968,000 ลิตร ใช้เมรทานอล 98,693.07 ลิตร
 และ ราคาของเมรทานอล (98,693.07 ลิตร×88 บาท) คือ 8,684,990 บาท

ปริมาณคลอโรฟอร์ม

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 0.16ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 9,968,000 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 63,163.56 ลิตร
 และ ราคาของคลอโรฟอร์ม (63,163.56 ลิตร×209 บาท) คือ13,201,185บาท

5.4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 0.45 ลิตร
 ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 388,000 ลิตร ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 6,914.85 ลิตร

และ ราคาของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (6,914.85 ลิตร×60 บาท) คือ 414,891 บาท

ปริมาณเมรทานอล

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้เมรทานอล 0.25 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 388,000 ลิตร ใช้เมรทานอล 3,841.58 ลิตร

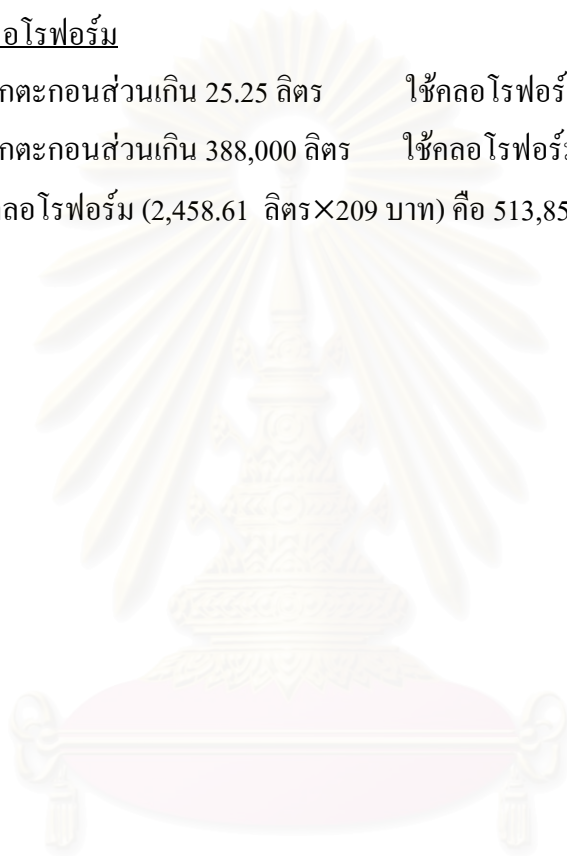
และ ราคาของเมรทานอล (3,841.58 ลิตร×88 บาท) คือ 338,059 บาท

ปริมาณคลอโรฟอร์ม

ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 25.25 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 0.16 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณกากตะกอนส่วนเกิน 388,000 ลิตร ใช้คลอโรฟอร์ม 2,458.61 ลิตร

และ ราคาของคลอโรฟอร์ม (2,458.61 ลิตร×209 บาท) คือ 513,850 บาท



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอน

1. ค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| หัวข้อ | รายการ | ราคา(บาท) |
|--------|--|------------|
| 1 | Gravity Sludge Thickeners | 2,749,150 |
| | 1 Excess Sludge Thickeners (2 unit) | 2,749,150 |
| 2 | Sludge Dewatering Equipment | 13,632,695 |
| | 1 Sludge Pump (3 unit) | 426,045 |
| | 2 Sludge Conditioning Mixer (5 unit) | 320,550 |
| | 3 Belt Filter Press (2 unit) | 9,200,000 |
| | 4 Fully Automatic Preparation Plant for Organic Flocculents (2 unit) | 300,000 |
| | 5 Dosing Pump (2 unit) | 300,000 |
| | 6 Dilution Station (2 unit) | 474,820 |
| | 7 Pipe and Fittings (2 unit) | 293,220 |
| | 8 Mimic Diagram | 450,000 |
| | 9 Booster Pump (2 unit) | 244,320 |
| | 10 Sludge Cake Transportation | |
| | - Belt Conveyor No.1 | 341,720 |
| | - Belt Conveyor No.2 | 138,830 |
| | - Dry Sludge Hopper (2 unit) | 1,143,190 |
| | รวม | 16,381,845 |

ตารางที่ ซ.2 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85%ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงานทุก ตัว/เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr/month) |
|----------|--|-------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Sludge Dewatering Machine 1 | 2 | 0.4675 | 180 | 84.15 |
| 2 | Sludge Dewatering Machine 2 | 2 | 0.3145 | 180 | 56.61 |
| 3 | Air Compressor for Sludge Dewatering Machine | 2 | 1.02 | 180 | 183.6 |
| 4 | Sludge Polymer Mixer | 2 | 0.7395 | 180 | 133.11 |
| 5 | Sludge Feed Pump | 3 | 2.55 | 180 | 459 |
| 6 | Polymer Dosing Pump | 2 | 1.275 | 180 | 229.5 |
| 7 | Polymer Preparation | 2 | 0.6375 | 180 | 114.75 |
| 8 | Band Wash Pump | 3 | 2.55 | 180 | 459 |
| 9 | Belt Conveyor 1 | 1 | 3.1875 | 180 | 573.75 |
| 10 | Belt Conveyor 2 | 1 | 1.275 | 180 | 229.5 |
| 11 | Dry Sludge Hopper | 2 | 6.29 | 10 | 62.9 |
| 12 | Booster Pump | 2 | 6.375 | 270 | 1721.25 |
| รวม | | | 26.6815 | 2080 | 4307.12 |

* หมายเหตุ ทำงานในช่วงเวลา 9.00 น.- 22.00 น.

ตารางที่ ซ.3 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|----------------------------|--|-------|-----|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 26.6815 × 132.93 | 3,547 | บาท |

ตารางที่ ซ.3 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
รัตนโกสินทร์ตาม โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2 (ต่อ)

| | | | |
|--|---|---------------|------------|
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(2,871.413 \times 2.6950) + (1,435.707 \times 1.1914)$ | 9,449 | บาท |
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | $3,547 + 9,449 + 228$ | 13,224 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F_t) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _t | $4,307.12 \times 0.4328$ | 1,864 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _t) × (7/100) | $(13,224 + 1,864) \times 7/100$ | 1,056 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 13,224 + 1,864 + 1,056 | 16,144 | บาท |

| | |
|-----------|--|
| *หมายเหตุ | ช่วง On Peak (9.00 น. - 22.00 น.) |
| | ช่วง Off Peak (22.00 น. - 9.00 น. , วันเสาร์และอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.) |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak 2.6950 บาท/หน่วย |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak 1.1914 บาท/หน่วย |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้า 26.6815 กิโลวัตต์ |
| | พลังงานไฟฟ้า 4,307.12 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak (วันจันทร์ - วันศุกร์ 20 วัน) |
| | 2,871.413 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (วันเสาร์และวันอาทิตย์ 10 วัน) |
| | 1,435.707 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้รีแอกตีฟ ไม่สามารถทราบได้ต้องดูที่มิเตอร์ |
| | การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F _t) 43.28 สตางค์/หน่วย |

(ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48)

2. ค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

ตารางที่ ซ.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

| หัวข้อ | รายการ | ราคา (บาท) |
|------------|---|--------------------|
| 1 | Design of Digesters | 9,900,000 |
| 2 | Over Head | 103,211,000 |
| 3 | Construction of Digester | |
| 3.1 | Building and Civil Works | |
| | 1. Biosolid Processing Building | |
| | 1.1 Piling Work | 5,840,000 |
| | 1.2 Structure Work | |
| | 1.2.1 Sludge Preparation Building | 9,170,000 |
| | 1.2.2 Belt Press Building | 15,725,000 |
| | 1.3 Finishing Work | |
| | 1.3.1 Sludge Preparation Building | 433,600 |
| | 1.3.2 Belt Press Building | 3,810,900 |
| | 1.4 Miscellaneous | 750,000 |
| | Subtotal of Biosolid Processing Building | 35,729,500 |
| | 2. Sludge Digester | |
| | 2.1 Piling Work | 20,480,000 |
| | 2.2 Structure Work | 65,650,000 |
| | 2.3 Finishing Work | 12,163,000 |
| | 2.4 Miscellaneous | 641,500 |
| | Subtotal of Sludge Digester | 98,934,500 |

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
หนองแวม (ต่อ)

| หัวข้อ | รายการ | ราคา (บาท) |
|------------|---|--------------------|
| | | |
| | Total Building and Civil Works (3.1) | 134,664,000 |
| | | |
| 3.2 | Mechanical Works | |
| | 1 Solid Contact | |
| | 1 Filtrate Pump (2 unit) | 606,000 |
| | 2 SCU Sludge Pump (2 unit) | 501,400 |
| | 3 Ferric Chloride Tank (4 unit) | 680,000 |
| | 4 Ferric Chloride Feed Pump (6 unit) | 4,680,000 |
| | 5 Lime Feed System | |
| | - Lime Feeder | 1,000,000 |
| | - Dust Collector | 200,000 |
| | - Lime Slurry Pump (2 unit) | 200,000 |
| | - Control Panel | |
| | 6 Rapid Mixer | 480,000 |
| | 7 Slow Mixer | 480,000 |
| | 8 Scraper | 500,000 |
| | 9 Steel Pipe Dia. 150 mm. | 279,000 |
| | Subtotal of Solid Contact | 10,106,400 |
| | 2 Slurry Peparation | |
| | 1 WAS Feed Pump (2 unit) | 1,240,000 |
| | 2 TAS Pump (2 unit) | 800,000 |
| | 3 Slurry Feed Pump (3 unit) | 1,650,000 |
| | 4 Control Panel for Slurry Feed Pump | 500,000 |
| | 5 Sludge Cake Transfer Pump (2 unit) | 3,000,000 |
| | 6 Sludge Grinder (3 unit) | 1,200,000 |
| | 7 Gravity Belt Thickener | |

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
หนองแวม (ต่อ)

| หัวข้อ | รายการ | ราคา (บาท) |
|--------|---|-------------------|
| | -Gravity Belt Table (2 unit) | 12,420,000 |
| | - Wash Water Pump 12,420,000 | 400,000 |
| | - Air Compressor | 400,000 |
| | - Control Panel | 800,000 |
| | 8 Positive Displacement Blower (2 unit) | 800,000 |
| | 9 Odor Control | 2,500,000 |
| | 10 Odor Control Fan | 300,000 |
| | 11 Fine Bubble Membrane Diffuser | 400,000 |
| | 12 Mixer (2 unit) | 1,040,000 |
| | 13 Submersible Mixer | 580,000 |
| | 14 Air Compressor (2 unit) | 100,000 |
| | 15 Screw Feeder | 5,000,000 |
| | 16 Screw Transfer | 1,240,000 |
| | 17 Polymer Preparation for Gravity Belt | |
| | - Polymer Preparation Station | 1,000,000 |
| | - Polymer Feed Pump (2 unit) | 400,000 |
| | -Control Panel | 500,000 |
| | 18 Steel Pipe Dia. 150 mm. | 372,000 |
| | 19 Steel Pipe Dia. 200 mm. | 2,394,000 |
| | 20 Stainless Steel Pipe Dia. 150 mm. | 450,000 |
| | 21 FRP. Duct Dia. 152-305 mm. | 1,400,000 |
| | Subtotal of Slurry Preparation | 40,886,000 |
| | 3 Sludge Digester | |
| | 1 Heat Exchanger (2 unit) | 4,000,000 |
| | 2 Boiler Unit | |
| | - Boiler (2 unit) | 4,600,000 |
| | - Control Panel for Boiler (2 unit) | 1,000,000 |

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
หนองแวม (ต่อ)

| หัวข้อ | รายการ | ราคา (บาท) |
|--------|---|-------------------|
| | - Circulating Pump (4 unit) | 1,200,000 |
| | 3 Recirculating Pump (3 unit) | 5,100,000 |
| | 4 Control Panel for Recirculating Pump | 400,000 |
| | 5 Gas Compressor (3 unit) | 2,400,000 |
| | 6 Control Panel for Gas Compressor | 500,000 |
| | 7 Ceramic Gas Filter | 1,000,000 |
| | 8 Gravel Gas Filter | 1,200,000 |
| | 9 Hanging Gas Lances | 18,240,000 |
| | 10 Scum Removal Door | 500,000 |
| | 11 Scum Bar Screen | 400,000 |
| | 12 Inspection Door (manhole) Dia. 800 mm. | 400,000 |
| | 13 Foam Trap Equipment for Gas Dome | 900,000 |
| | 14 Overflow Emergency Outlet DN200 | 640,000 |
| | 15 Gas Hood | 3,000,000 |
| | 16 Digester Gas Storage Tank 100 m ³ | 5,000,000 |
| | 17 Gas Flare | 6,000,000 |
| | 18 Control Panel for Gas Flare | 500,000 |
| | 19 Control Panel for Foam Trap (2 unit) | 300,000 |
| | 20 Control Panel for Measuring Device | 300,000 |
| | 21 Steel Pipe Dia. 150 mm. | 930,000 |
| | 22 Steel Pipe Dia. 200 mm. | 3,591,000 |
| | 23 Stainless Steel Pipe Dia. 100 mm. | 2,880,000 |
| | 24 Stainless Steel Pipe Dia. 200 mm. | 1,620,000 |
| | 25 Stainless Steel Pipe Dia. 250 mm. | 1,250,000 |
| | 26 Stainless Steel Pipe Dia. 300 mm. | 4,160,000 |
| | Subtotal of Sludge Digester | 72,011,000 |

ตารางที่ ซ.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
หนองแวม (ต่อ)

| หัวข้อ | รายการ | ราคา (บาท) |
|------------|---|--------------------|
| | 4 Belt Filter Press | |
| | 1 Sludge Feed Pump (5 unit) | 2,600,000 |
| | 2 Dewatering Unit | |
| | - Belt Filter Press (5 unit) | 56,500,000 |
| | - Wash Water Pump (5 unit) | 1,000,000 |
| | - Air Compressor | 1,000,000 |
| | - Control Panel (5 unit) | 4,000,000 |
| | 3 Belt Conveyor | 1,500,000 |
| | 4 Biosolid Belt Conveyer | 1,200,000 |
| | 5 Polymer Preparation for Belt Filter Press | |
| | - Polymer Preparation Station | 2,000,000 |
| | - Polymer Feed Pump (5 unit) | 1,000,000 |
| | - Control Panel (2 unit) | 1,000,000 |
| | 6 Submetsible Mixer | 580,000 |
| | 7 Galvanized Steel Pipe Dia. 100 mm. | 910,000 |
| | 8 Steel Pipe Dia. 150 mm. | 111,600 |
| | Subtotal of Belt Filter Press | 73,401,600 |
| | | |
| | Total Mechanical (3.2) | 196,405,000 |
| | | |
| 3.3 | Electrical Works | |
| | 1 Solid Contact | 6,038,815 |
| | 2 Slurry Preparation | 4,605,650 |
| | 3 Sludge Digester | 1,208,335 |
| | 4 Belt Filter Press | 1,557,200 |
| | | |
| | Total Electrical (3.3) | 13,410,000 |

ตารางที่ ๗.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (ต่อ)

| หัวข้อ | รายการ | ราคา (บาท) |
|------------|---|--------------------|
| 3.4 | Process Control and Instrumentation | |
| | 1 Biosolid Processing Building | 2,000,000 |
| | 2 Instrumentation | 410,000 |
| | | |
| | Total Process Control and Instrumentation (3.4) | 2,410,000 |
| | | |
| | Total Construction of Digester (3.1+3.2+3.3+3.4) | 346,889,000 |
| | | |
| | รวม | 460,000,000 |

ตารางที่ ๗.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85% ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงาน ทุกตัว/ เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|--|-------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Blower | 2 | 4.675 | 720 | 3366 |
| 2 | WAS Feed to GBT | 2 | 4.675 | 100.5 | 469.8375 |
| 3 | Polymer Feed System (gravity belt table) | 1 | 1.037 | 120 | 124.44 |
| 4 | Polymer Metering Pump | 2 | 0.4675 | 120 | 56.1 |
| 5 | Gravity Belt Thickener | 2 | 7.48 | 831 | 6215.88 |
| 6 | Air Compressor for Mixing Tank | 2 | 0.17 | 30 | 5.1 |
| 7 | Thickener Sludge Feed | 2 | 25.5 | 51 | 1300.5 |
| 8 | Screw Feeder | 2 | 17 | 12.9 | 219.3 |

ตารางที่ ข.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (ต่อ)

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85% ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงาน ทุกตัว/ เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|---|-------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 9 | Screw Transfer | 2 | 3.4 | 12.9 | 43.86 |
| 10 | Sludge Transfer Pump | 2 | 38.25 | 12.9 | 493.425 |
| 11 | Agitator for Mixing Tank | 2 | 12.75 | 480 | 6,120 |
| 12 | Submersible Mixers (10% holding tank) | 1 | 8.5 | 139.2 | 1,183.2 |
| 13 | Sludge Grinder | 3 | 6.375 | 139.2 | 887.4 |
| 14 | Slurry Feed to Digest | 3 | 25.5 | 139.2 | 3,549.6 |
| 15 | Recirculation Pump | 3 | 18.7 | 1179.9 | 22,064.13 |
| 16 | Gas Compressor Unit | 3 | 17.085 | 702 | 11,993.67 |
| 17 | Air Compressor for Digestor Valve | 1 | 0.17 | 702 | 119.34 |
| 18 | Submersible Mixers (7.2% digested holding tank) | 1 | 2.125 | 330 | 701.25 |
| 19 | Sludge Feed to BFP | 5 | 3.4 | 1353.9 | 4,603.26 |
| 20 | Polymer Feed Sys (belt filter press) | 2 | 1.037 | 180 | 186.66 |
| 21 | Progressive Cavity Pump | 5 | 1.275 | 720 | 918 |
| 22 | Belt Filter Press & Acess. | 5 | 9.9875 | 1353.9 | 13,522.076 |
| 24 | Belt Conveyor | 1 | 3.145 | 330 | 1,037.85 |
| 25 | Belt Conveyor | 1 | 5.95 | 330 | 1,963.5 |
| 26 | Air Compressor for Belt Conveyor | 2 | 0.17 | 330 | 56.1 |
| 27 | Rapid Mixer | 1 | 6.375 | 30 | 191.25 |
| 28 | Slow Mixer | 1 | 0.6375 | 30 | 19.125 |

ตารางที่ ซ.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม (ต่อ)

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85% ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงาน ทุกตัว/ เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|-------------------|-------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 29 | Scaper Drive | 1 | 0.3145 | 30 | 9.435 |
| | | รวม | 221.476 | 9,790.5 | 78,054.288 |

* หมายเหตุ ทำงานในช่วงเวลา 9.00 น.- 22.00 น.

ตารางที่ ซ.6 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|---|---|----------------|------------|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 221.476×132.93 | 29,441 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(52,036.192 \times 2.6950) + (26,018.096 \times 1.1914)$ | 171,235 | บาท |
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | $29,441 + 171,235 + 228$ | 200,905 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F _t) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _t | $78,054.288 \times 0.4328$ | 33,782 | บาท |

ตารางที่ ซ.6 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนอง
แวมตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2 (ต่อ)

| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
|---|------------------------------------|---------|-----|
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _i) × (7/100) | (200,905.007 + 33,781.896) × 7/100 | 16,428 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 200,905 + 33,782 + 16,428 | 251,115 | บาท |

*หมายเหตุ

| | |
|--|--|
| ช่วง On Peak | : 9.00 น. - 22.00 น. |
| ช่วง Off Peak | : 22.00 น. - 9.00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น. |
| ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak | 2.6950 บาท/หน่วย |
| ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak | 1.1914 บาท/หน่วย |
| ความต้องการพลังไฟฟ้า | 221.476 กิโลวัตต์ |
| พลังงานไฟฟ้า | 78,054.288 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak (วันจันทร์ - วันศุกร์ 20 วัน) | 52,036.192 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (วันเสาร์และวันอาทิตย์ 10 วัน) | 26,018.096 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |
| ความต้องการพลังไฟฟ้รีแอกตีฟ | ไม่สามารถทราบได้ต้องคู่มือที่มีเตอร์ |
| การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F _i) | 43.28 สตางค์/หน่วย (ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48) |

3. ค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรี

ตารางที่ ซ.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
ชองนนทรี

| หัวข้อ | รายการ | ราคา(บาท) |
|--------|--------------------------------|------------|
| 1 | Belt Press (4 unit) | 16,000,000 |
| 2 | Control Unit (1unit) | 100,000 |
| 3 | Screw Conveyor (4 unit) | 2,800,000 |
| 4 | Thickener (1unit) | 600,000 |
| 5 | Polymer Dosing System (3 unit) | 630,000 |

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี (ต่อ)

| หัวข้อ | รายการ | ราคา(บาท) |
|--------|--------------------------------------|-------------------|
| | - Feeder | |
| | - Blower | |
| | - Agitator | |
| 6 | Sludge Conveyors Mixed Feed (2 unit) | 1,000,000 |
| | - Sludge Lime Mixer | |
| | - Mixing | |
| 7 | Lime Soil (1unit) | 800,000 |
| | -Screw Feeder | |
| | - Compressor | |
| 8 | Washwater System (1unit) | 350,000 |
| | - Low Pressure Washwater Pump | |
| | - High Pressure Washwater Pump | |
| | - Compressor | |
| 9 | Sludge Storage (2 unit) | 220,000 |
| | - Roots Blower | |
| | รวม | 22,500,000 |

ตารางที่ ข.8 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85%ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงานทุก ตัว/เดือน (hr) | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|-----------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1 | Drive Unit (belt press) | 1 | 1.87 | 7.5 | 14.025 |
| 2 | Mixing Agitator (belt press) | 1 | 0.6375 | 7.5 | 4.781 |
| 3 | Screw Feeder (belt press) | 1 | 0.3145 | 7.5 | 2.358 |
| 4 | Belt Press Feed Pump (belt press) | 4 | 9.35 | 240 | 2244 |

ตารางที่ ซ.8 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรี (ต่อ)

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85%ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงานทุก ตัว/เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|----------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 5 | Polymer Feed Pump (belt press) | 4 | 0.637 | 240 | 153 |
| 6 | Screw Conveyor (belt press) | 4 | 1.87 | 240 | 448.8 |
| 7 | Rotary Thickener (belt press) | 4 | 0.637 | 30 | 19.125 |
| 8 | Washing Pump (belt press) | 4 | 9.35 | 15 | 140.25 |
| 9 | Compressor (belt press) | 1 | 3.145 | 15 | 47.175 |
| 10 | Feeder (polymer dosing system) | 4 | 0.34 | 240 | 81.6 |
| 11 | Blower (polymer dosing system) | 4 | 1.615 | 240 | 387.6 |
| 12 | Agitater (polymer dosing system) | 4 | 3.145 | 240 | 754.8 |
| 15 | Roots Blower (sludge storage) | 2 | 12.75 | 720 | 9,180 |
| รวม | | | 53.72 | 2,242.5 | 13,477.515 |

* หมายเหตุ ทำงานในช่วงเวลา 9.00 น.- 22.00 น.

ตารางที่ ซ.9 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่่งนนทรีตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|----------------------------|---|--------|-----|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 53.72×132.93 | 7,140 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(8,985.01 \times 2.6950) + (4,492.505 \times 1.1914)$ | 29,567 | บาท |

ตารางที่ ซ.9 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำชอง
นนทบุรีตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2 (ต่อ)

| | | | |
|---|--|---------------|------------|
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | - | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | 7,140+ 29,567 + 228 | 36,936 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F_i) | | | |
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _i | 13,477.515 × 0.4328 | 5,833 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _i) × (7/100) | (36,936+ 5,833) × 7/100 | 2,994 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 36,936 + 5,833 + 2,994 | 45,763 | บาท |

*หมายเหตุ ช่วง On Peak : 9.00 น. - 22.00 น.
ช่วง Off Peak : 22.00 น. - 9.00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.
ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak 2.6950 บาท/หน่วย
ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak 1.1914 บาท/หน่วย
ความต้องการพลังไฟฟ้า 53.72 กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้า 13,477.515 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak (วันจันทร์ - วันศุกร์ 20 วัน)
8,985.01 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (วันเสาร์และวันอาทิตย์ 10 วัน)
4,492.505 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 132.93 บาท/กิโลวัตต์
ความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ ไม่สามารถทราบได้ต้องดูที่มิเตอร์
การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F_i) 43.28 สตางค์/หน่วย
(ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48)

4. ค่าใช้จ่ายในส่วนการบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

| หัวข้อ | รายการ | ราคา(บาท) |
|--------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | Sludge Thickener Tank (3 unit) | 3,060,000 |
| 2 | Thickener Sludge Pump (6 unit) | 690,000 |
| 3 | Sludge Storage Tank (1 unit) | 1,200,000 |
| 4 | Belt Feed Pump (3 unit) | 1,500,000 |
| 5 | Sludge Dewatering Machine (2 unit) | 3,000,000 |
| 6 | Sludge Conveyor (3 unit) | 360,000 |
| 7 | Hopper (2 unit) | 1,100,000 |
| 8 | Polymer Dosing System (1 unit) | 200,000 |
| | - Pump | |
| | - Agitator Mixer | |
| | - Powder Feeder | |
| | รวม | 11,110,000 |

ตารางที่ ข.11 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85%ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงานทุก ตัว/เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Sludge Thickener Scraper | 3 | 0.34 | 2160 | 734.4 |
| 2 | Thickener Sludge Pump | 6 | 1.87 | 180 | 336.6 |
| 3 | Air Blower | 2 | 3.4 | 720 | 2448 |
| 4 | Belt Feed Pump | 3 | 3.145 | 120 | 377.4 |
| 5 | Sludge Dewatering Machine | 2 | 0.637 | 120 | 76.5 |
| 6 | Band Wash Pump | 3 | 3.145 | 120 | 377.4 |

ตารางที่ ซ.11 แสดงกำลังไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา (ต่อ)

| ลำดับที่ | รายการเครื่องจักร | จำนวน (ตัว) | 85%ของ กำลังไฟ (kw) | รวม ชม. ทำงานทุก ตัว/เดือน (hr) | พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kw-hr) |
|----------|-------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 7 | Sludge Conveyor | 3 | 1.266 | 360 | 455.94 |
| 8 | Sludge Hopper | 2 | 0.085 | 30 | 2.55 |
| 9 | Polymer Feed Pump | 3 | 0.467 | 120 | 56.1 |
| 10 | Contdosing Pump | 1 | 0.51 | 15 | 7.65 |
| 11 | Agitator Mixer | 1 | 0.34 | 15 | 5.1 |
| 12 | Powder Feeder | 1 | 0.255 | 15 | 3.825 |
| รวม | | | 15.461 | 3,975 | 4,881.465 |

* หมายเหตุ ทำงานในช่วงเวลา 9.00 น.- 22.00 น.

ตารางที่ ซ.12 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2

| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
|----------------------------|---|----------------|------------|
| 1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | ความต้องการพลังไฟฟ้า × ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า | | |
| | 15.4615×132.93 | 2,055 | บาท |
| 2. ค่าพลังงานไฟฟ้า | (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak × ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| | $(3,254.31 \times 2.6950) + (1,627.155 \times 1.1914)$ | 10,709 | บาท |
| 3. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | จำนวน KVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของkw | | |
| | ไม่สามารถคำนวณได้ | | บาท |
| 4. ค่าบริการ | | | บาท |
| | | 228 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | $2,055 + 10,709 + 228$ | 12,992. | บาท |

ตารางที่ ซ.12 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดกากตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
ชองนนทบุรีตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4.2.2 (ต่อ)

| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร(F _p) | | | |
|---|---------------------------------|---------------|------------|
| พลังงานไฟฟ้า × ค่าF _p | $4,881.465 \times 0.4328$ | 2,113 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าF _p) × (7/100) | $(12,992 + 2,113) \times 7/100$ | 1,057 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | 12,992 + 2,113 + 1,057 | 16,162 | บาท |

| | |
|-----------|--|
| *หมายเหตุ | ช่วง On Peak (9.00 น.- 22.00 น.) |
| | ช่วง Off Peak (22.00 น.- 9.00 น. ,วันเสาร์และอาทิตย์ 0.00 น. - 24.00 น.) |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak 2.6950 บาท/หน่วย |
| | ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak 1.1914 บาท/หน่วย |
| | ความต้องการพลังไฟฟ้า 15.4615 กิโลวัตต์ |
| | พลังงานไฟฟ้า 4,881.465 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak (วันจันทร์ - วันศุกร์ 20 วัน) |
| | 3,254.31 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (วันเสาร์และวันอาทิตย์ 10 วัน) |
| | 1,627.155 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |
| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 132.93 บาท/กิโลวัตต์ |
| | ความต้องการพลังไฟฟารีแอกตีฟ ไม่สามารถทราบได้ต้องดูที่มิเตอร์ |
| | การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(F _p) 43.28 สตางค์/หน่วย |
| | (ข้อมูลของวันที่ 7 ก.ย. 48) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุดารัตน์ โรจน์ศิริลาวัณย์ เกิดเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 ได้เข้าร่วมการเสนอผลงานทางวิชาการประเภท Senior Project ในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2546 จัดโดยคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างวันที่ 18-19 มีนาคม 2546 และได้รับการตีพิมพ์ในวารสารการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2546

เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2546 ได้นำเสนอบทความเรื่อง “BIOPLASTIC FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT OF BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION” ในการประชุมทางวิชาการ หัวข้อ “International Seminar on Environmental Management Thailand, Vietnam, and Germany” ซึ่งจัดโดยสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างวันที่ 30 พ.ค. – 3 มิ.ย. 2548 และได้นำเสนอบทความเรื่อง “BIOPLASTIC PRODUCTION FROM WASTEWATER SLUDGE” ในการประชุมทางวิชาการหัวข้อ “Colloquium for Ph.D. students in the field of waste management Thailand, Vietnam, and Germany” ซึ่งจัดโดย มหาวิทยาลัย Van Lang โฮจิมินห์ซิตี ประเทศเวียดนาม ระหว่างวันที่ 24-28 ต.ค. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย