



รายงานฉบับสมบูรณ์

# โครงการพัฒนาระบบ SBR แบบสำเร็จรูป เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร

โดย รศ.ดร.นพดล เจียมสวัสดิ์ และ คณะ

พฤษภาคม 2552

สัญญาเลขที่ RDG4530018

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## โครงการพัฒนาระบบ SBR แบบสำเร็จรูป เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร

คณะผู้วิจัย

1. รศ.ดร.นพดล เจียมสวัสดิ์
2. นายภูริภัทร์ เลิศเพ็ญเมธา
3. นางนริศญา กวีนันทวงศ์
4. นางสาวกนกอร หัสโรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

ชุดโครงการวิจัยเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

**บทสรุปผู้บริหาร**  
**การพัฒนาระบบ SBR แบบสำเร็จรูปเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร**

นพดล เจียมสวัสดิ์

ภูริภัทร์ เลิศเพ็ญเมธา

นริศญา กวินันทวงศ์

กนกอร หัสโรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

คณะผู้วิจัย ได้เลือกการพัฒนาระบบ SBR ที่มีความสมบูรณ์แบบในตัว (Packaged system) เพื่อเป็นระบบ บำบัดน้ำเสีย สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมที่มีลักษณะน้ำเสียที่คล้ายคลึงกัน เพื่อจะได้สร้างเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ เพื่อถ่ายทอดให้อุตสาหกรรม การดำเนินการของงานวิจัยและพัฒนาเป็นแบบกึ่งประสบการณ์ (Semi-empirical approach) โดยเลือกอัตราการไหล และ ค่า BOD input ที่ต้องการแล้ว กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบอื่นได้แก่ ค่า F/M , MLVSS และกำหนดระยะเวลาของช่วงการทำงานต่าง ๆ (Sequence) ของ SBR ในช่วงที่เป็นค่าโดยทั่วไป (Typical) ซึ่งปฏิบัติกันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรม

ระบบที่ออกแบบและสร้าง จัดเป็นระดับต้นแบบ (Pilot Scale) ติดตั้งโดยได้รับความร่วมมือจาก โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ของบริษัทศรีสุทริกุลจำกัด (S.K. Foods Co.,Ltd.) ซอยวัดนางสาว ถนนเศรษฐกิจ 1 กระทุ่มแบน สมุทรสาคร น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาสดแช่แข็ง

กำหนดให้ระบบรับอัตราการไหลของน้ำเสียได้ 5 ม<sup>3</sup>/วัน

โดยมีค่า BOD<sub>input</sub> (เฉลี่ย) 1,000 มก./ลิตร

และสามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามมาตรฐานน้ำทิ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยเอาค่า BOD (BOD<sub>5</sub>) เป็นหลัก

BOD<sub>output</sub> จาก SBR 20 มก./ลิตร

คิดเป็นร้อยละของการกำจัดบีโอดี (BOD Removal 98.0 %

ในการศึกษาและวิจัยพัฒนาได้ข้อสรุปอันเป็นประโยชน์ดังนี้

#### 1. พารามิเตอร์ที่เลือกในการออกแบบ

##### 1.1 พารามิเตอร์ทางชีวภาพ (Biological Parameters)

F/M = 0.2

MLVSS = 4,000 มก./ลิตร

##### 1.2 พารามิเตอร์ของการดำเนินการระบบเอสบีอาร์ (SBR Operation Parameters)

Cycle = 2 cycle/วัน

โดยมีระยะ (Phase) ต่างๆดังนี้

(1) ให้ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) พร้อมเติมอากาศ เป็น 1 ชม.

|                                                      |     |     |
|------------------------------------------------------|-----|-----|
| (2) ให้ช่วงเติมอากาศ (Aeration) เป็น                 | 9.5 | ชม. |
| (3) ให้ช่วงหยุดเติมอากาศเพื่อตกตะกอน (Settling) เป็น | 1.0 | ชม. |
| (4) ให้ช่วงปล่อยน้ำเสียออก (Decanting) เป็น          | 0.5 | ชม. |
| รวมจำนวน ชม.ต่อ 1 cycle เป็น                         | 12  | ชม. |
| ระยะเวลาของการเติมอากาศต่อ 1 วัน เป็น                | 21  | ชม. |

### 1.3 การวิจัยได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่อการทำงานของระบบ

ดังต่อไปนี้ คือ

- (1) F/M ratio ในช่วง 0.13 – 0.36 คิดเป็น 65 % – 180 % ของค่าที่ออกแบบไว้
- (2) BOD loading ในช่วง 2.5 – 5.77 kg/day คิดเป็น 50 % – 115 % ของค่าที่ออกแบบไว้
- (3) อัตราส่วนเวลา (hr./hr.) Anoxic Fill/ Aeration: 0/10.5, 0.5/10, 1/9.5, 1.5/9
- (4) DO โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน ( $\text{m}^3/\text{min}$ ): 0.38, 0.43, 0.48, and 0.57

จากการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า ระบบ SBR ที่ได้ทำการออกแบบสร้างและศึกษา มีความยืดหยุ่นสูง มีความเสถียร สามารถรับการเปลี่ยนแปลงทั้ง F/M , BOD loading และ อัตราส่วนเวลา Anoxic Fill/ Aeration ได้ดี โดยยังสามารถคงประสิทธิภาพการกำจัด BOD ได้ตามที่ออกแบบ (BOD removal 98%) สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจน(ในรูป TKN) สูงถึง 99% อันแสดงให้เห็นจุดเด่นของระบบ SBR โดยจะต้องให้อากาศพอเพียงให้เกิด “Saturated Oxygen Plateau” ในช่วงการปลายของการบำบัดแบบใช้อากาศเท่านั้น สำหรับการทดลองนี้พบว่าอัตราให้อากาศ 0.48 – 0.57  $\text{m}^3/\text{min}$  นั้นเหมาะสมสำหรับระบบที่ทำการทดลอง โดยมีความต่ำกว่าที่ได้จากการออกแบบ

การศึกษาระยะเวลาช่วงการทำงาน (Sequence) ของระบบ SBR รายงานปรากฏการณ์ที่เกิด “Nitrate Apex” (ในกราฟ pH-Time) ซึ่งเป็นจุดที่เกิด Denitrification สมบูรณ์ และได้แสดงให้เห็นการเกิด “Ammonia Valley” อันเป็นจุดที่เกิด Nitrification สมบูรณ์ แล้วตามด้วย Saturated Oxygen Plateau

“Nitrate Apex” และ “Ammonia Valley” นี้จะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการควบคุมสัดส่วนช่วงเวลาของ Anoxic และช่วงเติมอากาศ เพื่อการกำจัด TKN อย่างมีประสิทธิภาพ และการจัดแผนการดำเนินงานการควบคุมเวลาการเติมอากาศ กระจายการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อเลี่ยง Demand Charge เป็นการควบคุมค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า อันเป็นหนึ่งในจุดเด่นของระบบเอสบีอาร์

## 2. การออกแบบระบบและการขยายขนาด

การออกแบบระบบและการขยายขนาดเป็นแบบกึ่งเอมไพริคัล(Empirical) โดยใช้ข้อมูลเอมไพริคัลได้แก่ค่า F/M , MLVSS , BOD loading , อัตราส่วนเวลา (hr./hr.) Anoxic Fill/ Aeration ที่ได้จากการทดลองนี้เป็นแนวทาง หรือ “Guide line” ร่วมกับสมการทางจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ (Cell Kinetic Model) สำหรับการออกแบบและการขยายขนาด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวการขยายขนาดจึงไม่ผูกติดกับค่าเอมไพริกัลเท่านั้น ดังนั้นโดยหลักการของการขยายขนาดจึงไม่ควรมียึดจำกัดด้านสัดส่วนของการขยายขนาด(Scale- up Ratio)

พร้อมนี้ได้สำรวจการคำนวณและการประมาณราคาของระบบเอสบีอาร์ขนาด Scale- up Ratio 20 (10-200 เป็นตัวเลขที่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติ ที่เรียกว่า “Rules Of Thumb” [13]) หรือสำหรับน้ำเสีย 100 ลบ.ม. ต่อวัน ซึ่งสามารถใช้แนวทางเดียวกันเพื่อการขยายขนาดและประมาณราคาของระบบเอสบีอาร์ที่ใหญ่กว่านี้ได้โดยใช้ข้อมูลตามการทดลองนี้ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้ว

สำหรับขีดจำกัดของขนาดนั้น จะอยู่ที่

- (1) การออกแบบระบบให้มีการกวนผสมที่ดี ซึ่งไม่ได้ศึกษาโดยละเอียดในงานวิจัยนี้
- (2) ปริมาตรของถังรองรับน้ำเสีย (Equalization Tank) รองการป้อนเข้าสู่ระบบเอสบีอาร์

ในทางปฏิบัติที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์นั้น มักใช้ระบบเอสบีอาร์กับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดกลางและขนาดเล็ก ที่มีขนาดใหญ่ที่ใช้กันอยู่ประมาณ 1,000 ลบ.ม. ต่อวัน ต่อ 1 SBR Tank ดังนั้นหากน้ำเสียมียุทธศาสตร์มากกว่านี้มักนิยมออกแบบเป็นชุดขนาดกันไป (Parallel Modules) อย่างไรก็ดี มีรายงานจากเอกสารอ้างอิงถึงการใช้งานสำหรับระบบเอสบีอาร์เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีขนาดใหญ่ สำหรับอัตราการไหล 320,000 ลบ.ม./วัน (Peak load 960,000 m<sup>3</sup>/day) โดยใช้เอสบีอาร์จำนวน 24 ชุดขนาดกัน

### 3. การเปรียบเทียบกับระบบตะกอนเร่งสำหรับน้ำเสียที่มีอัตราการไหลต่ำกัน

มีข้อสรุปด้านราคา อันเนื่องมาจากการใช้ถังตกตะกอนเพิ่ม ทำให้ต้นทุนของระบบตะกอนเร่งจะมีค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นประมาณ 25% โดยที่มีการใช้พลังงานไม่ต่างกันมากเพราะพลังงานหลักคือพลังงานในการเติมอากาศเพื่อกำจัด BOD แต่ระบบเอสบีอาร์จะมีข้อได้เปรียบที่สามารถปรับช่วงการเติมอากาศ ให้สอดคล้องกับการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอื่นในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด “Peak Load” ของพลังงานไฟฟ้า และทำให้ลดค่าไฟฟ้าอันเกิดจาก “Demand Charge” ดังที่กล่าวมาแล้วได้ดี

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG4530018

ชื่อโครงการ : การพัฒนาระบบ SBR แบบสำเร็จรูปเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร

ชื่อนักวิจัย : นพดล เจียมสวัสดิ์, ภูริภัทร์ เลิศเพ็ญเมธา, นริษฏา กวีนันทวงศ์, กนกอร หัสโรจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email address: [Noppadon.che@kmutt.ac.th](mailto:Noppadon.che@kmutt.ac.th)

ระยะเวลาโครงการ : 1 เมษายน 2545 ถึง 31 มีนาคม 2546  
ขยายเวลาถึง 31 มกราคม 2547

การศึกษาและวิจัยพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (SBR: Sequence Batch Reactor) แบบสำเร็จรูปเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร ได้ดำเนินการโดยใช้วิธีการกึ่งประสบการณ์ (Semi-empirical approach) ในการเลือกและกำหนดพารามิเตอร์ของการออกแบบ ได้แก่ อัตราการไหล BOD input, F/M, MLVSS และ ระยะเวลาช่วงการทำงาน (Sequence) ของระบบ SBR จากค่าที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป (Typical) และควบคุมการทำงานด้วยระบบ PLC (Programmable Logical Controller) สามารถสรุปได้ว่าระบบที่ออกแบบและสร้างสำหรับอัตราการไหลของน้ำเสีย 5 ลบ.ม. ต่อวัน ที่ค่า BOD<sub>5</sub> 1,000 มก./ลิตร มีวงจรการดำเนินการเป็น 2 Cycles มีช่วงการเติมอากาศ 10.5 ชม./Cycle มีความยืดหยุ่นสูง มีความเสถียรสามารถรับการเปลี่ยนแปลงทั้ง F/M , BOD loading และ อัตราส่วนเวลา Anoxic Fill/ Aeration ได้ดี โดยยังสามารถคงประสิทธิภาพการกำจัด BOD ได้ตามที่ออกแบบ (BOD removal 98%) สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจน(ในรูป TKN) สูงถึง 99% อันแสดงให้เห็นจุดเด่นของระบบ SBR โดยจะต้องให้อากาศพอเพียงให้เกิด "Saturated Oxygen Plateau" ในช่วงการปลายของการบำบัดแบบใช้อากาศเท่านั้น

การศึกษาระยะเวลาช่วงการทำงาน (Sequence) ของระบบ SBR รายงานปรากฏการณ์ที่เกิด "Nitrate Apex" (ในกราฟ pH-Time) ซึ่งเป็นจุดที่เกิด Denitrification สมบูรณ์ และได้แสดงให้เห็นการเกิด "Ammonia Valley" อันเป็นจุดที่เกิด Nitrification สมบูรณ์ แล้วตามด้วย Saturated Oxygen Plateau

"Nitrate Apex" และ "Ammonia Valley" นี้จะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการควบคุมสัดส่วนช่วงเวลาของ Anoxic และช่วงเวลาเติมอากาศ เพื่อการกำจัด TKN อย่างมีประสิทธิภาพ และการจัดแผนการดำเนินงานการควบคุมเวลาการเติมอากาศ กระจายการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อเลี่ยง Demand Charge เป็นการควบคุมค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า อันเป็นหนึ่งในจุดเด่นของระบบเอสบีอาร์

**คำสำคัญ :** ระบบเอสบีอาร์, การบำบัดน้ำเสีย, Nitrification, De-nitrification,

## Development of a Packaged SBR System for Waste Water Treatment from Food Industries

Noppadon Cheamsawat

Puripat Lertpenmeta

Narisada Kaweenantawong

Kanokorn Hasaro

King Mongkut's University of Technology Thonburi

### Abstract

The development of a completed package SBR system (SBR: Sequence Batch Reactor) for food industries was performed by a semi-empirical approach. The typical design parameters were defined and chosen; namely, influent flow rate, BOD input, F/M, MLVSS and the SBR operation sequences. A PLC (Programmable Logical Controller) was used for the sequencing control. The system was designed for the effluent flow rate of 5 m<sup>3</sup>/day at BOD<sub>5</sub> of 1,000 mg/L, comprising 2 Cycles and an aeration time of 10.5 hr/cycle. It was concluded that the system had high operation stability. It was capable of receiving fluctuations in F/M, BOD loading and varied time-ratio of Anoxic Fill/ Aeration., while maintaining the efficiency of BOD reduction, which was designed at 98% removal. The system was also capable of reduction of the Nitrogen compound (as TKN) as high as 99% removal. It only needed that the sufficient amount of Oxygen was providing to guarantee "Saturated Oxygen Plateau" at the end of the aeration process.

The study on the operation sequence of the system showed the phenomena of the "Nitrate Apex" (in the pH-Time graph), which was the completion point of Denitrification and also the "Ammonia Valley", which was the completion point of Nitrification, followed by the "Saturated Oxygen Plateau".

The "Nitrate Apex" and the "Ammonia Valley" should be useful for effective controlling of the Anoxic/Aeration phases in order to achieve the efficient reduction of the TKN. It should also be useful for balancing of the electrical power consumption load, to avoid the Demand Charge and help controlling the operation energy expense. This should be one of the final strong points of the SBR.

**Key words:** SBR System, Waste water treatment, Nitrification, De- nitrification

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)เป็นอย่างสูง สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยในโครงการนี้ และขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานของบริษัท ศรีสุทธิกุล จำกัด ในการอำนวยความสะดวกในการดำเนินการของโครงการในระบบต้นแบบของโครงการนี้ ซึ่งติดตั้งอยู่ในบริเวณโรงงานของบริษัท

ตลอดจนการให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่จำเป็นสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจรับผลงานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงรายงานฉบับสมบูรณ์เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมต่อไป

และขอขอบคุณผู้ร่วมโครงการทุกท่านที่ช่วยในการดำเนินการให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

## คณะดำเนินงานโครงการ

### หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. นพดล เจียมสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### นักวิจัย

นางสาวนริษฎา กวีนันทวงศ์

นายภูริภัทร์ เลิศเพ็ญเมธา

นางสาวกนกอร หัสโรค์

สำนักงานเทคโนโลยี SMEs มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## สารบัญ

## หน้า

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| บทสรุปผู้บริหาร                                              | ก  |
| บทคัดย่อ                                                     | ง  |
| Abstract                                                     | จ  |
| กิตติกรรมประกาศ                                              | ฉ  |
| คณะดำเนินงานโครงการ                                          | ช  |
| บทที่ 1 บทนำ                                                 | 1  |
| บทที่ 2 ทฤษฎี                                                | 11 |
| บทที่ 3 การออกแบบระบบเอสพีอาร์                               | 18 |
| บทที่ 4 อุปกรณ์ของระบบเอสพีอาร์                              | 33 |
| บทที่ 5 การทดลอง                                             | 40 |
| บทที่ 6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง                               | 41 |
| บทที่ 7 บทสรุป                                               | 60 |
| เอกสารอ้างอิง                                                | 63 |
| ภาคผนวก                                                      | 64 |
| ภาคผนวก ก : ข้อมูลการทดลอง                                   | 65 |
| ภาคผนวก ข : คู่มือการออกแบบระบบเอสพีอาร์                     | 81 |
| ภาคผนวก ค : ตัวอย่างในการขยายขนาด (Scale – up) ระบบเอสพีอาร์ | 84 |
| ภาคผนวก ง : ตารางตรวจสอบรายการ (Check Lists)                 | 90 |

## สารบัญตาราง

|                                                                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 1.1 ข้อมูลเบื้องต้นค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งของ<br>บริษัทศรีสุทริกุลจำกัด | 9    |
| ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของแผนการทดลอง                                                                   | 40   |
| ตารางที่ 6.1 การเริ่มต้นระบบ SBR ก่อนเข้าสู่ภาวะคงที่ (Start up experiments)                            | 42   |
| ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบ                                                    | 44   |
| ตารางที่ 6.3 ผลกระทบของ F/M ratio ต่อการทำงานของระบบ SBR                                                | 45   |
| ตารางที่ 6.4 การศึกษาผลกระทบของ BOD loading ต่อการทำงานของระบบ SBR                                      | 47   |
| ตารางที่ 6.5 ผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR<br>ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนโดยระบบ SBR       | 53   |
| ตารางที่ 6.6 ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR                                                       | 56   |
| ตารางที่ 6.7 ปริมาณคลอรีนที่เหลืออยู่ภายหลังการเติม Sodium Hypo Chlorite                                | 59   |
| ตารางที่ 6.8 การศึกษาประสิทธิภาพของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยระบบ SBR แล้ว         | 59   |
| <b>ตารางในภาคผนวก</b>                                                                                   |      |
| ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการวิเคราะห์เทียบค่า (Calibration)                                                   | 65   |
| ตารางที่ ก.2.1 การทดลองที่ 2.1                                                                          | 66   |
| ตารางที่ ก.2.2 การทดลองที่ 2.2                                                                          | 66   |
| ตารางที่ ก.2.3 การทดลองที่ 2.3                                                                          | 67   |
| ตารางที่ ก.2.4 การทดลองที่ 2.4                                                                          | 67   |
| ตารางที่ ก.2.5 การทดลองที่ 2.5                                                                          | 68   |
| ตารางที่ ก.2.6 การทดลองที่ 2.6                                                                          | 68   |
| ตารางที่ ก.2.7 การทดลองที่ 2.7                                                                          | 69   |
| ตารางที่ ก.2.8 การทดลองที่ 2.8                                                                          | 69   |
| ตารางที่ ก.2.9 การทดลองที่ 2.9                                                                          | 70   |
| ตารางที่ ก.2.10 การทดลองที่ 2.10                                                                        | 70   |
| ตารางที่ ก. 3.3 การทดลองที่ 3.3                                                                         | 72   |
| ตารางที่ ก. 3.4 การทดลองที่ 3.4                                                                         | 72   |
| ตารางที่ ก. 4.1 การทดลองที่ 4.1                                                                         | 73   |
| ตารางที่ ก. 4.2 การทดลองที่ 4.2                                                                         | 73   |

### สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ ก. 4.3 การทดลองที่ 4.3                                                                                  | 74   |
| ตารางที่ ก. 4.4 การทดลองที่ 4.4                                                                                  | 74   |
| ตารางที่ ก. 4.5 การทดลองที่ 4.5                                                                                  | 75   |
| ตารางที่ ก. 4.6 การทดลองที่ 4.6                                                                                  | 75   |
| ตารางที่ ก. 5.1 การทดลองที่ 5.1                                                                                  | 76   |
| ตารางที่ ก. 5.2 การทดลองที่ 5.2                                                                                  | 76   |
| ตารางที่ ก. 5.3 การทดลองที่ 5.3                                                                                  | 77   |
| ตารางที่ ก. 5.4 การทดลองที่ 5.4                                                                                  | 77   |
| ตารางที่ ก. 5.5 การทดลองที่ 5.5                                                                                  | 78   |
| ตารางที่ ก. 5.6 การทดลองที่ 5.6                                                                                  | 78   |
| ตารางที่ ก. 6.1 การทดลองผลของคลอรีน (สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 5%) ในน้ำทิ้งที่ผ่าน<br>การบำบัดจากระบบเอสปีอาร์ | 79   |
| ตารางที่ ก. 6.2 ปริมาณคลอรีนที่คงค้างในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสปีอาร์                                    | 79   |
| ตารางที่ ก. 7.1 ตารางการถ่ายตะกอนจุลินทรีย์ออก                                                                   | 80   |
| ตารางที่ ค.1 ผลของการขยายขนาดไปสู่ SBR สำหรับบำบัดน้ำเสียขนาด 100 ลบม./วัน                                       | 87   |
| ตารางที่ ค.2 การเปรียบเทียบต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการ<br>ระหว่างระบบ SBR กับระบบ Activated sludge           | 89   |
| ตารางที่ ง. 1 ตารางตรวจสอบรายการ(Chec Lists)<br>สำหรับการออกแบบและการประเมินราคากระบบเอสปีอาร์                   | 90   |

## สารบัญรูป

|                                                                                                                                | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 1.1 SBR Operation sequences diagram                                                                                     | 5    |
| รูปที่ 1.2 วัฏจักรของการดำเนินการระบบเอสบีอาร์ โดยทั่วไป (Typical SBR Operation Cycle)                                         | 8    |
| รูปที่ 1.3 แผนผังกระบวนการผลิตปลาแล่สดเพื่อการส่งออกของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง<br>บริษัทศรีสุทริกุลจำกัด                        | 10   |
| รูปที่ 3.1 Decanter รูปสามเหลี่ยม                                                                                              | 21   |
| รูปที่ 3.2 รูปอย่างง่ายแสดงระยะการจมตัวเมื่อถ่วงน้ำหนักด้วยน้ำในทุ่นลอย                                                        | 22   |
| รูปที่ 3.3 Decanter พร้อมทุ่นลอย                                                                                               | 24   |
| รูปที่ 3.4 แผนผังกระบวนการของระบบเอสบีอาร์ในโครงการ                                                                            | 26   |
| รูปที่ 3.5 PLC Ladder diagram                                                                                                  | 28   |
| รูปที่ 3.6 รูปแสดงวงจรไฟฟ้าของระบบ PLC                                                                                         | 29   |
| รูปที่ 3.7 รูปแสดงวงจรไฟฟ้ากำลังของระบบ (Electrical power circuit diagram)                                                     | 30   |
| รูปที่ 3.8 รูปถ่ายแผงหน้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR                                                               | 32   |
| รูปที่ 3.9 แผงแสดงแผงหน้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR                                                               | 32   |
| รูปที่ 4.1 รูปถ่ายระบบ SBR ติดตั้ง ณ บริเวณของโรงงานบริษัทศรีสุทริกุล จำกัด                                                    | 37   |
| รูปที่ 4.2 รูปถ่ายแสดงการติดตั้ง Air Diffusers ภายในถัง SBR (T3)                                                               | 37   |
| รูปที่ 4.3 รูปถ่ายตู้ควบคุมไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR                                                                          | 38   |
| รูปที่ 4.4 รูปถ่ายแผงวงจรควบคุม ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR                                                       | 39   |
| รูปที่ 4.5 รูปถ่ายการต่อวงจรด้านหลังสวิทช์ควบคุม ของแผงหน้าของตู้ควบคุม                                                        | 39   |
| รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า MLVSS กับ $SV_{30}$                                                                  | 43   |
| รูปที่ 6.2 การเริ่มดำเนินการระบบ SBR                                                                                           | 43   |
| รูปที่ 6.3 ผลของค่า F/M ratio ต่อการดำเนินการของระบบ SBR                                                                       | 46   |
| รูปที่ 6.4 ผลกระทบของค่า BOD Loading ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SBR                                                         | 48   |
| รูปที่ 6.5a ค่า DO ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่ BOD Loading ต่างๆกัน                                              | 50   |
| รูปที่ 6.5b ค่า pH ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่ BOD Loading ต่างๆกัน                                              | 50   |
| รูปที่ 6.6 ผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน<br>ในระบบ SBR                                | 53   |
| รูปที่ 6.7a DO Profile ตลอดช่วงการดำเนินการ 1 Cycle ของ SBR โดยมีอัตราส่วนเวลา<br>anoxic fill/aeration Process เป็นพารามิเตอร์ | 55   |
| รูปที่ 6.7b pH Profile ตลอดช่วงการดำเนินการ 1 Cycle ของ SBR โดยมีอัตราส่วนเวลา anoxic<br>Fill/aeration process เป็นพารามิเตอร์ | 55   |
| รูปที่ 6.8 ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR                                                                                | 57   |

### สารบัญรูป (ต่อ)

|                                                                                      | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 6.9a ค่า DO ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่อัตราการเติมอากาศต่างกัน | 58   |
| รูปที่ 6.9b ค่า pH ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่อัตราการเติมอากาศต่างกัน | 58   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ในสภาวะปัจจุบัน การขาดแคลนน้ำใช้ในการอุปโภคบริโภค จำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ปัญหาการปล่อยน้ำเน่าเสียในแม่น้ำลำคลอง มาตรฐานการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม กฎหมายที่เข้มงวดขึ้น เป็นสิ่งที่ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ตระหนักถึงการใช้กันอย่างมีคุณค่าและรักษาสิ่งแวดล้อม ประกอบกับการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ในปัจจุบันคนไทยยังต้องพึ่งพา Know How เทคโนโลยีและวัสดุอุปกรณ์จากต่างประเทศเป็นหลัก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จึงเห็นความสำคัญที่จะทำการวิจัยพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพโดยฝีมือคนไทยและสามารถใช้งานได้จริง

ระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมี 2 กระบวนการใหญ่ๆ คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ และระบบบำบัดน้ำเสียด้านกระบวนการทางเคมี การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพ ที่มีลักษณะสมบูรณ์ในตัว (Packaged) โดยการทำงานของระบบเป็นอัตโนมัติ (Automatic) และง่ายต่อการปรับแต่ง (Adjustable) ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารซึ่งจะเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่เป็นหลักในการทำรายได้ให้ประเทศในอนาคต การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ จะออกแบบและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสูง และง่ายต่อการควบคุมการทำงานและซ่อมบำรุงรักษา

ผู้วิจัยเลือกพัฒนาระบบ SBR (Sequencing Batch Reactor) เนื่องจากระบบ SBR เป็นระบบที่มีจุดเด่นหลายประการในการบำบัดน้ำเสียที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพ ตัวอย่างของจุดเด่นดังกล่าว เช่น

- ประหยัดพื้นที่
- การควบคุมการทำงานง่ายสามารถใช้การควบคุมโดยระบบ PLC (programmable logical control) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- สามารถแยกตะกอนชีวภาพออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้อย่างสมบูรณ์แบบ
- ระบบมีความเสถียร (stability) สามารถปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลความเข้มข้นและองค์ประกอบของน้ำเสียได้อย่างดี
- และอาจมีราคาการก่อสร้างถูกกว่าระบบตะกอนเร่งได้ในช่วงของค่าการไหล และภาระบรรจุบีโอดี (BOD loading) ที่เหมาะสม

เทคโนโลยีระบบ SBR แบบสำเร็จรูปที่ได้ จะสามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องและมีลักษณะของน้ำเสียคล้ายคลึงกันได้ จะสามารถสร้างระบบ SBR ในโรงงานประกอบ แล้วเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในสถานที่ได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ เป็นโรงงานขนาดเล็ก ผู้วิจัยและคณะมีประสบการณ์ทั้งในระดับงานวิจัย [1],[2] และในการออกแบบและควบคุมการดำเนินการของระบบ SBR ระดับอุตสาหกรรม [3],[4] จึงมีความมั่นใจว่างานวิจัยนี้จะมีความสำเร็จสูงและผลที่ได้รับจะสามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้จริงต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้าง Know how ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ SBR ที่สมบูรณ์ในตัว
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติของระบบ SBR ที่สมบูรณ์ ระบบควบคุมดังกล่าวเป็นหัวใจของการที่จะทำให้ระบบ SBR มีประสิทธิภาพสูงสุด และยืดหยุ่น (Flexible) สำหรับรับน้ำเสียที่มีคุณสมบัติต่างๆ ขึ้นได้อย่างดียิ่ง
- 1.2.3 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบ SBR ให้กับอุตสาหกรรม

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

- 1.3.1 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ระบบที่ออกแบบขึ้นนี้จะสามารถปรับใช้งานได้ง่ายสำหรับอุตสาหกรรมประเภทอุตสาหกรรมอาหารรวมถึงอุตสาหกรรมเกษตร และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องด้วย
- 1.3.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยระบบ SBR จะกำหนดให้การทำงานเป็นระบบอัตโนมัติ (Automatic) แบบ Sequencing Control โดยใช้ PLC (Programmable Logic Controller) ควบคุม
- 1.3.3 น้ำเสียตัวอย่างจะใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งกำหนดให้มีบีโอดีสูงสุดได้ถึง 1,000 มก./ลิตร (อัตราส่วน BOD/COD ประมาณ 1/2)
- 1.3.4 จะสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ต้นแบบ สำหรับอัตราการป้อนไม่ต่ำกว่า 5 ลบ.ม./วัน ที่ บีโอดี สูงสุดได้ถึง 1,000 มก./ลิตร
- 1.3.5 ประเมินต้นทุนทั้งอุปกรณ์ (Capital Cost) และต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Cost)
- 1.3.6 สรุปผลในลักษณะรายงานที่สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรมได้
- 1.3.7 จัดทำคู่มือการออกแบบระบบ SBR และคู่มือการควบคุมดูแลระบบ SBR โดยใช้ PLC เพื่อเผยแพร่กับอุตสาหกรรมเมื่อจบสิ้นโครงการ

## 1.4 การทบทวนเอกสารวิจัย (Literature Review)

ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor: SBR) หมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศซึ่งทำงานแบบกะ (Batch) ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ (Reactor) ทำหน้าที่เป็นถังเลี้ยงจุลินทรีย์แบบให้อากาศและเป็นถังตกตะกอน (Clarifier) ไปในตัวด้วย โดยมีการให้อากาศแบบไม่ต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่ามีการเติมอากาศเป็นแบบกะ

ระบบเอสบีอาร์นี้มีระบบการทำงานคล้ายกับระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) รุ่นแรกออกแบบโดย Ardern และ Lockett ในปีพ.ศ. 2457(ค.ศ.1914) ในขณะนั้นเรียกระบบดังกล่าวนี้ว่า “Fill and Draw” หลักการที่สำคัญคือการทำงานเป็นแบบกะ โดยปล่อยน้ำเสียเข้าในถังให้เต็มถังก่อน จากนั้นจึงเติมอากาศจนค่า บีโอดี ถึงจุดที่ยอมรับได้สำหรับการบำบัดนั้นๆ จากนั้นจึงหยุดการเติมอากาศและทิ้งให้จุลินทรีย์ตกตะกอน (ในสภาวะนี้ระบบจะมีออกซิเจนน้อยกว่าขณะเติมอากาศปกติ เรียกว่าระยะ Anoxic) แล้วจึงปล่อยน้ำที่ใสและบำบัด

แล้วทิ้ง และเริ่มต้นปล่อยน้ำเสียใหม่เข้าระบบอีกครั้งหนึ่ง แล้วเติมอากาศเป็นการเริ่มการดำเนินการซ้ำในรอบ หรือจะต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1.1

บทความปริทัศน์เกี่ยวกับระบบเอสปีอาร์นำเสนอโดย S. Mace และ J. Mata-Alrez [1] ได้ให้ภูมิหลังไว้ อย่างครอบคลุมเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีนี้และการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียทั้งจากครัวเรือนและใน อุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ในสมัยแรกๆของการใช้ระบบเอสปีอาร์ดังกล่าว นั้น ลักษณะการใช้ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนในถัง เดียวกันนั้นยังไม่ค่อยสะดวก เนื่องจากยังขาดระบบการควบคุมแบบซีควเอนซ์ (Sequential Control) เช่น PLC (Programmable Logical Controller) ที่ง่ายต่อการใช้งานเช่นในปัจจุบัน ดังนั้นสำหรับน้ำเสียที่มีการไหลอย่าง ต่อเนื่องจึงยังนิยมใช้ระบบแอ็คติเวเตดสลัดจ์อยู่ แต่อย่างไรก็ดี ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า 46% ของระบบแอ็คติเวเตดสลัดจ์ ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง สาเหตุที่สำคัญของความล้มเหลวเกิด จากการออกแบบและการควบคุมการทำงานของถังตกตะกอน ซึ่งก็เป็นสาเหตุเดียวกับที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

จนกระทั่งเมื่อระบบ PLC มีราคาที่เหมาะสมและง่ายต่อการใช้งาน ระบบเอสปีอาร์จึงกลับมาเป็นที่ใช้อีก ครั้งหนึ่ง โดยนอกจากจะสามารถบำบัดน้ำเสียในรูปการกำจัดค่าบีโอดีแล้ว ระบบนี้ยังให้ผลเสริม (Benefit) ในการควบคุมและบำบัดสารประกอบไนโตรเจนผ่านกระบวนการ

ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เพื่อตรึงไนโตรเจน ในช่วงที่ค่า DO สูงกว่า 1 มก/ล และจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เพื่อกำจัดไนโตรเจนเมื่อค่า DO ต่ำกว่า 0.5 มก/ล เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มี วิธีที่แตกต่างไปจากระบบเติมอากาศแบบอื่นๆ ที่ใช้กันเนื่องจากระบบเอสปีอาร์จะทำงานแบบเป็นกะ ส่วนการให้อากาศแบบอื่นจะเป็นการทำงานแบบต่อเนื่อง ระบบเอสปีอาร์นี้จะใช้ถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียวทำหน้าที่เป็นทั้งถังเติมอากาศและถังตกตะกอน การควบคุมจึงเป็นไปได้ง่าย ในกรณีที่น้ำเสียจากโรงงานเป็นแบบต่อเนื่องเราสามารถใส่ระบบเอสปีอาร์ที่ใช้ถังปฏิกรณ์หลายใบได้ โดยในเวลาใดเวลาหนึ่งถังแต่ละใบจะทำหน้าที่ไม่ตรงกัน เพื่อให้สามารถกำจัดน้ำเสียที่ไหลต่อเนื่องกันตลอดเวลาได้โดยไม่ขาดตอน

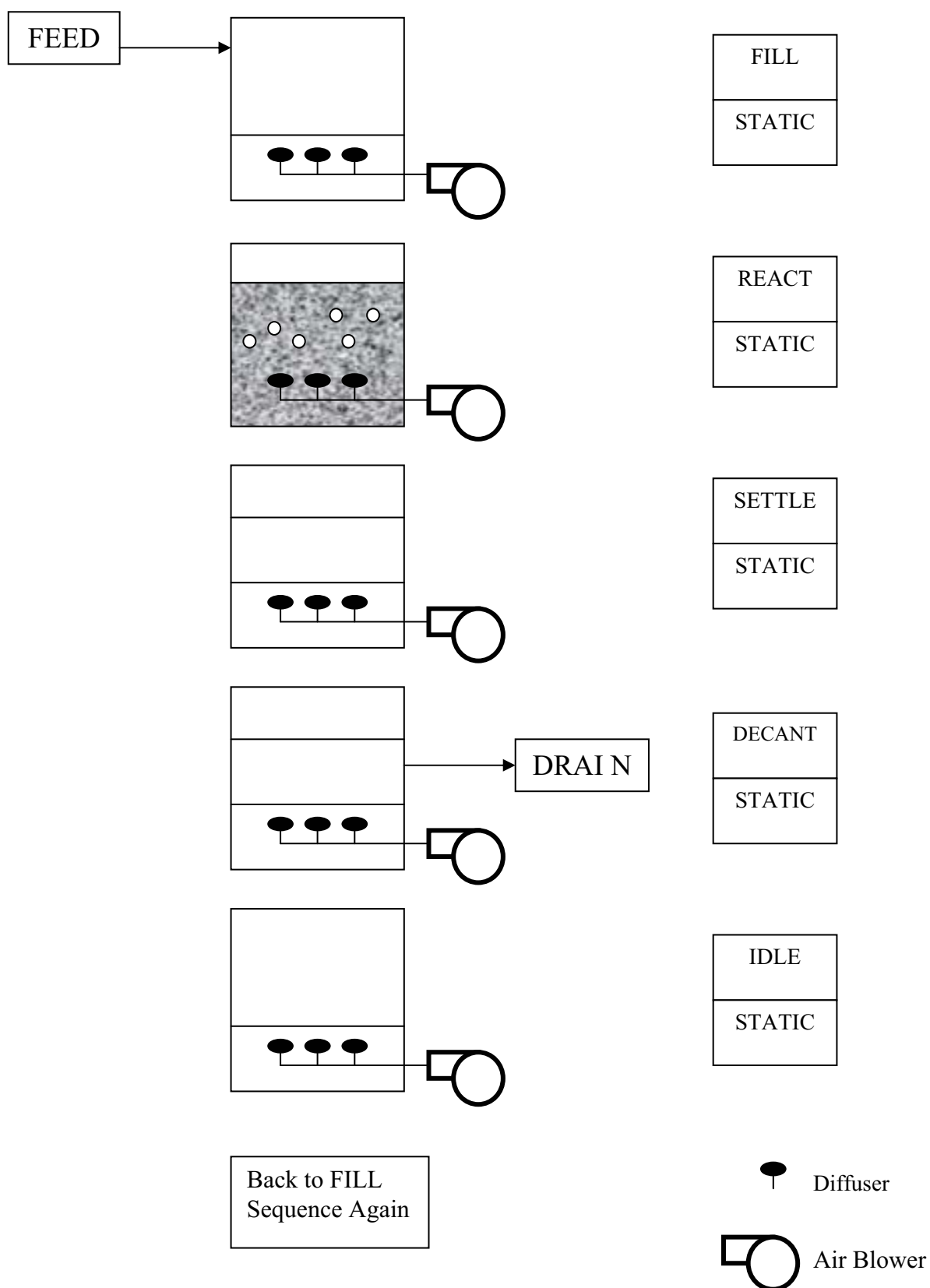
ในด้านเศรษฐศาสตร์นั้น Nigel Slater [2] ได้กล่าวถึงจุดเด่นหลายหลายประการของระบบเอสปีอาร์ตามแนวทางที่ให้ไว้โดยสังเขปแล้วในข้อ 1.1 โดยยกตัวอย่างของกรณีการใช้งานจริงในประเทศต่างๆรวมทั้งในประเทศไทยด้วย

ระบบเอสปีอาร์ที่เรียกกันในปัจจุบัน ได้ทดลองใช้ในการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมเมื่อประมาณต้นคริสต์ทศวรรษ 1990 นี้เอง โดยระบบแรกๆสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเคมีภัณฑ์ พบว่าระบบเอสปีอาร์มีความเสถียร และมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดี โดยเฉพาะสามารถควบคุมปริมาณสารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วได้ดี จากนั้นจึงขยายเข้าสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร นำทั้งจากครัวเรือน และการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียต่างๆในเวลาต่อมา

นพดล เจียมสวัสดิ์ [3] ได้ประยุกต์ใช้ระบบเอสปีอาร์ในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตปลาหมึกกระป๋อง โดยใช้ระบบบ่อหมักไร้อากาศผนวกกับระบบเอสปีอาร์ สำหรับน้ำเสีย 549 ลบ.ม./วัน ค่า BOD เฉลี่ยของน้ำเสียขาเข้า (input) ก่อนเข้าระบบบ่อหมักไร้อากาศประมาณ 1,740 มก./ลิตร มีสถานะของการดำเนินการแสดงในตารางที่ 1.1 จากการทดลองในภาคสนามพบว่าระบบที่ใช้มีประสิทธิภาพของการกำจัด COD ได้ในช่วงประมาณ 90-95%

วิมลศิริ ปริดาสวัสดิ์ และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ปล่อยน้ำทิ้ง (Zero Discharge) ที่เป็นระบบรวมระหว่างระบบเอสบีอาร์และระบบบึงประดิษฐ์ พร้อมกับพัฒนาระบบควบคุมสำหรับระบบเอสบีอาร์โดยใช้ PLC สำหรับน้ำเสียครัวเรือนที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้ง 600 ลิตรต่อวันค่า BOD 80-800 มก./ลิตร เป็นการศึกษาเบื้องต้นที่แสดงให้เห็นความน่าสนใจและเป็นไปได้ที่จะใช้ระบบเอสบีอาร์-บึงประดิษฐ์ร่วมกัน โดยไม่มีการทิ้งน้ำเสียเลย

การันย์ ชันแดง และคณะ [5] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra filtration) สำหรับนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วจากระบบเอสบีอาร์กลับมาใช้ใหม่ โดยเป็นการศึกษาต่อจากการศึกษาของระบบบ่อหมัก-ระบบเอสบีอาร์ ที่ในโรงงานอุตสาหกรรมปลาทุ่นำมาทิ้ง ซึ่งศึกษาโดย นพดล เจริญสวัสดิ์ [3] ที่ได้กล่าวมาแล้ว ในกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันนั้นใช้เยื่อแผ่นแบบ Hollow Fibre วัสดุ Polyacrylonitrile มีขนาดการกักกันโมเลกุล (MWCO) 50,000 ใช้ความดันในช่วง 0.5-30 บาร์ พบว่าสามารถลดค่า COD ลงได้อีก 78-85% ลดน้ำมันและไขมัน (O&G) ลงได้ 64-84% และลดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ลงได้ 38-64% แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ของการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วโดยกระบวนการเอสบีอาร์ กลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) โดยใช้ร่วมกับกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 1.1 SBR Operation sequences diagram

## การกำจัดการประกอบไนโตรเจน

ความสามารถหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้ระบบเอสบีอาร์ต่างจากระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ คือความสามารถของระบบเอสบีอาร์ที่จะกำจัดการประกอบไนโตรเจนอินทรีย์(Organic Nitrogen Compounds) ในน้ำเสียโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และ ดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification and De-nitrification) อันเป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ที่เป็นของเสียอันอาจได้แก่โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์อื่นๆ ให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนของแอมโมเนีย (Ammonia Nitrogen form,  $\text{NH}_4^+$ ) โดยแบคทีเรียรวมๆในน้ำเสียในสภาพที่มีออกซิเจน แล้วจึงเปลี่ยนให้เป็นไนไตรท์ (Nitrite) โดยแบคทีเรียไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas) แล้วเปลี่ยนให้เป็นไนเตรท (Nitrate) โดยแบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ตามลำดับ

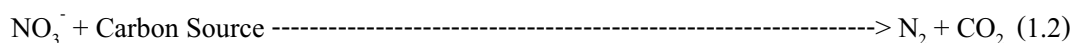
สมการแบบง่าย ของการเกิดไนตริฟิเคชัน (Simplified Nitrification Equation) คือ

*Nitrosomonas and Nitrobacter*



และสมการแบบง่ายของการเกิด ดีไนตริฟิเคชัน คือ

จุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจนไม่พอ (Anoxic Stage)



ดังนั้นระบบการกำจัดการประกอบไนโตรเจนอินทรีย์จะมีประสิทธิภาพหรือไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาในสมการ(1.1) และ (1.2) มีค่า DO (Dissolved Oxygen) , pH และ ORP เป็นตัวแปรควบคุม (Controlled Parameter)

ไนตริฟิเคชันตามสมการ(1.1) จะถูกควบคุมด้วย pH (ซึ่งเป็นดัชนีสะท้อนค่า Alkalinity) และ DO โดยจะมีจุดต่ำสุดในกราฟ pH-Time ของช่วงเดิมอากาศเป็นดัชนีชี้การเกิดไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ (End Point) มักเรียกจุดนี้ว่า “Ammonia Valley” ซึ่งตรงกับจุดเปลี่ยนความโค้งของกราฟ pH-Time [6]

ในทำนองคล้ายกันตามสมการ (1.2) pH และ ORP (Oxidation-reduction Potential) ก็จะเป็นดัชนีควบคุมดีไนตริฟิเคชัน ในช่วง Anoxic โดยมี “Nitrate Apex” อันเป็นจุดสูงสุดในกราฟ pH-Time สัมพันธ์กับจุด “Nitrate Knee” ที่เปลี่ยนความชันของกราฟ ORP-Time เป็นจุดแสดงปลายช่วงดีไนตริฟิเคชัน ก่อนการเติมอากาศเพื่อเริ่มรอบดำเนินการใหม่ [7]

จึงสามารถใช้ค่า DO, pH และ ORP เป็นตัวแปรเพื่อการควบคุมการทำงานของระบบเอสบีอาร์แบบ On-line ได้อย่างดีในระบบควบคุมแบบชาญฉลาดต่างๆ (AI, Artificial Intelligent) เช่น ในระบบ “Fuzzy-Logic” เป็นต้น [6][7][8]

## การกำจัดฟอสฟอรัส

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบหนึ่งที่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสน้ำเสีย ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟตได้ดี Choi และ Yoo [9] รายงานในการศึกษาการใช้ระบบ เอสบีอาร์ในการกำจัดสารประกอบฟอสเฟต สำหรับน้ำเสียที่มีฟอสเฟตสูงจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอาหารและน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนัง โดยพบว่าสามารถกำจัดฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้นถึง 50 มก./ลิตร ได้ประสิทธิภาพถึง 93%

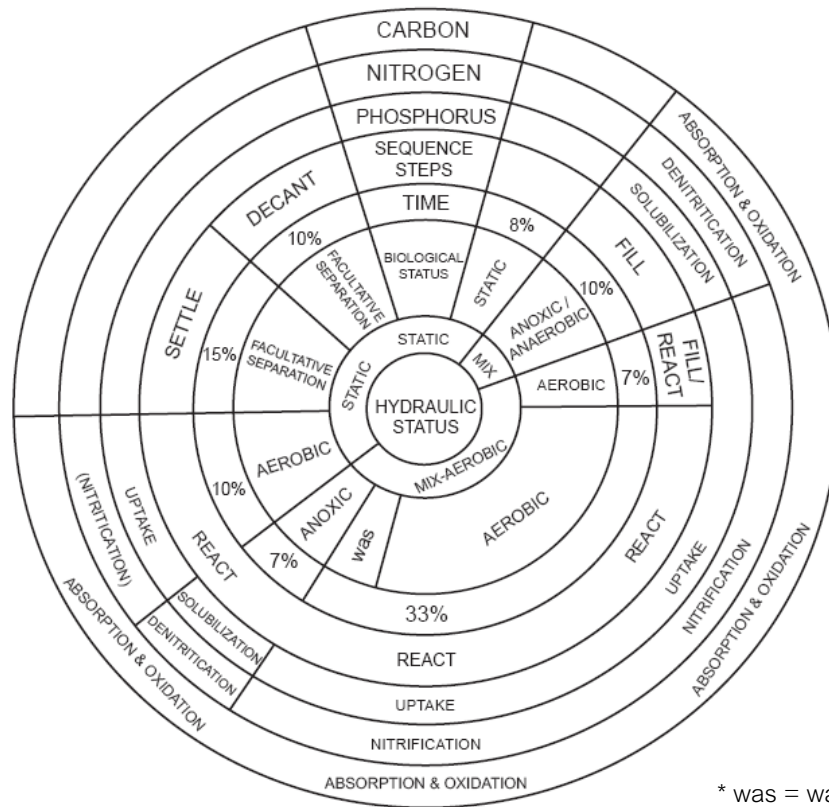
โดยช่วงของการเติมอากาศอย่างเดียว เป็นเวลา 12 ชั่วโมงสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้เพียง 35% แต่การใช้ระบบ เอสบีอาร์ที่มีวัฏจักรการไม่เติมอากาศ 2 ชั่วโมง และเติมอากาศ 4 ชั่วโมง สามารถกำจัดฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้นถึง 50 มก./ลิตร ได้ประสิทธิภาพถึง 93% ในระยะ 5 Cycle ของการดำเนินการ

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นไปโดยกลไก

- (1) การละลาย (Dissolution) ของเกลือฟอสเฟตในช่วง Anoxic พร้อมๆกับการเกิด ดีไนตริฟิเคชัน
- (2) การใช้สารละลายฟอสเฟตในการเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ (Uptaking)

โดยมีแผนผังวัฏจักร(Cycle) ของการดำเนินการของระบบเอสบีอาร์ ในขั้นตอนต่างๆแสดงไว้อย่างชัดเจน ตามรูปที่ 1.2 (เอกสารอ้างอิง [10])

การดำเนินการของโครงการนี้จะศึกษาระบบเอสบีอาร์ในด้านตัวแปรของการออกแบบ พร้อมการวัดและติดตามผลการดำเนินการ ตามแนวทางที่กล่าวมานี้ โดยมีการปรับปรุงและขยายผลเพิ่มเติมในการศึกษาดังจะกล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป



## TYPICAL SBR CYCLE

รูปที่ 1.2 วัฏจักรของการดำเนินการระบบเอสบีอาร์ โดยทั่วไป (Typical SBR Operation Cycle)

## 1.5 การคัดเลือกโรงงานเพื่อติดตั้งและทดสอบระบบเอสบีอาร์

กลุ่มวิจัยโครงการพัฒนาระบบเอสบีอาร์ได้เลือกวิเคราะห์น้ำเสียและติดตั้งระบบเอสบีอาร์ที่โรงงานของบริษัทศรีสุทริกุลจำกัด (S.K. Foods Co., Ltd.) ซอยวัดนางสาว ถนนเสริมกิจ 1 กระทุ่มแบน สมุทรสาคร ซึ่งมีกระบวนการผลิต 2 โรงงาน คือ 1. โรงงานผลิตปลาพูนำกระป๋อง มีกำลังการผลิต 50 ตัน ปลา/วัน ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น 500 ลบ.ม/วัน มีการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แอนแอโรบิก ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 2. โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งมีกำลังการผลิต 5 ตัน ปลา/วัน ปริมาณน้ำเสีย 7 ถึง 10 ลบ.ม/วัน

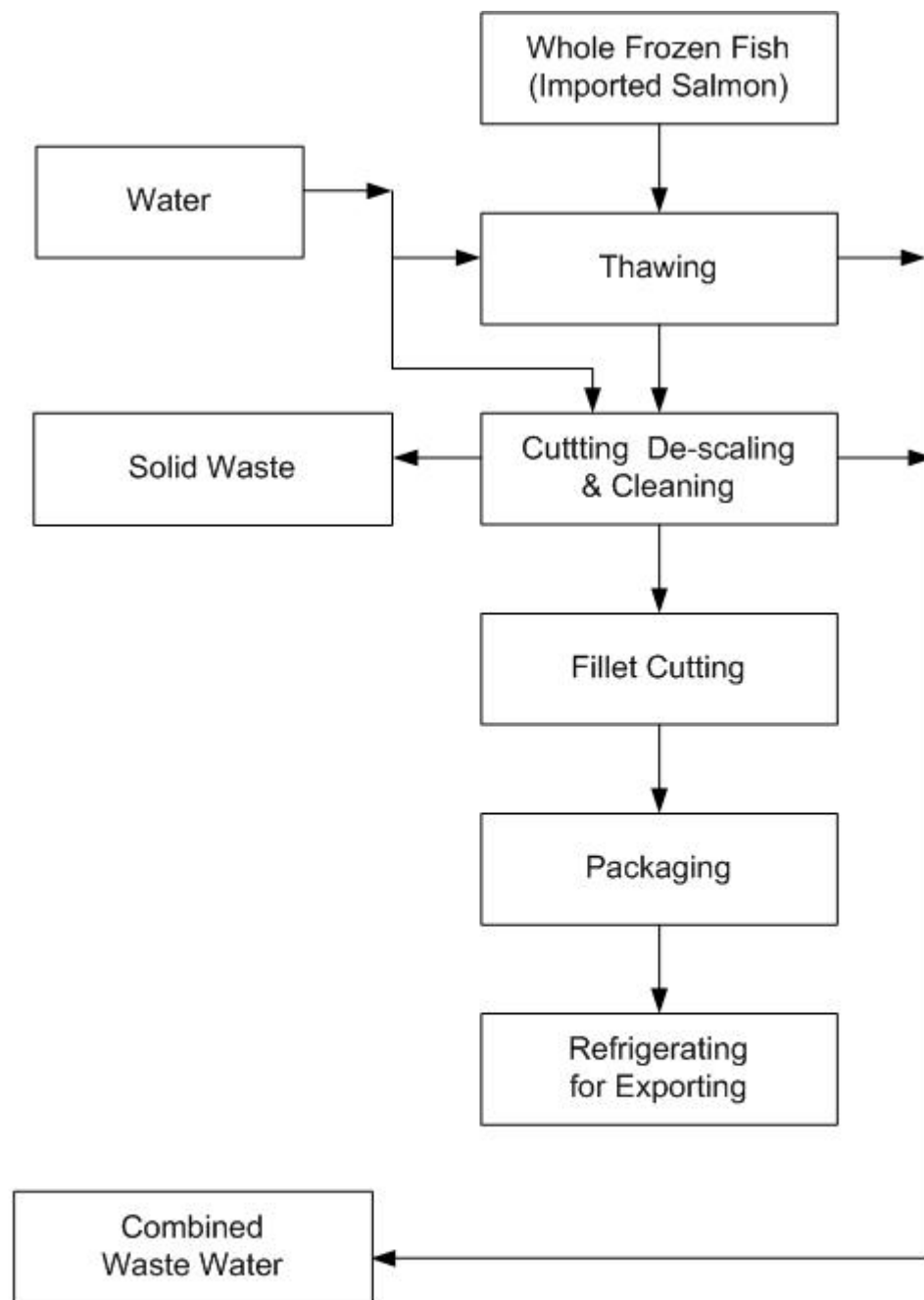
จากการสำรวจในปัจจุบันโดยอาศัยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบ Grab sample พบว่าโรงงานผลิตปลาพูนำกระป๋องมีการใช้น้ำปริมาณไม่สม่ำเสมอ จะใช้มากในกระบวนการล้างปลาและการล้างโรงงาน และสถานที่ภายในโรงงานไม่สะดวกในการติดตั้งระบบเอสบีอาร์ และเมื่อพิจารณาโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งซึ่งอยู่บริเวณใกล้เคียงห่างจากโรงงานผลิตปลาพูนำกระป๋องประมาณ 500 เมตร พบว่าอาหารทะเลแช่แข็งปลา มีคุณสมบัติน้ำเสียที่เหมาะสมใกล้เคียงกับวัตถุประสงค์เหมาะที่จะนำมาร่วมในโครงการ อีกทั้งยังมีพื้นที่กว้างสะดวกที่จะติดตั้งระบบ ทางกลุ่มวิจัยจึงเลือกติดตั้งระบบเอสบีอาร์ที่โรงงานอาหารทะเลแช่แข็งศรีสุทริกุล (โรงงาน S.K. Foods Co., Ltd.) ซึ่งมีกระบวนการผลิตตามรูปที่ 1.3 สำหรับเกณฑ์การออกแบบเบื้องต้น ใช้เกณฑ์ที่ปริมาณน้ำเสีย 5 ลบ.ม/วัน และค่า BOD<sub>5</sub> ที่ 1000 mg/l ก่อน

โดยที่ทางกลุ่มวิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งของบริษัทศรีสุทริกุล จำกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการดำเนินการดัง แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลเบื้องต้นค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งของบริษัทศรีสุทริกุลจำกัด

| พารามิเตอร์     | หน่วย  | จุดตรวจวัด (8 สค.2545)               |
|-----------------|--------|--------------------------------------|
|                 |        | Combined Waste Water ในบ่อพักน้ำเสีย |
| 1. BOD          | (mg/l) | 893.75                               |
| 2. COD          | (mg/l) | 1144.90                              |
| 3. SS           | (mg/l) | 835.56                               |
| 4. pH           | -      | 7.22                                 |
| 5. TKN          | (mg/l) | 256.68                               |
| 6. Oil & Grease | (mg/l) | 2950.00                              |
| 7. Phosphorus   | (mg/l) | 17714.29                             |

ข้อมูลดังกล่าวนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่ยังไม่สมบูรณ์และยังอาจขาดความแม่นยำ จะใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นเพียงแนวทางเพื่อกำหนดขนาดและการคำนวณเพื่อการออกแบบเท่านั้น ในขั้นตอนของการทดลองจะต้องศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลนี้เพิ่มโดยละเอียดต่อไป



รูปที่ 1.3 แผนผังกระบวนการผลิตปลาแล่สดเพื่อการส่งออก  
ของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งของบริษัท ศรีสุทริกุลจำกัด

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

ระบบเอสปีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีวิธีที่แตกต่างไปจากระบบเดิมอากาศแบบอื่นๆ ที่ใช้กันเนื่องจากระบบเอสปีอาร์จะทำงานแบบเป็นกะ ส่วนการให้อากาศแบบอื่นจะเป็นการทำงานแบบต่อเนื่อง ระบบเอสปีอาร์นี้จะใช้ถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียวทำหน้าที่เป็นทั้งถังเดิมอากาศและถังตกตะกอน การควบคุมจึงเป็นไปได้ง่าย ในกรณีที่น้ำเสียจากโรงงานเป็นแบบต่อเนื่อง สามารถใช้ระบบเอสปีอาร์ที่ใช้ถังปฏิกรณ์หลายใบได้ โดยในเวลาใดเวลาหนึ่งถึงแต่ละใบจะทำหน้าที่ไม่ตรงกันเพื่อให้สามารถกำจัดน้ำเสียที่ไหลต่อเนื่องกันตลอดเวลาได้โดยไม่ขาดตอน

### 2.1 การทำงานของระบบเอสปีอาร์ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

(รูปที่ 1.1 ในบทที่ 1)

- 2.1.1 ขั้นตอนในการเติมน้ำเสียซึ่งภายในถังจะมีตะกอนจากระบบการทำงานก่อนหน้านี้อยู่จำนวนหนึ่งแล้ว การเติมน้ำเสียจะสิ้นสุดเมื่อปริมาณน้ำเสียเต็มถึงปฏิกรณ์หรือเมื่อถึงเวลาสูงสุดที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป
- 2.1.2 การกำจัดน้ำเสีย (REACT) ในขั้นตอนนี้จะมีการเติมอากาศ เวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับสารในน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ในกรณีที่ต้องการจะกำจัดเพียงสารอินทรีย์ จะใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามควรใช้เวลาในขั้นตอนนี้มากพอสมควรเพื่อให้มีประสิทธิภาพดี และเกิดกระบวนการ Nitrification ได้ดี เวลาสำหรับการรับน้ำเสียและเติมอากาศนี้คิดเป็น 60 % ของระยะเวลา 1 รอบการทำงาน
- 2.1.3 การตกตะกอน (SETTLE) ขั้นตอนนี้จะเป็นการแยกของเหลว – ของแข็งออกจากกัน โดยใช้เวลาระมาณ 20 % ของระยะเวลา 1 รอบการทำงาน
- 2.1.4 การระบายน้ำทิ้ง (DECANT) น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะถูกปล่อยออกจากถังปฏิกรณ์ลงสู่แหล่งรับน้ำ ใช้เวลาในช่วงนี้คิดเป็น 15 % ของ 1 รอบการทำงาน
- 2.1.5 ระยะเวลาพัก (IDLE) เป็นช่วงเวลาลงหลังจากขั้นตอน DECANT และก่อนขั้นตอน FILL ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นช่วงเวลาที่เพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัว โดยใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 5 % ของ 1 รอบการทำงานซึ่งระยะนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเติมอากาศและช่วงหยุดเติมอากาศช่วงละเท่าๆกัน

### 2.2 จุดเด่นของระบบเอสปีอาร์

ระบบเอสปีอาร์สามารถควบคุมปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ โดยในช่วงระยะพักตะกอนที่หยุดให้อากาศ (Anoxic phase) จะเกิดกระบวนการ Denitrification คือการใช้ออกซิเจนจากสารประกอบ Nitrate ได้เป็น  $N_2$  และในช่วงการเติมอากาศจะเกิดกระบวนการ Nitrification คือ การที่

จุลินทรีย์นำเอาออกซิเจนในอากาศมาเปลี่ยน สารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็น Nitrate และยังสามารถบำบัดสารประกอบฟอสฟอรัสได้ด้วยตามผังวัฏจักรของการดำเนินการในรูปที่ 1.2

อีกทั้งระบบเอสปีอาร์นี้ยังเป็นระบบเดียวที่แก้ปัญหาการจมไม่ลงของตะกอนจุลินทรีย์ (Bulking) เนื่องจากลักษณะการทำงานของระบบไม่เอื้อต่อการโตของ Filamentous bacteria ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการจมไม่ลงของตะกอน

## 2.3 อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ถ้าสภาวะแวดล้อมต่างๆในการเจริญเติบโตเป็นไปอย่างเหมาะสมแล้ว อัตราเร็วในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารเพียงอย่างเดียว ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตวัดได้จากจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นหรืออาจวัดจากน้ำหนักของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นก็ได้โดยจะแบ่งช่วงอัตราการเจริญเติบโตได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

- 2.3.2 Log Growth Phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตมากที่สุดเนื่องจากมีอาหารเหลือเพื่ออัตราการเจริญเติบโตในช่วงนี้จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยอาหารของจุลินทรีย์
- 2.3.3 Declining Growth Phase ปริมาณอาหารจะเริ่มน้อยลงเมื่อเทียบกับจำนวนจุลินทรีย์ ดังนั้นการเจริญเติบโตจะค่อยๆลดลง จุดสุดท้ายของช่วงนี้คือ จำนวนจุลินทรีย์สูงสุด
- 2.3.4 Endogenous Phase เป็นช่วงที่อาหารเริ่มขาดแคลน จำนวนจุลินทรีย์จะลดลงเรื่อยๆเนื่องจากมีการตายและย่อยสลายของเซลล์จุลินทรีย์

## 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับการทำลายสารอินทรีย์

โดยส่วนรวมแล้วการทำลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้นจุลินทรีย์จะนำพลังงานที่ได้ไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ขึ้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเติบโต} &= \text{อัตราการสร้างเซลล์} - \text{อัตราการตายของเซลล์} \\ dX/dt &= YdF/dt - k_d X \quad (2.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } dX/dt &= \text{อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์, น้ำหนัก/ปริมาตร-เวลา} \\ Y &= \text{สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์} \\ dF/dt &= \text{อัตราการใส่สารอาหารโดยจุลินทรีย์, น้ำหนัก/ปริมาตร-เวลา} \\ k_d &= \text{สัมประสิทธิ์การตายของจุลินทรีย์, เวลา}^{-1} \\ X &= \text{ความเข้มข้นของจุลินทรีย์, น้ำหนัก/ปริมาตร} \end{aligned}$$

และได้อัตราการใช้สารอาหารเป็น

$$dF/dt = kXS/(K_s+S) = dS/dt \quad (2.2)$$

โดย  $k$  = อัตราสูงสุดในการใช้สารอาหารต่อหน่วยน้ำหนักจุลินทรีย์, เวลา<sup>-1</sup> (หรือมักแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu_{max}$ )

$K_s$  = ค่าคงที่ของโมนอด (Monod constant) มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือ BOD ที่จุดซึ่งอัตราการใช้สารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุด

$S$  = ความเข้มข้นของ BOD ในน้ำทิ้ง, น้ำหนัก/ปริมาตร

เมื่อหารสมการ (1) ด้วย  $X$  ตลอดจะได้

$$(1/X) dX/dt = (Y/X) dF/dt - k_d \quad (2.3)$$

ในสมการ (2.3)  $(1/X) dX/dt$  คืออัตราการเติบโตเฉพาะของจุลินทรีย์เขียนแทนด้วย  $\mu$  เมื่อแทน  $\mu$  และ  $dF/dt$  จากสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.3) จะได้สมการ (2.4)

$$\mu = Y [kS/(K_s+S)] - k_d \quad (2.4)$$

แทน  $(\Delta F/\Delta t)/X$  ด้วย  $F/M$  = Food to microorganism ratio อัตราการกินอาหารของจุลินทรีย์ต่อหน่วยน้ำหนักของจุลินทรีย์

แทน  $X (\Delta t/\Delta x)$  ด้วย  $\theta_c$  หมายถึง SRT = mean cell resident time เวลาเฉลี่ยที่จุลินทรีย์ใช้ในการทำลายสารอินทรีย์ ดังนั้นเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$1/\theta_c = Y^*(F/M) - k_d \quad (2.5)$$

ในกรณีที่  $k_d = 0$  นั่นคือยังไม่มีตายของจุลินทรีย์

จะได้ว่า  $1/\theta_c = Y^*(F/M)$  (2.6)

หรือ  $F/M = 1/(\theta_c * Y)$  (2.7)

โดยที่  $Y = (X_{out} - X_{in}) / (S_{in} - S_{out})$  (2.8)

และเมื่อ  $X$  แทนค่าด้วย MLVSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

และ  $S$  แทนค่าด้วย BOD

$$Y = (MLVSS_{out} - MLVSS_{in}) / (BOD_{in} - BOD_{out}) \quad (2.9)$$

แต่ในทางปฏิบัติที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย จะให้ ค่า  $MLVSS_{in} = 0$  และ  $BOD_{out}$  ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเป็น 20 mg/l ดังนั้นในกรณีที่  $BOD_{in}$  มีค่ามากอาจไม่คิด  $BOD_{out}$

$$1/Y = BOD_{in} / MLVSS_{out} \quad (2.10)$$

หรือละ Subscript ไว้ในฐานที่เข้าใจ เป็น

$$1/Y = BOD / MLVSS \quad (2.11)$$

## 2.5 ระบบการเติมอากาศและการถ่ายเทอากาศ

ลักษณะการให้อากาศกับถังปฏิกรณ์ เลือกใช้เครื่องเป่าอากาศ (Air Blower) อัดอากาศผ่านไปตามท่ออากาศเข้าสู่เครื่องกระจายอากาศ (Diffuser) ทำให้อากาศกระจายเป็นฟองลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ออกซิเจนในฟองอากาศจะถ่ายเทเข้าสู่ น้ำเสีย เครื่องเติมอากาศลักษณะนี้โดยส่วนใหญ่จะให้ประสิทธิภาพสูงถ้าฟองอากาศมีขนาดเล็กและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำอย่างช้าๆ เครื่องเป่าอากาศนี้จะให้อากาศในปริมาณมาก โดยใช้ความดันต่ำซึ่งเท่ากับแรงกดดันของน้ำในถังเติมอากาศรวมกับแรงกดดันที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานในระบบท่ออากาศจากเครื่องเป่าอากาศจนถึงเครื่องกระจายอากาศ

### 2.5.1 การออกแบบระบบเติมอากาศแบบฟองอากาศ

ในการออกแบบระบบเติมอากาศแบบฟองต้องคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้ จำนวนเครื่องเติมอากาศ กำลังแรงม้าเครื่องเติมอากาศและระบบท่อระบายอากาศจากเครื่องเติมอากาศมายังเครื่องกระจายอากาศ

ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ คำนวณได้จากสมการ

$$Q_{ao} = Q_x / (0.0175E * \alpha) \quad (2.12)$$

|       |          |   |                                                                               |
|-------|----------|---|-------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $Q_x$    | = | ปริมาณ (มวล) ออกซิเจนที่ต้องการ, ปอนด์/นาที่                                  |
|       | $Q_{ao}$ | = | ปริมาณอากาศที่ต้องการที่สภาวะมาตรฐาน, ลูกบาศก์ฟุต/นาที่                       |
|       | $E$      | = | ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปสู่ น้ำสะอาดที่สภาวะมาตรฐานประมาณ 5% |

$$\alpha = \frac{\text{อัตราการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำเสียต่ออัตราการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาด}}$$

ปริมาณอากาศที่ต้องการที่สภาวะใช้งาน  $Q_{af}$  จะคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{af} = \frac{Q_{ao}}{(C_{sa} * \beta - C_r) / C_{20}} \quad (2.13)$$

|       |          |   |                                                                                   |
|-------|----------|---|-----------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $C_{sa}$ | = | ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนที่อุณหภูมิใดๆ                                       |
|       | $C_{20}$ | = | ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำสะอาดที่ 20 องศาเซลเซียสและความกดดัน 1 บรรยากาศ |
|       | $C_r$    | = | ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำเสีย                                                   |
|       | $\beta$  | = | ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำเสียต่อความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำสะอาด  |

ความดันของอากาศที่ต้องการมีค่าเท่ากับแรงกดดันของน้ำในถังเดิมอากาศรวมถึงความกดดันที่เสียไปในเส้นท่อและในตัวเครื่องกระจายอากาศ ซึ่งสองอย่างแรกสามารถคำนวณได้โดยใช้หลักทางชลศาสตร์ ส่วนความดันในตัวเครื่องกระจายอากาศผู้ผลิตจะกำหนดมาให้ ในการเลือกขนาดท่อระบายอากาศควรเลือกให้มีความเร็วในการไหลของอากาศประมาณ 15 ฟุต/วินาที

กำลังแรงม้าของเครื่องเป่าอากาศจะคำนวณได้จากสมการ (เอกสารอ้างอิง [10])

$$B_{hp} = \frac{WRT_1[(P_2/P_1)^n - 1]}{550ne} \quad (2.14)$$

|       |            |   |                                                                                    |
|-------|------------|---|------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | bhp        | = | กำลังแรงม้าที่ต้องการ (Adiabatic brake horse power)                                |
|       | W          | = | ปริมาณอากาศ, ปอนด์/วินาที                                                          |
|       | R          | = | gas constant (53.5)                                                                |
|       | T1         | = | อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่เข้าเครื่องเดิมอากาศ, °R                                |
|       | $P_1, P_2$ | = | ความดันสัมบูรณ์ของอากาศที่เข้าและที่ออกจากเครื่องเดิมอากาศ, ปอนด์/ตารางนิ้ว (Psia) |
|       | n          | = | $(k-1)/k = 0.283$ สำหรับอากาศ                                                      |
|       | k          | = | 1.395 สำหรับอากาศ                                                                  |
|       | e          | = | ประสิทธิภาพของเครื่องเดิมอากาศ (70-80 %)                                           |

## 2.6 การออกแบบระบบเอสปีอาร์

### 2.6.1 ระบบเติมอากาศ

สำหรับระบบที่มีน้ำเสียไหลด้วยอัตราการไหล  $F_{inf}$  มี  $BOD_5$  ขาเข้าเอสปีอาร์เป็น  $BOD_{in,r}$  และต้องการบำบัดจนสามารถทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้คือให้มี  $BOD_5$  ขาออกจากเอสปีอาร์เป็น 20 mg/l โดยกำหนดให้ถังปฏิกรณ์ทำงานกะละ 12 ชั่วโมง

#### 2.6.1.1 คำนวณ BOD loading

$$BOD \text{ loading} = BOD_{in} * F_{inf} \quad (2.15)$$

$F_{inf}$  = Volumetric flow rate of influent

#### 2.6.1.2 คำนวณความต้องการออกซิเจน (AOR , Actual oxygen requirement)

$$AOR = (BOD_{in,r} - 20) * 1.5 \quad (2.16)$$

#### 2.6.1.3 คำนวณ SOR ( Standard oxygen requirement) จากสมการ (2.17)

$$AOR/SOR = \alpha(1.024)^{T-20} \{ \beta C_s - C \} / C_{se} \quad (2.17)$$

โดยที่

$$\alpha = \frac{\text{อัตราการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำทิ้ง}}{\text{อัตราการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาด}}$$

$$\beta = \frac{\text{ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำทิ้ง}}{\text{ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำทิ้ง}}$$

$$T = \text{อุณหภูมิที่ทำการบำบัด (}^{\circ}\text{C)}$$

$$C_{20} = \text{ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำสะอาดที่ } 20^{\circ}\text{C } 1 \text{ atm}$$

$$C_s = \text{ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำทิ้งที่ } T^{\circ}\text{C } 1 \text{ atm (mg/l)}$$

|        |                              |                                 |
|--------|------------------------------|---------------------------------|
| โดยที่ | $\alpha = 0.8$               | $\beta = 0.9$                   |
|        | $T = 30^{\circ}\text{C}$     | $C = 2.0 \text{ มก./ลิตร}$      |
|        | $C_s = 7.7 \text{ มก./ลิตร}$ | $C_{se} = 9.1 \text{ มก./ลิตร}$ |

### 2.6.2 การคำนวณขนาดของถังเติมอากาศแบบเอสปีอาร์

$$F/M = BOD \text{ input} / (\theta_c \times MLVSS) \quad (2.18)$$

$$\text{แทน } \theta_c \text{ ด้วย } V_r / F_{inf} \quad (2.19)$$

$$\text{ดังนั้น } F/M = BOD \text{ input} / [ (V_r / F_{inf}) \times MLVSS ] \quad (2.20)$$

|               |                                                                                                                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ $F/M =$ | น้ำหนักของ BOD input/น้ำหนักของ MLVSS , หน่วยเวลา <sup>-1</sup>                                                                                          |
| $\theta_c$    | = เวลาที่น้ำทิ้งอยู่ในถังปฏิกรณ์เรียกว่า hydraulic retention time หรือ HRT<br>(หมายเหตุ: พิจารณาน้ำหนัก ชม. หรือ วัน ให้เหมาะสมกับบริบทของหน่วยอื่นด้วย) |
| $V_r$         | = ปริมาตรน้ำในถังปฏิกรณ์, ม <sup>3</sup>                                                                                                                 |
| $F_{Inf}$     | = อัตราการไหลโดยปริมาตรของน้ำเสีย, ม <sup>3</sup> /วัน<br>(Influent volumetric flow rate)                                                                |

### 2.6.3 การคำนวณขนาดของถังย่อยตะกอน

$$\text{ปริมาณตะกอน(กรัม/วัน)} = \text{yield (BOD}_{in} - \text{BOD}_{out}) \times F_{Inf} \quad (2.21)$$

$$\text{ปริมาตรของถังย่อยตะกอน (ม}^3\text{)} = \text{ปริมาณตะกอน (กรัม/วัน)} \times (1000 / 10000) \times \text{HRT (วัน)} \quad (2.22)$$

(กำหนดให้ Wasted sludge concentration = 10,000 mg/L)

รายละเอียดของการออกแบบและการดำเนินการต่างๆ นำเสนอในบทต่อไป

### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบเอสบีอาร์

การออกแบบระบบเอสบีอาร์ สำหรับโครงการนี้ ได้ใช้ข้อมูลและประสบการณ์พื้นฐานของนักวิจัยที่ได้จากกรณีศึกษาที่คล้ายกัน [3] เป็นจุดเริ่ม แล้วจึงดำเนินการกำหนดข้อมูลและพารามิเตอร์เพื่อการออกแบบ ตามค่าที่มักใช้กันทั่วไปในทางปฏิบัติอันเป็นประสบการณ์และกรณีศึกษาต่างๆที่มีข้ออ้างอิงได้ ดังต่อไปนี้

#### 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบ

น้ำเสียเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตพลาสติกแล้วแช่แข็ง

กำหนดให้ระบบบำบัดอัตราการไหลของน้ำเสียได้ 5 ม<sup>3</sup>/วัน

โดยมีค่า  $BOD_{input}$  1,000 มก./ลิตร

และสามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามมาตรฐานน้ำทิ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยเอาค่า BOD ( $BOD_5$ ) เป็นหลัก

$BOD_{output}$  จาก SBR 20 มก./ลิตร

#### 3.2 พารามิเตอร์ที่เลือกในการออกแบบ (แนวคิดจากเอกสารอ้างอิง [3] และ[10])

##### 3.2.1 พารามิเตอร์ทางชีวภาพ (Biological Parameters)

F/M = 0.2

MLVSS = 4,000 มก./ลิตร

##### 3.2.2 พารามิเตอร์ของการดำเนินการระบบเอสบีอาร์ (SBR Operation Parameters)

(โดยที่ช่วงต่างๆของ Cycle ในการทดลองจริงอาจปรับเปลี่ยนให้ต่างไปจากที่ Pre-designed ได้) (เอกสารอ้างอิง [3], [10])

Cycle = 2 cycle/วัน

โดยมีระยะ (Phase) ต่างๆดังนี้

- |                                                      |     |     |
|------------------------------------------------------|-----|-----|
| (1) ให้ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) พร้อมเติมอากาศ เป็น    | 1   | ชม. |
| (2) ให้ช่วงเติมอากาศ (Aeration) เป็น                 | 9.5 | ชม. |
| (3) ให้ช่วงหยุดเติมอากาศเพื่อตกตะกอน (Settling) เป็น | 1.0 | ชม. |
| (4) ให้ช่วงปล่อยน้ำเสียออก (Decanting) เป็น          | 0.5 | ชม. |

รวมจำนวน ชม.ต่อ 1 cycle เป็น 12 ชม.

ระยะเวลาของการเติมอากาศต่อ 1 วัน เป็น 21 ชม.

### 3.3 แผนผังกระบวนการทำงานของระบบเอสบีอาร์

กระบวนการทำงานของระบบเอสบีอาร์เป็นไปตามรูปที่ 1.1

### 3.4 การคำนวณ

#### 3.4.1 การคำนวณการใช้อากาศและการกำหนดขนาดเครื่องเติมอากาศ

$$\begin{aligned} \text{ภาระบรรทุก บีโอดี (BOD Loading) สำหรับ SBR} &= \frac{(1,000 \times 5)}{1,000} = 5 \quad \text{มก./วัน} \\ \text{ความต้องการออกซิเจนต่อวัน} &= \frac{(1,000 - 20) \times 1.5 \times 5}{1,000} = 7.35 \quad \text{กก./วัน} \\ \text{ความต้องการออกซิเจนต่อชั่วโมง} &= \frac{(7.35)}{21} = 0.35 \quad \text{กก./ชม.} \\ \text{AOR; Actual oxygen requirement} &= 0.35 \quad \text{กก./ชม.} \end{aligned}$$

$$\text{AOR/SOR} = \alpha(1.024)^{T-20} \{\beta C_s - C\} / C_{se} \quad (2.17)$$

โดยที่ SOR = Standard Oxygen Requirement (1 atm, 20 °C)

$$\alpha = 0.8$$

$$\beta = 0.9$$

$$T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C = 2.0 \text{ มก./ลิตร}$$

$$C_s = 7.7 \text{ มก./ลิตร}$$

$$C_{se} = 9.1 \text{ มก./ลิตร}$$

$$\text{ดังนั้น } 0.35 / \text{SOR} = 0.8 (1.024)^{30-20} \{0.9 \times 7.7 - 2.0\} / 9.1$$

$$0.35 / \text{SOR} = 0.549$$

$$\text{SOR} = 0.638 \text{ กก./ชม.}$$

$$\text{ใช้ Safety Factor} = 1.25$$

$$\text{ดังนั้น SOR as designed} = 0.638 \times 1.25 = 0.798 \quad \text{กก./ชม.}$$

การเลือกเครื่องเติมอากาศ :

เลือก Air blower / diffuser

$$\text{ให้ air density at standard condition (1 atm , 20 }^{\circ}\text{C)} = 1.20 \quad \text{กก./ม}^3$$

องค์ประกอบของออกซิเจนในอากาศคิดเป็น 21% โดยปริมาตร หรือ 23.32% / โดยน้ำหนัก

ให้ออกซิเจน ที่ถ่ายผ่านเข้าไปในน้ำได้เป็น 10 % โดยปริมาตร

ดังนั้น SCFM ของอากาศที่ต้องการเป็น (SCFM = Standard Cubic Feet Per Minute)

$$\begin{aligned} &\frac{0.798 \text{ กก./ชม.} \times 35.31 \text{ ฟุต}^3/\text{ม.}^3 \times 100}{1.2 \text{ กก. อากาศ/ม.}^3 \times 0.2332 \times 60 \text{ นาที/ชม.} \times 10} \\ &= 16.78 \text{ SCFM ของอากาศ} \end{aligned}$$

ใช้ เครื่องเติมอากาศแบบ Blower 17-20 SCFM ความดันไม่ต่ำกว่า 5 เมตรน้ำ

### 3.4.2 การคำนวณขนาดของถัง SBR

$$\begin{aligned}
 \text{ให้ } F/M &= 0.2 \\
 \text{MLVSS} &= 4,000 \text{ มก./ลิตร} \\
 F/M &= \text{BOD input}/(\theta_c \times \text{MLVSS}) \\
 0.2 &= 1,000/(V_r/5) \times 4,000 \\
 V_r &= 6.25 \text{ ม}^3 \\
 \theta_c, \text{HRT} &= 6.25/5 = 1.25 \text{ วัน}
 \end{aligned}$$

### 3.4.2 ถังย่อยตะกอน

$$\begin{aligned}
 &\text{ปริมาณตะกอน MLVSS ที่เกิดขึ้นต่อวัน} \\
 \text{ให้ } &\text{yield} = 0.3 \\
 \text{ปริมาณตะกอน} &= 0.3 (\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{out}}) \times \text{Flow} \\
 &= 0.3 (1,000 - 20) 5/1,000 \text{ กก./วัน} \\
 &= 1.47 \text{ กก./วัน} \\
 &\text{ให้ตะกอนมีค่า MLVSS} = 10,000 \text{ มก./ลิตร} \\
 \text{ต้องกำจัดตะกอน} &= 1.47 \times 1000 / 10000 = 0.147 \text{ ม}^3/\text{วัน} \\
 &\text{ถังย่อยสลายตะกอนแบบไร้อากาศ} \\
 \text{ใช้ HRT} &= 20 \text{ วัน} \\
 \text{ปริมาตรของถังย่อยสลายตะกอน} &= 0.147 \times 20 \text{ ม}^3 = 2.94 \text{ ม}^3
 \end{aligned}$$

### 3.4.3 ถังพักน้ำใส

เนื่องจาก SBR ดำเนินการเป็น 2 cycles  
จึงให้ถังพักน้ำใสที่ออกจาก SBR เป็น 2.5 ลบม.

### 3.4.4 การคำนวณหาขนาดของ Decanter

ออกแบบให้มีท่อน 3 ท่อนลอยน้ำและมีส่วนถังรับน้ำอยู่ตรงกลาง  
สมมติให้ ถังรับน้ำเป็นรูป  $\Delta$  ด้านเท่า ยาวด้านละ 37 ซม.  
ความยาวของฝายน้ำล้นรอบถัง  $= 0.37 \times 3 = 1.11 \text{ m}$   
ใช้  $90^\circ$  รูปตัว V รอบถัง  
ใช้รูปตัว V ขนาดลึกถึงปลายแหลม  $= 0.04 \text{ m}$  โดยเพื่อระยะเหนือผิวน้ำ  $0.01 \text{ m}$   
ระยะห่างระหว่างปลายแหลม  $= 0.01 \text{ m}$   
จำนวนของตัว V รอบ  $1.11/0.01 = 12$   
จากสมการ Q ต่อตัว V หนึ่งชุด  $= (8/15) * C_d \sqrt{2g \tan(\frac{\theta}{2}) H}^{5/2}$   
เมื่อ Q = อัตราไหลของน้ำล้นต่อตัว V หนึ่งชุด, ลบ.ม./วินาที

$$\begin{aligned}
 C_d &= \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล} = 0.584 \\
 H &= \text{ค่าระดับน้ำเหนือปลายแหลมตัว V ,ม.} \\
 \theta &= \text{มุมของรูปตัว V} = 90^\circ \\
 Q &= (8/15) * 0.584 \sqrt{2(9.81) \tan\left(\frac{90}{2}\right)} (0.03)^{5/2} \\
 Q &= 2.15 * 10^{-4} \text{ ลบ.ม./วินาที/ V หนึ่งชุด} \\
 Q_{\text{รวม}} &= 2.15 * 10^{-4} \text{ ลบ.ม./วินาที/ V หนึ่งชุด} * 12 \\
 Q_{\text{รวม}} &= 2.58 * 10^{-3} \text{ ลบ.ม./วินาที}
 \end{aligned}$$

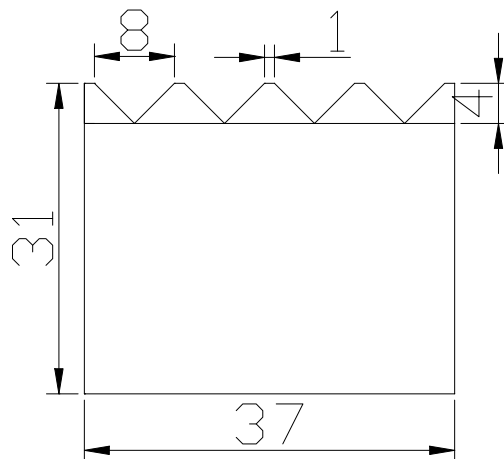
สมมุติปริมาณน้ำที่ Drain ออก เท่ากับ 2.5 ลบ.ม./cycle

เพราะฉะนั้น เวลาที่ใช้ในการ Drain เท่ากับ  $2.5/2.58 * 10^{-3}$  เท่ากับ 969 วินาที หรือเท่ากับ 16.15 นาที

กำหนดให้ decanter ใช้สแตนเลสในการก่อสร้าง

สแตนเลสที่วางขายตามท้องตลาดมีขนาด 4\*8 ฝ น้ำหนักประมาณ 47 kg

เพราะฉะนั้นสแตนเลสต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะมีน้ำหนักประมาณ 15.81 kg



รูปที่ 3.1 รูปด้านข้างของ Decanter (เฉพาะส่วนสูงตรง) (หน่วย cm.)

จากรูปที่ 3.1 หาพื้นที่ผิวของ decanter ได้ดังนี้ :

ส่วนบนเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 3 แผ่นประกบกัน

พื้นที่ผิวรวมเท่ากับ  $0.37 * 0.31 * 3$  เท่ากับ 0.35 ตารางเมตร

ส่วนล่างเป็นแผ่นสามเหลี่ยม 3 แผ่นประกบกัน

พื้นที่ผิวรวมเท่ากับ  $0.5 * 0.18 * 0.37 * 3$  เท่ากับ 0.10 ตารางเมตร

เพราะฉะนั้นน้ำหนักรวม =  $0.45 * 15.81 = 7.11 \text{ kg}$

กำหนดให้ ท่อนทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm. และสูง 30 cm. มีความโค้งด้านหัวและท้ายรัศมี 10 cm. หาพื้นที่ผิวของ ท่อน ได้ว่า

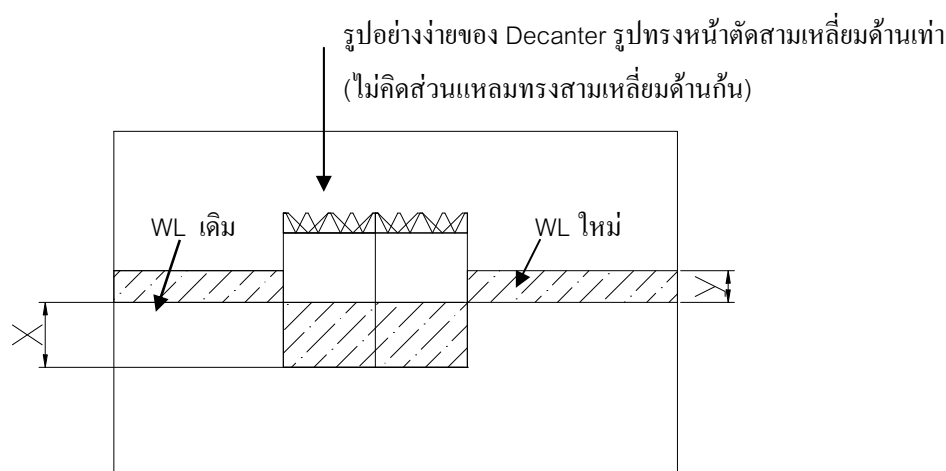
$$\text{พื้นที่} = (2 * \pi * 0.1 * 0.3) + 4\pi * 0.1^2 = 0.31 \text{ m}^2$$

$$\text{เพราะฉะนั้นน้ำหนักรวม} = 0.31 * 15.81 * 3 = 14.91 \text{ kg}$$

$$\text{ดังนั้นน้ำหนักรวมของท่อนเปล่ารวมกับ decanter} = 22.02 \text{ kg}$$

### 3.4.5 การคำนวณหาระยะจมน้ำของ Decanter และท่อนขณะอยู่ในถัง SBR (X-sect. 2m x 2m)

การคำนวณในส่วนนี้ เพื่อตรวจสอบการออกแบบขนาดของท่อนในการรับน้ำหนักและ ระยะการจมน้ำของชุด decanter



รูปที่ 3.2 รูปอย่างง่ายแสดงระยะการจมน้ำเมื่อถ่วงน้ำหนักด้วยน้ำในท่อนลอย (ไม่ได้แสดงท่อนลอยในรูป)

กำหนดให้

X = ระยะที่ decanter จมลงได้ผิวของของเหลวเดิม

Y = ระยะที่ของเหลวเพิ่มขึ้นจากระดับผิวของของเหลวเดิม

(\*หมายเหตุ: การคำนวณในส่วนนี้เป็นการคำนวณตรวจสอบการออกแบบโดยประมาณ จึงคำนวณอย่างง่ายไม่คิดปริมาตรในส่วนปริมาตรสามเหลี่ยมของกัน decanter)

#### (1) ดุลย์ปริมาตร

ปริมาตรที่ถูกแทนที่ด้วยท่อนรวมกับ decanter = ปริมาตรน้ำในถัง SBR ที่สูงขึ้น

$$\left( \frac{\sqrt{3}}{4} * 0.37^2 X \right) + \left( \pi * 0.1^2 X \right) * 3 = \left\{ (2 * 2) - \frac{\sqrt{3}}{4} * 0.37^2 - 3 * (\pi * 0.1^2) \right\} Y$$

$$X = 24.98 Y$$

## (2) ดุลย์แรง

### (2.1) เมื่อยังไม่เติมน้ำลงในถังทูลอยเพื่อถ่วงน้ำหนัก

แรงลอยตัวเท่ากับน้ำหนักของ decanter รวมกับท่อน เท่ากับน้ำหนักของเหลวที่ถูกแทนที่

$$\begin{aligned} \text{แรงลอยตัว} &= 22.02 * 9.81 \text{ N} \\ 22.02 * 9.81 &= 9.81 * 10^3 * \left\{ \frac{\sqrt{3}}{4} * 0.37^2 (X+Y) + 3 * \pi * 0.1^2 * (X+Y) \right\} \\ X+Y &= 0.13 \\ Y &= 0.01 \text{ m ( 10.0 cm)} \\ X &= 0.12 \text{ m (12.0 cm)} \end{aligned}$$

### (2.2) เมื่อเติมน้ำเต็มท่อน

แรงลอยตัวเท่ากับน้ำหนักของ decanter รวมกับท่อน รวมกับของเหลวที่บรรจุในท่อน

$$\begin{aligned} \text{แรงลอยตัวเท่ากับ} &= 22.02 * 9.81 + 9.81 * 10^3 * (\pi * 0.1^2 * 0.3 * 3) \text{ N} \\ 22.02 * 9.81 + 9.81 * 10^3 * (\pi * 0.1^2 * 0.3 * 3) &= 9.81 * 10^3 * \left\{ \frac{\sqrt{3}}{4} * 0.37^2 (X+Y) + 3 * \pi * 0.1^2 * (X+Y) \right\} \\ X+Y &= 0.35 \\ Y &= 0.01 \text{ m ( 1.0 cm)} \\ X &= 0.25 \text{ m ( 25.0 cm )} \end{aligned}$$

ดังนั้นความสูงของขนาดของท่อน มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการดำเนินการของโครงการ และสามารถปรับระดับแขนของท่อนให้เหมาะสมเพื่อการ Decant อย่างมีประสิทธิภาพได้



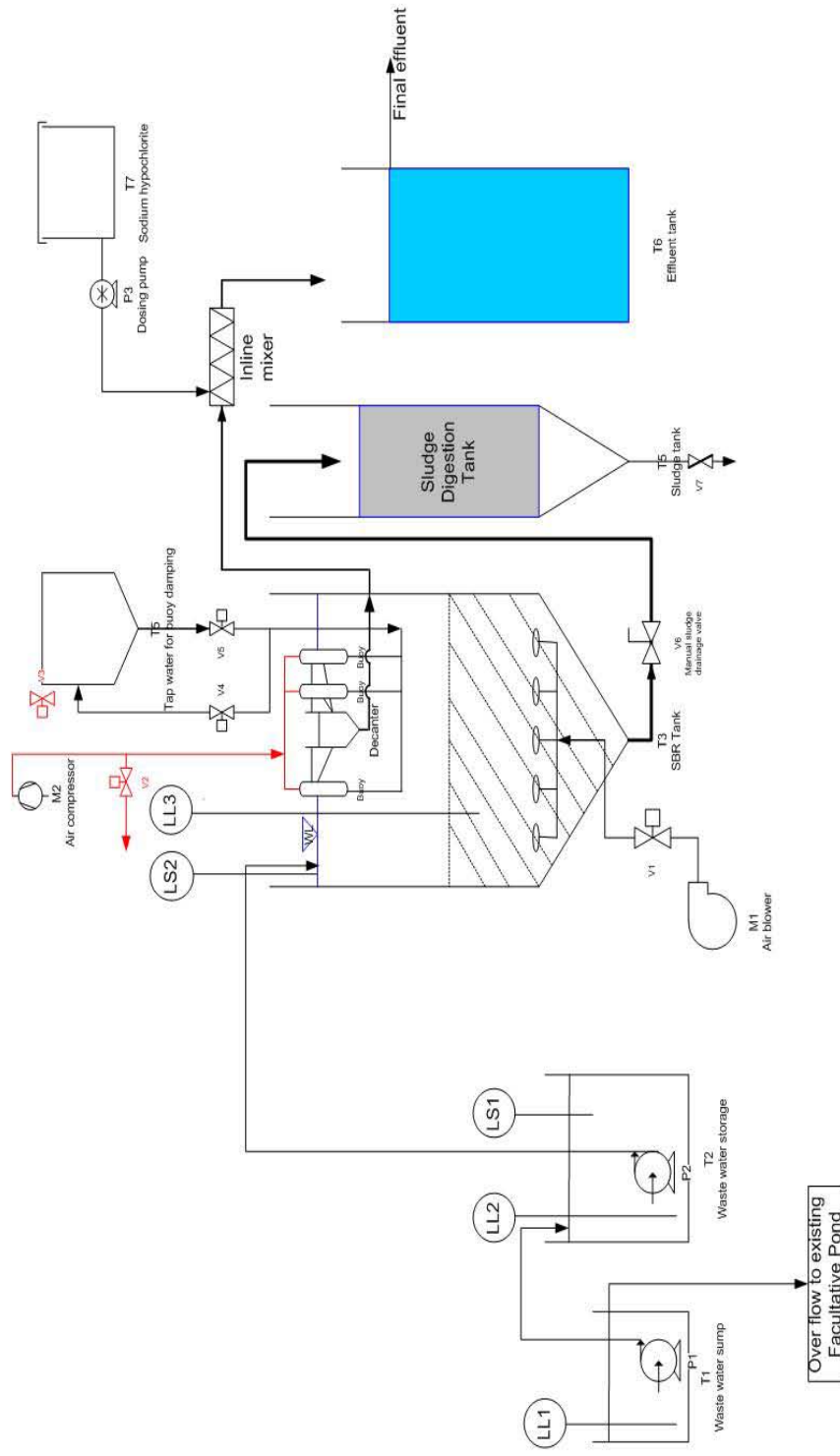
รูปที่ 3.3 Decanter พร้อมท่อนลอย

### 3.5 หลักการการดำเนินการของระบบควบคุม (Conceptual design of the control system)

การควบคุมการทำงานของระบบเอสปีอาร์ ซึ่งมีแผนผังกระบวนการ (Process Flow Diagram) ตามรูปที่ 3.4 โดยใช้ Programmable Logical Controlled (PLC) มีหลักการดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

- (1) น้ำเสียจากโรงงานจะไหลเข้ายังถังรับน้ำเสีย T1 (ขนาดความจุประมาณ 500 ลิตร) น้ำเสียส่วนเกินจะไหลล้นไปยังบ่อรับน้ำเสียที่มีอยู่เดิมของโรงงาน
- (2) บั้ม P1 จะสูบน้ำเสียจาก T1 ไปพักในถังพักน้ำเสีย T2 ขนาดประมาณ 2000 ลิตรเพื่อเก็บน้ำเสียไว้ให้เพียงพอที่จะส่งต่อไปยังระบบ SBR ต่อไป จำเป็นต้องมียัง T2 เพื่อรับน้ำเสียให้มีปริมาณเพียงพอต่อ 1 cycle ของ SBR การสูบน้ำของบั้ม P1 จะควบคุมด้วยสวิทช์ ระดับ (Level Switch) LL1 และ LS1
- (3) วงจรการทำงานของระบบ SBR ในข้อ (1) และข้อ (2) เป็นการรองรับน้ำเพื่อเก็บไว้บำบัดในระบบ SBR ในส่วนต่อไปนี้เป็นขั้นตอนของระบบ SBR
- (4) การป้อน (Feed) น้ำเสียจากถังพัก T2 จะถูกสูบส่งต่อไปยังระบบ SBR โดยบั้ม P2 ซึ่งจะเริ่มทำงานด้วยการกำหนดเวลา โดย PLC และหยุดการทำงานด้วยระดับ LS2
- (5) การเติมอากาศ (Aeration) เมื่อน้ำเสียเข้าถึง T3 จนได้ระดับความสูงที่ต้องการแล้ว (ควบคุมด้วย LS2) ก็จะเปิดวาล์ว V1 ให้เติมอากาศในถัง T3 การเติมอากาศอาจเติมก่อนบั้ม P2 หยุดก็ได้ (แล้วแต่การตั้งโปรแกรม ประมาณ 9.5 ชม.) ในขณะที่เติมอากาศ Decanter จะลอยอยู่สูงให้ weir ของ decanter อยู่พ้นระดับน้ำ ขั้นตอนน้ำทำได้โดยปิด solenoid valve V2 ปิด solenoid valve V5 เปิด solenoid valve V3 และ solenoid valve V4 เพื่อให้อากาศจากเครื่องอัดอากาศ M2 เข้าท่อนลอยและดันน้ำสำหรับถ่วงท่อนลอยกลับเข้าถึงพักน้ำ T4
- (6) การตกตะกอนจุลินทรีย์ (Settling) เมื่อเติมอากาศครบเวลาที่ออกแบบไว้ วาล์ว V1 จะปิด และหยุดให้น้ำเสียในถังอยู่ในสภาวะนิ่งตกตะกอนตามเวลาที่กำหนด (ประมาณ 1 ชม.)

- (7) การปล่อยน้ำใสที่บำบัดแล้วออกจากระบบถังเติมอากาศ (Decanting) ในขั้นตอนนี้ solenoid valve V3 และ V4 จะปิด และเปิด solenoid valve V2 และ V5 เพื่อให้ น้ำจากถังเก็บน้ำ T4 ไหลกลับเข้าสู่ท่อนของ decanter และใส่อากาศออกจากท่อน ท่อนจะจมลงจนได้ระดับเพื่อให้ น้ำใสไหลผ่าน weir และไหลล้นออกไปยังถังพักน้ำใสก่อนถึง T6 โดยจะผ่านการเติม คลอรีน โดย P3 ก่อน
- (8) เมื่อน้ำทิ้งไหลผ่าน decanter จนได้ระดับน้ำในถัง T3 ตามที่ต้องการแล้ว วาล์ว V2 และ วาล์ว V5 จะปิด และเปิดวาล์ว V3 และ V4 เพื่อเติมลมเข้าในท่อนของ decanter ยกกระดาน decanter ให้ weir พ้นน้ำ เป็นการจบสิ้นขั้นตอนการปล่อยน้ำใสที่บำบัดแล้วออกจากถัง T3
- (9) วงจรการทำงานจะทำซ้ำ (1) – (5) ต่อไป
- (10) การปล่อยตะกอนออก จะทำโดย manual operation โดยการทดสอบค่า MLVSS ของจุลินทรีย์ในถัง SBR และปล่อยออกด้วยวาล์ว V6 ไปเก็บในถัง T5



รูปที่ 3.4 แผนผังกระบวนการของระบบเอสบีอาร์ในโครงการ (SBR Process Flow Diagram)

### 3.5 ระบบควบคุมแบบ Programmable Logical Controller (PLC)

การควบคุมระบบโดยใช้ Programmable Logical Controller (PLC) ทำการควบคุม การทำงานของ SBR โดยมีโปรแกรมควบคุมและวงจรแสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 (PLC Ladder Diagram)

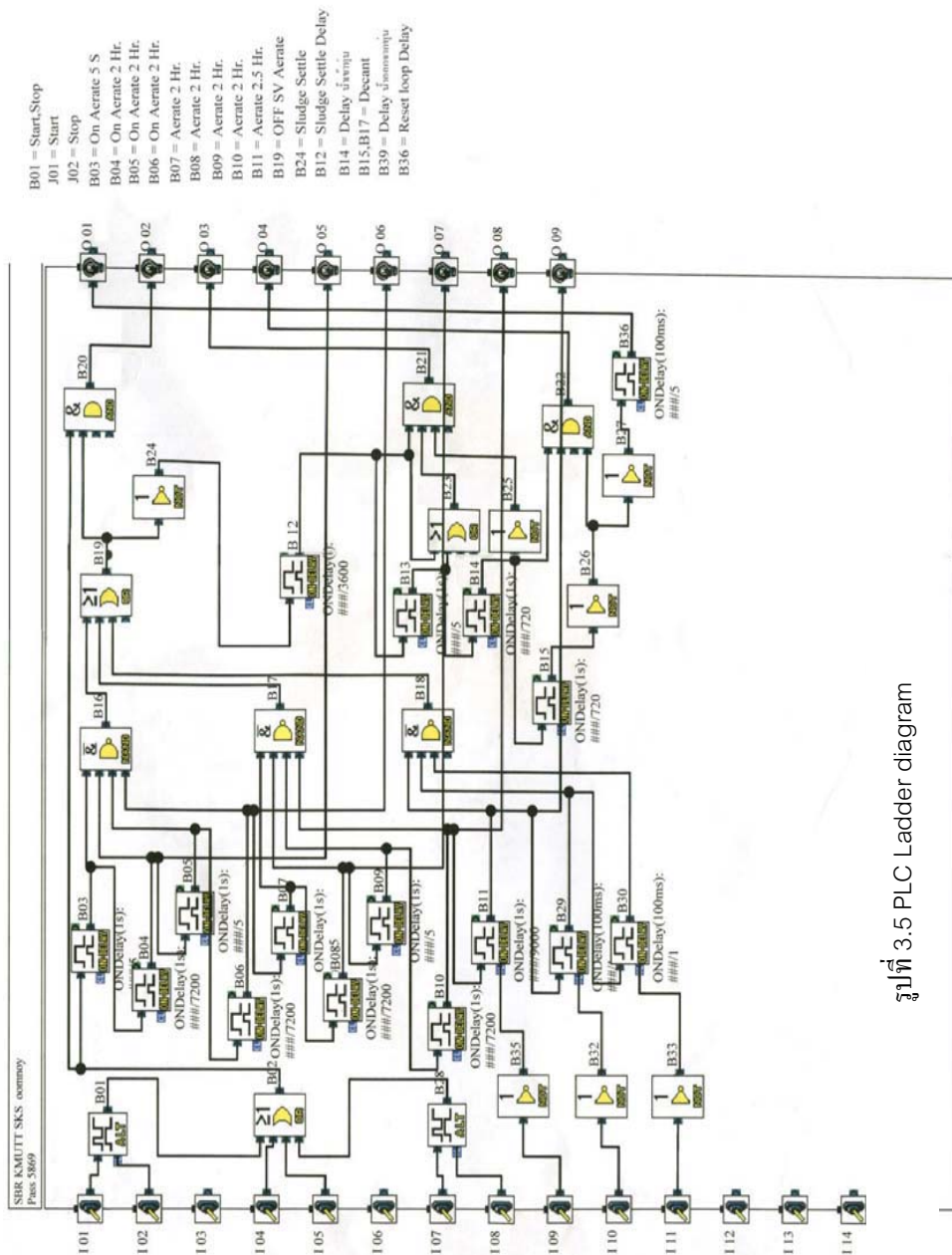
การเขียนโปรแกรมในการควบคุมระบบเขียนโดยใช้ Software เฉพาะของ PLC และทำการบันทึกข้อมูลจาก computer ไปยัง PLC โดยผ่านสายเชื่อมต่อสัญญาณ (Lab Link) เชื่อมสัญญาณระหว่าง PLC และเครื่องคอมพิวเตอร์

การทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูป โดยเริ่มจาก Sensor ( I01 ) รับสัญญาณระดับน้ำภายในถัง SBR แล้วจะไปสั่ง Solenoid valve (O02) ให้เปิดสวิทช์ Air Blower เริ่มทำงาน จากนั้นให้ Timer (B03 – B11, B29-30) ทำการหน่วงเวลา 10.5 ชั่วโมง พอครบเวลา 10.5 ชั่วโมง จะสั่ง O02 ให้หยุดทำงาน แล้ว Timer (B12) จะทำการหน่วงเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อทำการตกตะกอน แล้วจึงสั่ง Gate (B21) ทำงานเพื่อส่งน้ำเข้าสู่ถัง โดยจะสั่ง Solenoid Valve (O03) เปิดให้น้ำไหลเข้าถัง จากนั้น Timer (B14) จะหน่วงเวลา 12 นาที (เปิด Solenoid Valve 12 นาที) ในขณะนั้นน้ำก็จะไหลผ่าน weir ผ่านทางสาย Flex ออกสู่ถังเก็บน้ำใส จากนั้น Timer(B14) จะสั่งปิด Solenoid Valve (O03) แล้ว Timer (B15) จะสั่ง Solenoid Valve (O04) เปิดเพื่อเอาอากาศเข้าไปไล่น้ำในถังออกเพื่อให้ถังลอยขึ้นโดยที่ Timer B15 จะหน่วงเวลาไปอีก 12 นาที จึงจะสั่งปิด Solenoid Valve(O04) แล้ว Timer B36 จะหน่วงเวลา 0.5 วินาที ส่งสัญญาณไปที่ O01 เพื่อกลับไป reset ที่ I02 เพื่อรอระดับน้ำภายในถัง SBR ได้ระดับอีกครั้งหนึ่งเพื่อทำงาน Loop ใหม่อีกครั้ง

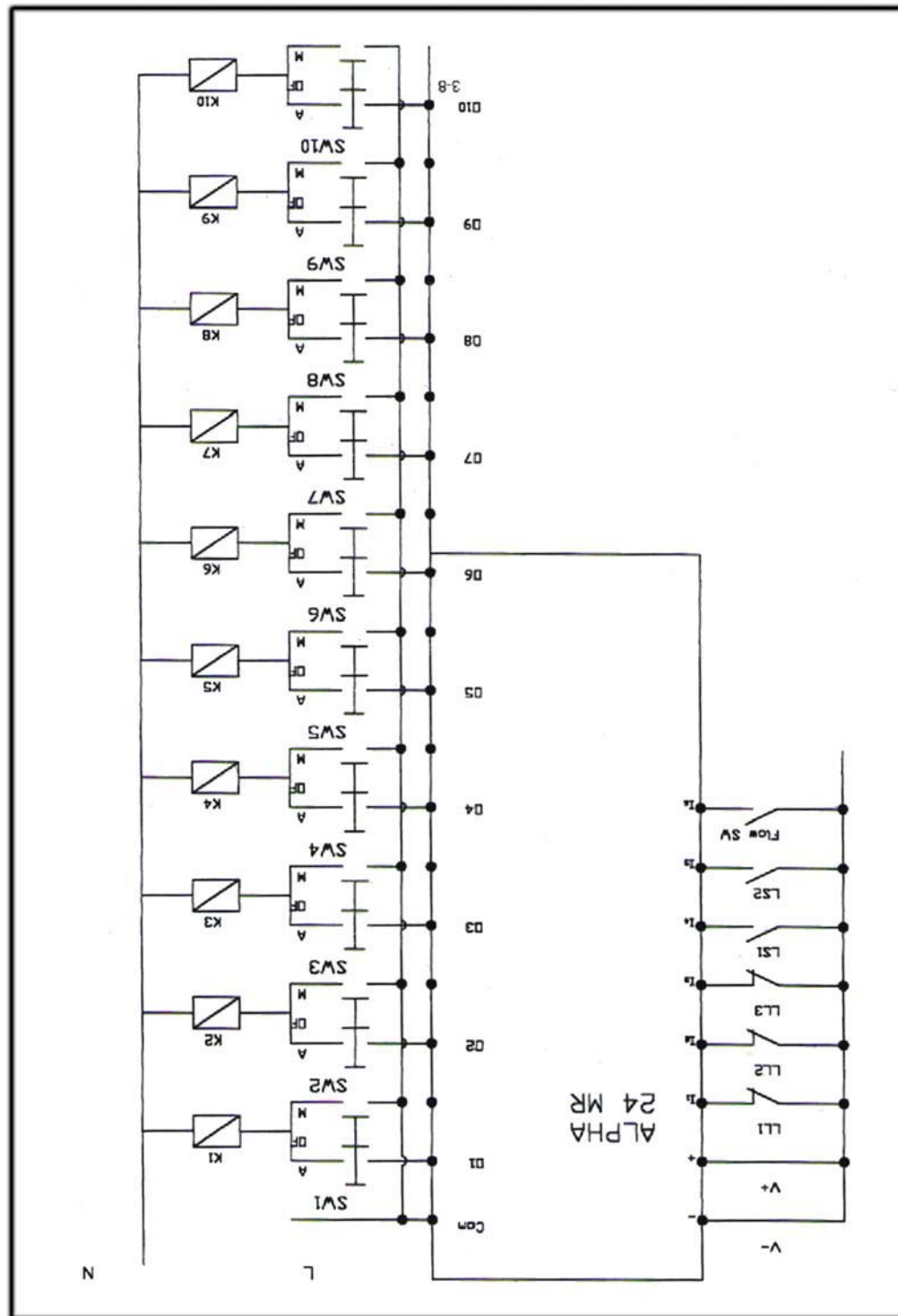
หมายเหตุ O05, O06, O07, O08, O09จะถูกสั่งให้บอกเวลาที่ขณะนั้น ดำเนินการเติมอากาศ ไปแล้วก็ชั่วโมง

### 3.6 ระบบวงจรไฟฟ้า

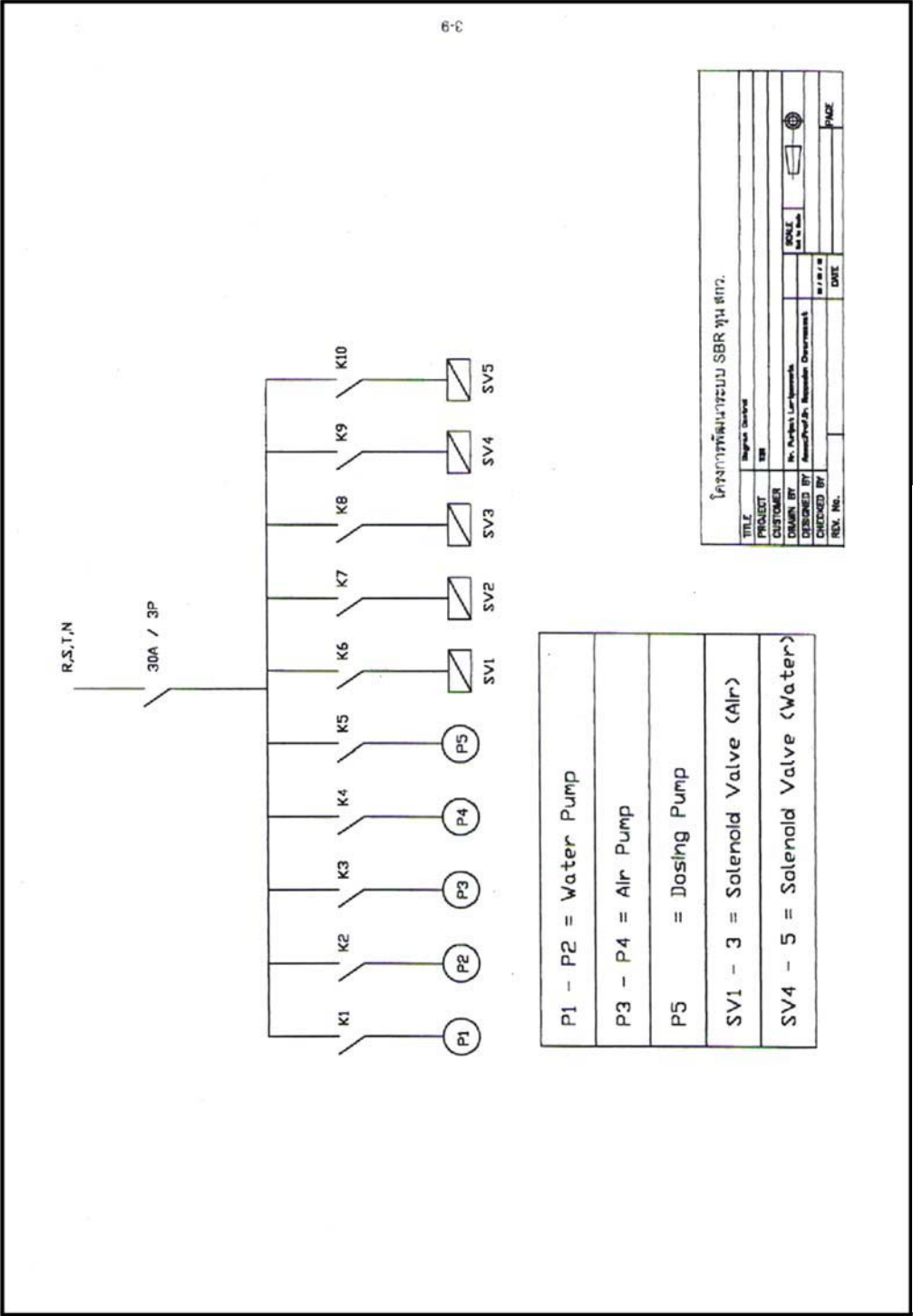
ระบบวงจรไฟฟ้าแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 PLC Ladder diagram



รูปที่ 3.6 รูปแสดงวงจรไฟฟ้าของระบบ PLC



รูปที่ 3.7 รูปแสดงวงจรไฟฟ้ากำลังของระบบ (Electrical power circuit diagram)

### 3.8 ตู้ควบคุมระบบ SBR (Control panel)

แผงหน้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR แสดงสถานะ ของการดำเนินการของระบบ ด้วยหลอดไฟและสวิตช์ดังรายการต่อไปนี้ (ตามรูปถ่าย รูปที่ 3.8 และรูปเขียนรูปที่ 3.9)

#### แผงไฟแถบบนสุดประกอบด้วย (จากซ้ายไปขวา)

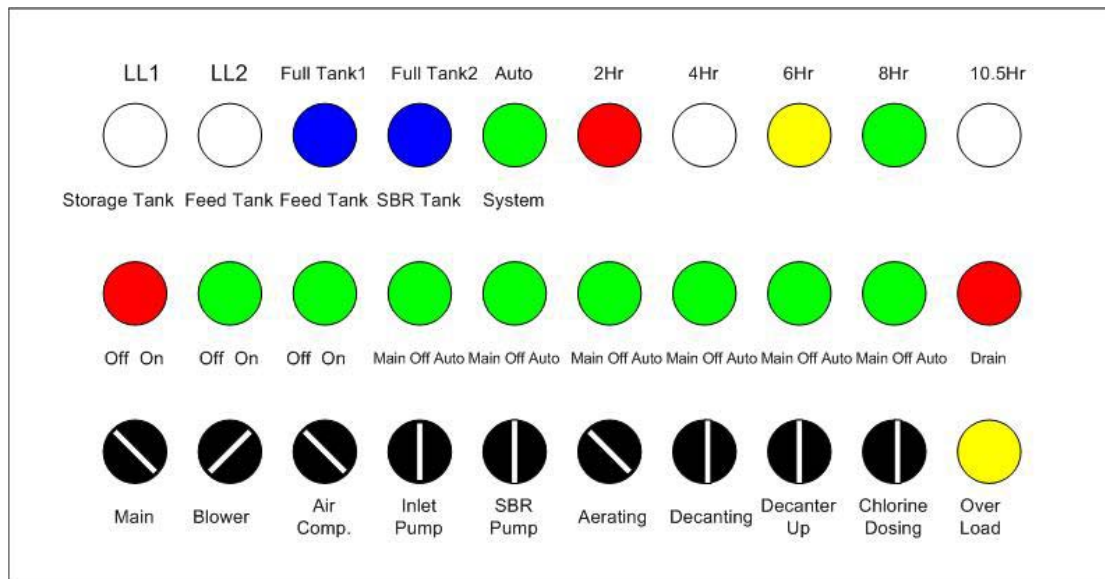
|         |                                                   |
|---------|---------------------------------------------------|
| LL1     | แสดงสถานะน้ำในบ่อรับน้ำเสียเข้า (T1) แห้ง         |
| LL2     | แสดงสถานะน้ำในบ่อพักน้ำเสียก่อนเข้า SBR (T2) แห้ง |
| Full 1  | แสดงสถานะน้ำในบ่อรับน้ำเสียเข้า (T1) เต็ม         |
| Full 2  | แสดงสถานะน้ำในบ่อพักน้ำเสียก่อนเข้า SBR (T2) เต็ม |
| Auto    | แสดงสถานะระบบ SBR กำลังทำงานแบบอัตโนมัติ          |
| 2 Hr    | แสดงสถานะการทำงานชั่วโมง 2 ของระบบ SBR            |
| 4 Hr    | แสดงสถานะการทำงานชั่วโมง 4 ของระบบ SBR            |
| 6 Hr    | แสดงสถานะการทำงานชั่วโมง 6 ของระบบ SBR            |
| 8 Hr    | แสดงสถานะการทำงานชั่วโมง 8 ของระบบ SBR            |
| 10.5 Hr | แสดงสถานะการทำงานชั่วโมง 10.5 ของระบบ SBR         |

#### แผงสวิตช์แถวล่างสุดประกอบด้วย

|               |                                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Main          | off/on ปิดและเปิดระบบ SBR                                                                                    |
| Blower        | off/on ปิดและเปิด Air Blower                                                                                 |
| Air Comp      | off/on ปิดและเปิด Air Compressor                                                                             |
| Inlet pump    | manual/off/auto ควบคุมปั๊มน้ำเสีย P1 ด้วยคน/ปิด/ควบคุมปั๊มน้ำเสีย P1 ด้วยระบบอัตโนมัติ                       |
| SBR pump      | manual/off/auto ควบคุมปั๊มน้ำเสีย P2 ด้วยคน/ปิด/ควบคุมปั๊มน้ำเสีย P2 ด้วยระบบอัตโนมัติ                       |
| Aerate        | manual/off/auto ควบคุมการเติมอากาศ ด้วยคน/ปิด/ควบคุมการเติมอากาศ ด้วยระบบอัตโนมัติ                           |
| Decanter down | manual/off/auto ควบคุมการจมลงของ Decanter ด้วยคน/ปิด/ควบคุมควบคุมการจมลงของ Decanter ด้วยระบบอัตโนมัติ       |
| Decanter up   | manual/off/auto ควบคุมการลอยขึ้นของ Decanter ด้วยคน/ปิด/ควบคุมควบคุมการลอยขึ้นของ Decanter ด้วยระบบอัตโนมัติ |
| Chlorine      | manual/off/auto ควบคุมการเติมคลอรีน ด้วยคน/ปิด/ควบคุมควบคุมการเติมคลอรีนด้วยระบบอัตโนมัติ                    |
| Overload      | แสดงสถานะการมีกระแสไฟฟ้าเกินในระบบ SBR                                                                       |



รูปที่ 3.8 รูปถ่ายแผงหน้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR



รูปที่ 3.9 ฟังแสดงแผงหน้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR

โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ของระบบเอสบีอาร์ แสดงไว้ในบทที่ 4

## บทที่ 4

### อุปกรณ์ของระบบเอสบีอาร์

รายละเอียด อุปกรณ์ (Equipment Specification) และส่วนประกอบของอุปกรณ์สำหรับระบบเอสบีอาร์ที่ได้จากการออกแบบตามบทที่ 3 และที่จัดซื้อได้ตามคุณสมบัติที่กำหนด แสดงไว้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ระบบถัง

##### 4.1.1 บ่อรับน้ำเสียขาเข้า (Influent Sump) T1

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| รูปทรง | ทรงกระบอก                                   |
|        | เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 1.2 เมตร ฝังดิน |
| วัสดุ  | ตัวถังเหล็ก (Mild steel) หนา 4 มิลลิเมตร    |
|        | การทำสีเคลือบด้วย Epoxy 2 ชั้น นอก/ใน       |

##### 4.1.2 บ่อพักน้ำเสียก่อนป้อนเข้า SBR (Waste Water Storage Tank) T2

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| รูปทรง | ทรงกระบอก                                   |
|        | เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 1.2 เมตร ฝังดิน |
| วัสดุ  | ตัวถังเหล็ก (Mild steel) หนา 4 มิลลิเมตร    |
|        | การทำสีเคลือบด้วย Epoxy 2 ชั้น นอก/ใน       |

##### 4.1.3 ถังปฏิกรณ์ SBR (SBR Tank) T3

|        |                                                               |
|--------|---------------------------------------------------------------|
| รูปทรง | สี่เหลี่ยม ส่วนล่างเป็นรูปทรงปิระมิดหงาย                      |
| ขนาด   | กxยxส(ตรง) 2x2.5x2.5ลบ.ม.                                     |
|        | ความลาดชันส่วนก้น 45°                                         |
| วัสดุ  | ตัวถังเหล็ก (Mild steel) หนา 4 มิลลิเมตร                      |
|        | ฐาน/โครงสร้างเหล็กฉาก 1 ½" x 4.5 มิลลิเมตรและเหล็ก C-shape 3" |
|        | การทำสีเคลือบด้วย Epoxy 2 ชั้น นอก/ใน                         |

##### 4.1.4 ถังย่อยตะกอน (Sludge Digester Tank) T5

|        |                                                               |
|--------|---------------------------------------------------------------|
| รูปทรง | สี่เหลี่ยม ส่วนล่างเป็นรูปทรงปิระมิดหงาย                      |
| ขนาด   | กxยxส(ตรง) 1.22 x 1.22 x 2.44 ลบ.ม.                           |
|        | ความลาดชันส่วนก้น 45°                                         |
| วัสดุ  | ตัวถังเหล็ก (Mild steel) หนา 4 มิลลิเมตร                      |
|        | ฐาน/โครงสร้างเหล็กฉาก 1 ½" x 4.5 มิลลิเมตรและเหล็ก C-shape 3" |
|        | การทำสีเคลือบด้วย Epoxy 2 ชั้น นอก/ใน                         |

#### 4.1.5 ถังพักน้ำเสียก่อนทิ้ง (Final effluent check tank) T6

|        |                                                                                                                                                    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| รูปทรง | สี่เหลี่ยม                                                                                                                                         |
| ขนาด   | กxยxส(ตรง) 1.22x1.22x2.44 ลบ.ม.                                                                                                                    |
| วัสดุ  | ตัวถังเหล็ก (Mild steel) หนา 4 มิลลิเมตร<br>ฐาน/โครงสร้างเหล็กฉาก 1 ½” x 4.5 มิลลิเมตรและเหล็ก C-shape 3”<br>การทำสีเคลือบด้วย Epoxy 2 ชั้น นอก/ใน |

### 4.2 ระบบปั๊ม

#### 4.2.1 ปั๊มน้ำเสีย P1

|                      |   |                                |
|----------------------|---|--------------------------------|
| Type                 | : | Submersible                    |
| Capacity             | : | 6 m <sup>3</sup> /hr at 5 mH   |
| Manufacturer / Model | : | Grundfos, Model KP250-A-1      |
| Material             | : | Housing/Impeller: SS304/SS304  |
| Power                | : | 480 watt; 1phase / 220V / 50Hz |

#### 4.2.2 ปั๊มน้ำเสีย P2

|                     |   |                                   |
|---------------------|---|-----------------------------------|
| Type                | : | Multi-stage                       |
| Capacity            | : | 3 m <sup>3</sup> /hr at 27 mH min |
| Manufacturer /Model | : | Grundfos, Model CH 2 -50          |
| Power               | : | 1.05 HP; 1phase / 220V / 50Hz     |

#### 4.2.3 ปั๊มเติมคลอรีนน้ำ (Sodium hypochlorite Dosing Pump) P3

|                     |   |                       |
|---------------------|---|-----------------------|
| Type                | : | Diaphragm Dosing Pump |
| Capacity            | : | 1.7 L/hr              |
| Manufacturer /Model | : | Prominent CONb 1201   |
| Power               | : | 1phase / 220V / 50Hz  |

### 4.3 เครื่องเติมอากาศและเครื่องอัดอากาศ (Air Blower and Air Compressor)

#### 4.3.1 เครื่องเติมอากาศ (Air Blower) M1

|                     |   |                                   |
|---------------------|---|-----------------------------------|
| Type                | : | Positive displacement, rotary     |
| Manufacturer /Model | : | ITO, IRS-40A                      |
| Capacity            | : | 0.57 m <sup>3</sup> /min          |
| Pump Speed          | : | 1910 rpm                          |
| Power               | : | 2.2 KW ; 3 phases / 380 V / 50 Hz |

#### 4.3.2 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) M2

|              |   |                              |
|--------------|---|------------------------------|
| Type         | : | Positive displacement        |
| Manufacturer | : | SWAN with Mitsubishi motor   |
| Power        | : | ½ HP, 1phase / 220 V / 50 Hz |

#### 4.4 Air Diffuser

|          |   |                               |
|----------|---|-------------------------------|
| Amount   | : | 5 sets                        |
| Type     | : | Circular fine Bubble          |
| Capacity | : | 5 m <sup>3</sup> /min per set |

#### 4.5 Decanter

|          |   |                                                                                                                                          |
|----------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type     | : | Float with floating free board adjusted by filled water weight.<br>With air – water replacement action for maximum clarification effect. |
| Capacity | : | 10 m <sup>3</sup> /hr drainage rate                                                                                                      |
| Material | : | SS304, 1.5 mm. Thickness                                                                                                                 |
| Detail   | : | Shown as per calculation and drawing                                                                                                     |

#### 4.6 Air Lift Pump (for Sludge Transfer)

|      |   |                  |
|------|---|------------------|
| Size | : | 3 inch pipe, PVC |
|------|---|------------------|

#### 4.7 Static Mixer

|      |   |                                        |
|------|---|----------------------------------------|
| Size | : | 1 ½ inch diameter x 0.5 m, Flange ends |
|------|---|----------------------------------------|

#### 4.8 Piping and Fitting

|                              |   |                                              |
|------------------------------|---|----------------------------------------------|
| 4.8.1 Within the tank system | : | PVC (ท่อน้ำไทย อย่างหนา)                     |
| Valves                       | : | PVC and Bronze                               |
| 4.8.2 from T2 to T3          | : | PE Class PN6.3 diameter. 40 mm, 200 m length |

## **4.9 Control System**

### **4.9.1 PLC (Programmable Logical Controller)**

Manufacturer /Model : Mitsubishi, AL2-24MR-D

### **4.9.2 Control Valves (Details see PFD)**

Two of 3/8 inch 220V Solinoid valves, for air

One of 1 inch 220V Solinoid valve, for air

One of 1 ½ inch 220V Solinoid valve, for air

Two of ¾ inch 220V Solinoid valve, for water

Two of 1 ½ inch 220V Solinoid valve, for water

### **4.9.3 Level Switches**

Three Electrode type with relay

Five Float type

### **4.9.4 Control Cubicle**

Out door type, double doors

Size 900 mm x 400 mm x 370 mm

Material : Carbon Steel Sheet 1.5 mm thick

## **4.10 Instruments**

### **4.10.1 pH monitor**

Manufacturer and Model : Yokogawa, Model PH402G-E-2-E/U

PI control, Temp. compensation, IP65 Field mountable case, two mA output, four relays, digital display, 220V

With pH sensor, Model FU2-05-T1-NPT, immerse type 5m cable

### **4.10.2 DO monitor**

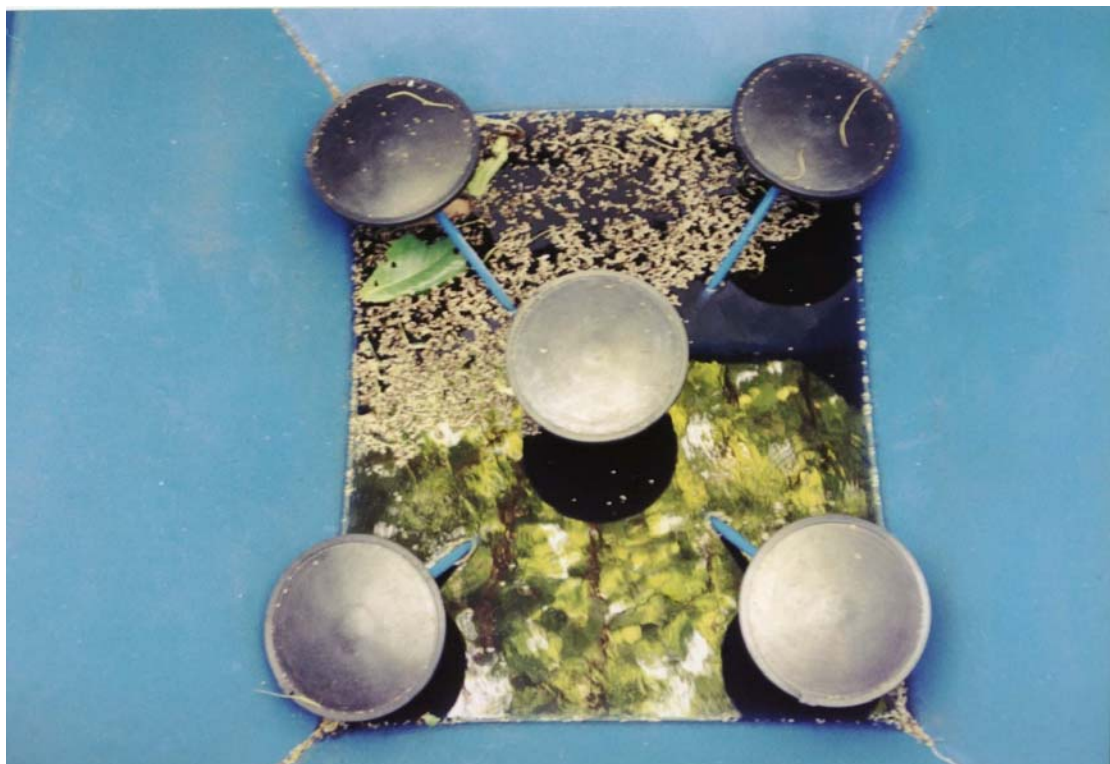
Manufacturer and Model: Yokogawa, Model DO402G-E-2-E/U

PI control, IP65 Field mountable case, two mA output, four relays, digital display, 220V

With DO sensor, DO30-S50-03, immerse type 3m cable



รูปที่ 4.1 รูปถ่ายระบบ SBR ติดตั้ง ณ บริเวณของโรงงานบริษัทศรีสุทฤษฎ์ จำกัด



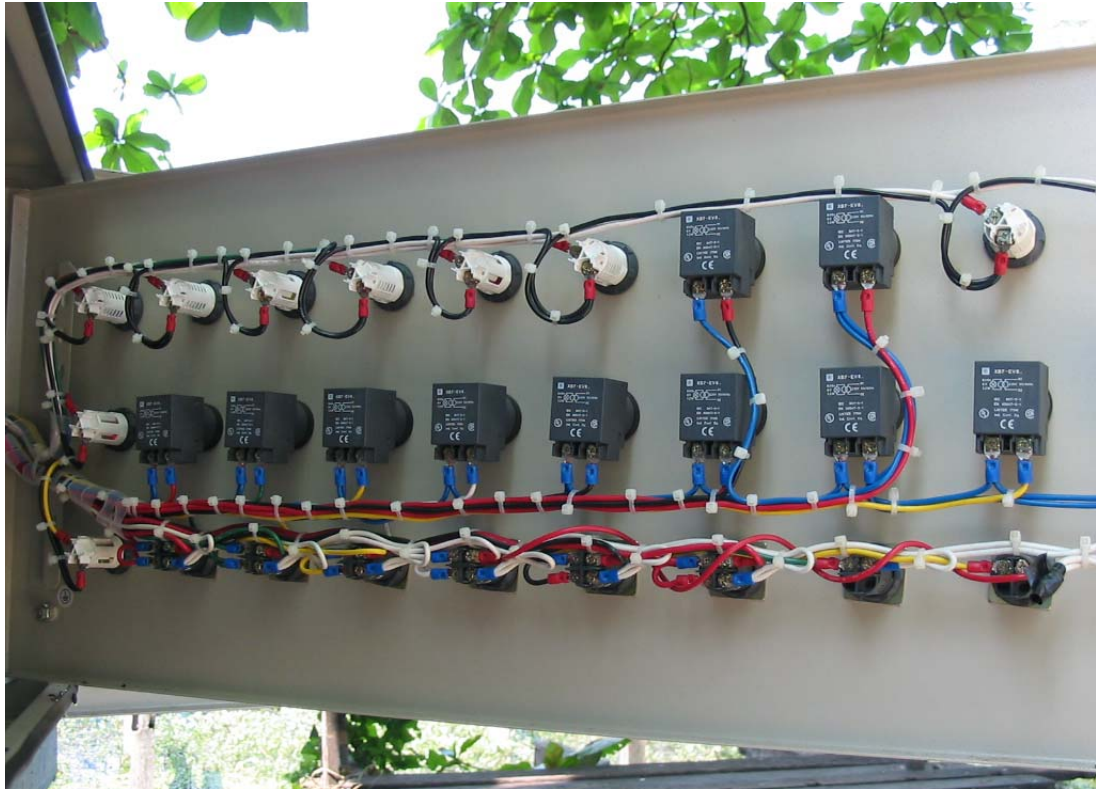
รูปที่ 4.2 รูปถ่ายแสดงการติดตั้ง Air Diffusers ภายในถัง SBR (T3)



รูปที่ 4.3 รูปถ่ายตู้ควบคุมไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR



รูปที่ 4.4 รูปถ่ายแผงวงจรควบคุม ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้าและอุปกรณ์ของระบบ SBR



รูปที่ 4.5 รูปถ่ายการต่อวงจรด้านหลังสวิทช์ควบคุม ของแผงหน้าของผู้ควบคุม

## บทที่ 5

### การทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการดำเนินงานของระบบ เอสบีอาร์ เน้นที่ตัวแปรหลักหรือพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการดำเนินงานของระบบในการกำจัด BOD ของน้ำเสีย รวมถึงการศึกษาคูสมบัตินี้ด้านการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียอันเป็นจุดเด่นประการหนึ่งของระบบนี้

การศึกษประกอบด้วยการศึกษาผลกระทบของตัวแปรดังต่อไปนี้ คือ (1) F/M ratio (2) BOD loading (3) อัตราส่วนเวลา Anoxic Fill/ Aeration และ (4) DO

รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 5.1

พร้อมผลการทดลองนำเสนอไว้ในบทที่ 6

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของแผนการทดลอง

| ทดลองที่                 | ตัวแปร                                               | ค่าที่กำหนดคงที่                                                                                                         | สิ่งที่ต้องการศึกษา                                                                        |
|--------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                        | SBR ที่ Pre-designed parameter                       | ตาม 3.1                                                                                                                  | ศึกษาการทำงานของระบบโดยรวม                                                                 |
| 2                        | F/M ratio                                            | BOD <sub>in</sub> , อัตราการไหล, $\theta_c$<br>BOD <sub>out</sub> , Oxygen requirement (SOR)<br>(บันทึก DO แต่ไม่ควบคุม) | ผลของ F/M ในสมการ<br>$F/M = \text{BOD input } (\theta_c \times \text{MLVSS})$              |
| 3.1<br>3.2<br>3.3<br>3.4 | BOD loading 4 ค่า<br>โดยการ<br>ปรับอัตราการไหล       | BOD <sub>in</sub> , MLVSS, BOD <sub>out</sub> ,<br>(บันทึก DO แต่ไม่ควบคุม)                                              | ผลของ $\theta$ (HRT) ในสมการ<br>$F/M = \text{BOD input } / (\theta_c \times \text{MLVSS})$ |
| 4.1<br>4.2<br>4.3<br>4.4 | อัตราส่วนเวลา<br>Anoxic Fill/ Aeration<br>Time 4 ค่า | ค่า Mean MLVSS, ค่า mean<br>ของอัตราการไหล (บันทึก<br>DO แต่ไม่ควบคุม)                                                   | เวลา Anoxic Fill / Aerobic ที่มีต่อ<br>ประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะ<br>สำหรับการกำจัด TKN   |
| 5.1<br>5.2<br>5.3<br>5.4 | DO 4 ค่า<br>โดยการปรับค่า<br>Air Flow Rate           | BOD <sub>in</sub> , BOD <sub>out</sub> , MLVSS,<br>cycle & time,<br>อัตราการไหล<br>(ในรูปของ $\theta_c$ )                | ผลของ DO ในการทำงานของระบบ                                                                 |

## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

การทดลองประกอบไปด้วย 6 ชุดการทดลองคือ

- (1) การทดลองที่ 1 การเริ่มเดินระบบ SBR ก่อนเข้าสู่ภาวะคงที่ (Start up experiments)
- (2) การทดลองที่ 2 การศึกษาผลกระทบของ F/M ratio ต่อการทำงานของระบบ SBR
- (3) การทดลองที่ 3 การศึกษาผลกระทบของ BOD Loading ต่อการทำงานของระบบ SBR
- (4) การทดลองที่ 4 การศึกษาผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนโดยระบบ SBR
- (5) การทดลองที่ 5 การศึกษาผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR
- (6) การทดลองที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยระบบ SBR แล้ว

#### 6.1 การทดลองที่ 1 การเริ่มเดินระบบ SBR ก่อนเข้าสู่ภาวะคงที่ (Start up experiments)

ในการเริ่มการเดินระบบนั้นเป็นช่วงเดือน กันยายน – ตุลาคม 2546 เป็นปลายฤดูฝนแต่ยังมีฝนตกชุกมาก ประกอบกับระบบรองรับน้ำเสียจากกระบวนการ ไม่ได้แยกจากระบบรองรับน้ำฝนอีกทั้งเป็นช่วงเริ่มการทดลองผลิต ไม่มีน้ำเสียสม่ำเสมอ จึงไม่ได้วัดค่าองค์ประกอบของน้ำเสีย

แต่มุ่งเน้นที่จะเพิ่มค่า MLVSS ให้เข้าใกล้ค่าที่ใช้ในการออกแบบก่อน (4,000 mg/L)

โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- (1) เติมน้ำเสีย ปริมาตรประมาณ 5 ม<sup>3</sup>/วัน
- (2) ในวันที่ 1 ของการดำเนินการ เริ่ม Seed ด้วยจุลินทรีย์จากระบบ SBR ของโรงงานปลากระป๋อง ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำเสียในลักษณะคล้ายคลึงกัน ระบบ SBR ดังกล่าวอยู่ในสภาวะการดำเนินการปกติซึ่งควรมีค่า MLVSS 3,000-4,000 mg/L ปริมาตร 50 ลิตร (คิดเป็น 1 % Seeding โดยปริมาตร)(ไม่ได้มีการวัดค่า MLVSS ของ Seed)
- (3) เติมอากาศ 21 ชม/วัน
- (4) ตกตะกอน 1 ชม.
- (5) ปล่อยน้ำใสออก (Decanting) ประมาณ 4 ม<sup>3</sup> ใช้เวลาประมาณ 1 ชม.
- (6) เติมน้ำเสียใหม่ 1 ชม.
- (7) เมื่อดำเนินการไปช่วงหนึ่งพบว่าค่า MLVSS ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เข้ามาเจือจางมากจึงเติมมูลไก่เพิ่มด้วยปริมาณที่ระบุในตารางที่ 6.1

**ตารางที่ 6.1** การเริ่มเดินระบบ SBR ก่อนเข้าสภาวะคงที่ (Start up experiments, MLVSS –  $SV_{30}$  calibration)

| วัน/เดือน/ปี<br>ที่เก็บตัวอย่าง | MLVSS (mg/l)            | MLVSS (mg/l) , calibrated<br>From MLVSS versus $SV_{30}$<br>(Graph ในรูปที่ 6.1 ) | $SV_{30}$ | SVI |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|
| 15/09/46                        | 337                     | -                                                                                 | 70        | 208 |
| 17/09/46                        | -                       | 130                                                                               | 70        | 537 |
| 19/09/46                        | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 22/09/46                        | -                       | 130                                                                               | 70        | 537 |
| 24/09/46                        | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 26/09/46                        | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 29/09/46                        | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 1/10/46*                        | -                       | 130                                                                               | 70        | 537 |
| 3/10/46                         | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 6/10/46                         | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 8/10/46                         | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 10/10/46                        | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 12/10/46                        | -                       | 254                                                                               | 80        | 315 |
| 13/10/46**                      | --                      | 748                                                                               | 120       | 160 |
| 14/10/46**                      | CODin 679 mg/l          | 1118                                                                              | 150       | 134 |
| 15/10/46**                      | -                       | 1365                                                                              | 170       | 125 |
| 16/10/46**                      | -                       | 1736                                                                              | 200       | 115 |
| 17/10/46**                      | -                       | 1736                                                                              | 200       | 115 |
| 18/10/46                        | -                       | 1983                                                                              | 220       | 111 |
| 19/10/46***                     | -                       | 2353                                                                              | 250       | 106 |
| 20/10/46                        | -                       | 2353                                                                              | 250       | 106 |
| 21/10/46                        | 2,160<br>BODin 851 mg/L | 2353                                                                              | 250       | 106 |

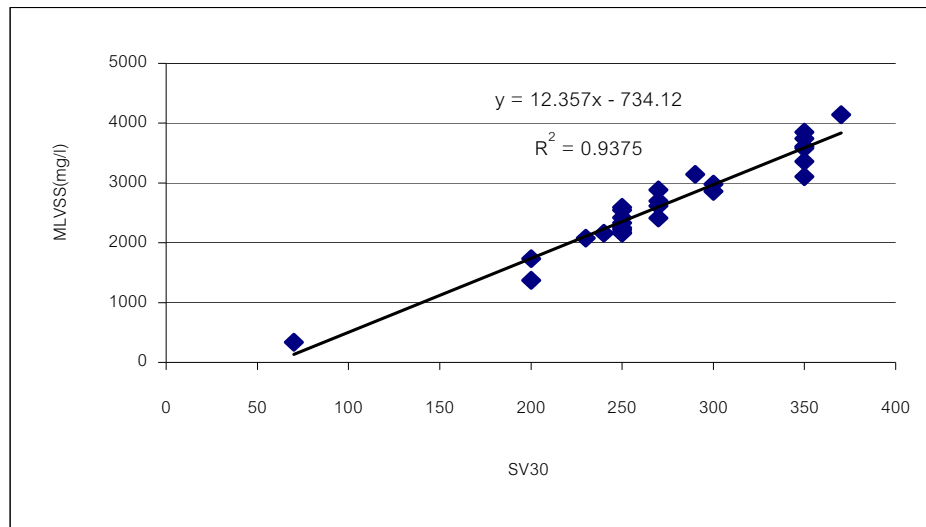
**หมายเหตุ**

\* โรงงานเริ่มดำเนินการผลิตและเริ่มมีน้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบแต่ยังไม่สม่ำเสมอ

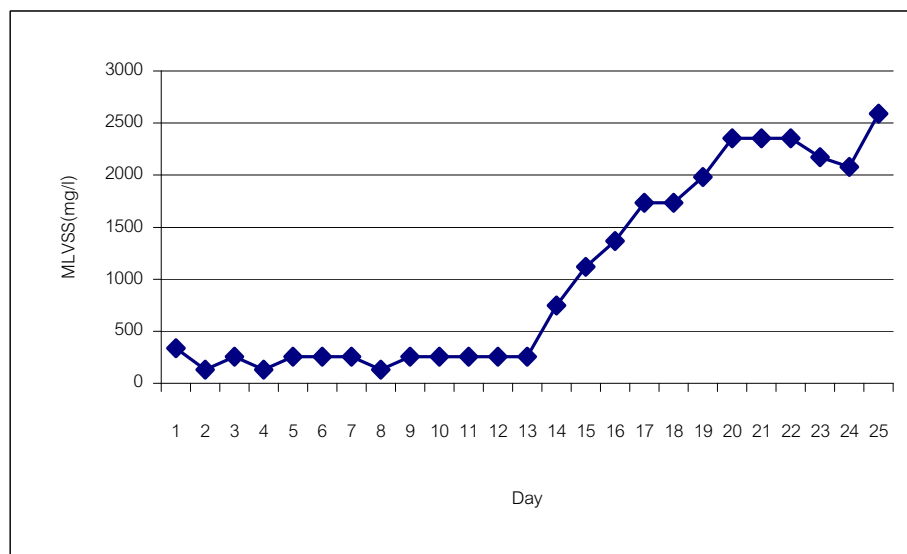
\*\* เนื่องจากเชื้อในระบบไม่ค่อยเพิ่มจำนวนจึงได้เติมมูลไก่ลงไปในระบบวันละ 60 กก.ต่อวัน

ตั้งแต่วันที่ 13 ตุลาคม 2546 ถึงวันที่ 17 ตุลาคม 2546

\*\*\* พิจารณาจากค่า  $SV_{30}$  ที่สูงขึ้นและเริ่มคงที่ และเมื่อพิจารณาจากสภาพจุลินทรีย์ภายในถัง SBR พบว่ามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาช่วงในการตกตะกอนพบว่าการรวมตัวกันของตะกอนจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพจึงเห็นควรเริ่มเข้าสู่ cycle การทำงานของระบบ SBR คือทำงานวันละ 2 cycle โดยมีระยะเวลา cycle ละ 12 ชั่วโมง และเริ่มการทดลองแรกในวันที่ 21 ตุลาคม 2546



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า MLVSS กับ  $SV_{30}$  (ข้อมูลจากตาราง 6.1)



รูปที่ 6.2 การเริ่มดำเนินการระบบ SBR

## 6.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลกระทบของ F/M ratio ต่อการทำงานของระบบ SBR

การทดลองนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของ F/M ratio ที่มีต่อการทำงานของระบบ SBR โดยค่า F/M ratio นี้เป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญตัวหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสียในกลุ่มกระบวนการตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) และกระบวนการตะกอนเร่งดัดแปลง (Modified Activated Sludge Process) ซึ่ง SBR ก็จัดอยู่ในประเภทหลังนี้

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบ ที่ใช้ในโครงการนี้เปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ตามแนวทางการออกแบบระบบ SBR โดย Metcalf & Eddy (p550) จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบที่ใช้ในโครงการนี้อยู่ในช่วงที่แนะนำโดย Metcalf & Eddy ยกเว้นค่า BOD Volumetric Loading เท่านั้นที่โครงการนี้กำหนดไว้สูงกว่าถึงประมาณ 4 เท่า ซึ่งจะต้องพิจารณาผลที่ได้ต่อไป

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบ

| ค่าพารามิเตอร์<br>ในการออกแบบระบบ<br>SBR | F/M ratio<br>Day <sup>-1</sup> | Volumetric Loading<br>Kg BOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> Day | MLVSS<br>mg/L | Retention<br>Time<br>Hr. | BOD<br>Removal<br>Eff. % |
|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| ค่าที่ใช้ในโครงการนี้<br>ตามการออกแบบ    | 0.2                            | 0.80                                                          | 4,000         | 30                       | 98.0%                    |
| ค่าที่แนะนำโดย<br>Metcalf&Eddy           | 0.05-0.30                      | 0.08-0.24                                                     | 1,500-5,000   | 12-50                    | 85-95                    |

เงื่อนไขสถานะของการทดลอง :

ตัวแปร MLVSS 4 ค่า โดยมีประมาณการค่า MLVSS mean = 2,000 mg/l

ค่าที่กำหนดคงที่ ปริมาณน้ำเสีย/ Cycle

และ อัตราการเติมอากาศ(มีการบันทึกค่า DO แต่ไม่มีการควบคุม DO โดยอัตโนมัติ)

ค่าที่ควบคุมไม่ได้ BOD in

ค่าที่เป็นผลจากการดำเนินการ BOD out

สิ่งที่ต้องการศึกษา ผลของ F/M ratio ในสมการ  $F/M = \text{BOD}_{\text{input}} / (\theta_c * \text{MLVSS})$

### ตารางที่ 6.3 ผลกระทบของ F/M ratio ต่อการทำงานของระบบ SBR

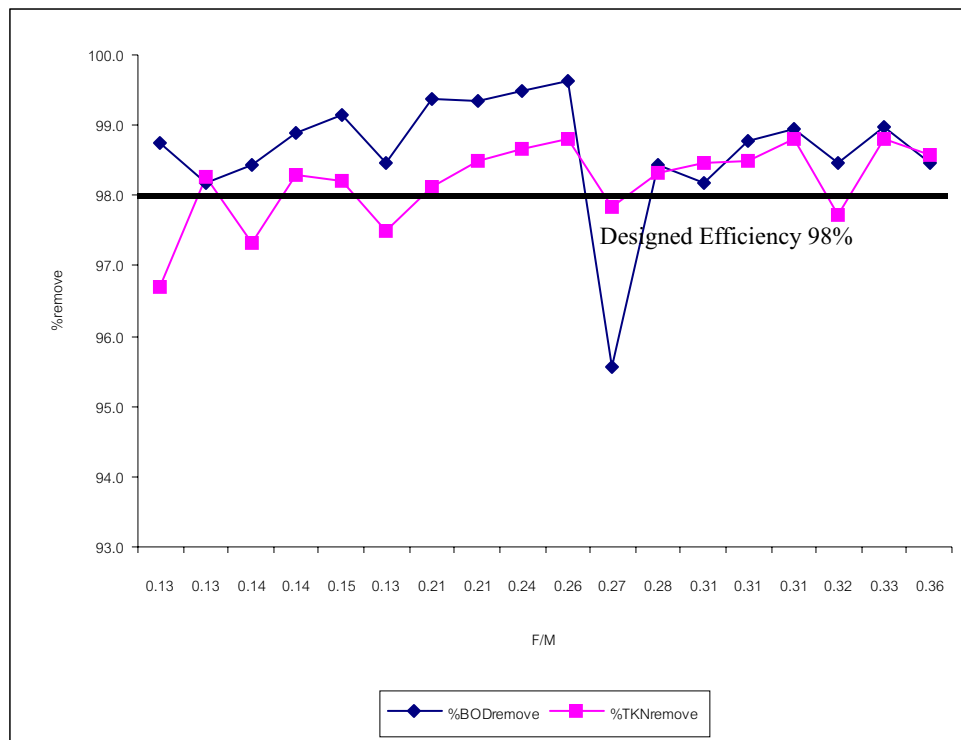
Design efficiency 98 %

| MLVSS<br>(mg/l)                               | F/M<br>(day <sup>-1</sup> ) | BOD<br>Influent<br>(mg/l) | BOD<br>Effluent<br>(mg/l) | %<br>BOD<br>removal | COD<br>Influent<br>(mg/l) | COD<br>Effluent<br>(mg/l) | %<br>COD<br>removal | TKN<br>Influent<br>(mg/l) | TKN<br>Effluent<br>(mg/l) | %<br>TKN<br>removal |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| อัตราการป้อนน้ำเสีย 2.5 m <sup>3</sup> /cycle |                             |                           |                           |                     |                           |                           |                     |                           |                           |                     |
| 2,080                                         | 0.13                        | 343                       | 4.3                       | 98.7                | 697                       | 34                        | 95.1                | 74.2                      | 2.45                      | 96.7                |
| 2,160                                         | 0.32                        | 851*                      | 13                        | 98.5                | 1,283                     | 67                        | 94.8                | 143.36                    | 3.27                      | 97.7                |
| 2,173                                         | 0.17                        | 383                       | 6                         | 98.4                | 566                       | 57                        | 89.3                | 86.1                      | 2.31                      | 97.3                |
| 2,590                                         | 0.13                        | 423                       | 7.7                       | 98.2                | 710                       | 40                        | 94.4                | 100.1                     | 1.75                      | 98.3                |
| อัตราการป้อนน้ำเสีย 5.0 m <sup>3</sup> /cycle |                             |                           |                           |                     |                           |                           |                     |                           |                           |                     |
| 2,160                                         | 0.27                        | 360                       | 16                        | 95.6                | 526                       | 47                        | 91.1                | 80.5                      | 1.75                      | 97.8                |
| 2,220                                         | 0.36                        | 495                       | 7.6                       | 98.5                | 883                       | 72                        | 91.4                | 103.6                     | 1.47                      | 98.6                |
| 2,333                                         | 0.31                        | 451                       | 5.5                       | 98.8                | 620                       | 49                        | 92.1                | 92.4                      | 1.4                       | 98.5                |
| 2,700                                         | 0.33                        | 559                       | 5.8                       | 99.0                | 939                       | 49                        | 94.8                | 104.3                     | 1.26                      | 98.8                |
| 2,860                                         | 0.31                        | 559                       | 5.9                       | 98.9                | 1,019                     | 37                        | 96.4                | 117.6                     | 1.4                       | 98.8                |
| 2,885                                         | 0.28                        | 500                       | 7.8                       | 98.4                | 1,146                     | 36                        | 96.9                | 103.6                     | 1.75                      | 98.3                |

ข้อสังเกต \* Max BOD ในช่วงการทดลองนี้ เป็น 851 mg/L

ข้อมูลจากผลการทดลองในตารางที่ 6.3 นำเสนอไว้ในกราฟรูปที่ 6.2 แสดงให้เห็นว่าในค่า F/M ratio ในช่วงของการศึกษาในโครงการนี้คือระหว่าง 0.13-0.36 นั้น ไม่มีผลกระทบที่แตกต่างชัดเจนนักต่อประสิทธิภาพของการกำจัด BOD และ TKN

ผลการทดลองโดยรวม แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดเป็นไปตามการออกแบบโดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของการกำจัด BOD สูงกว่าที่ออกแบบไว้ (98%) และมีค่า BODout และ CODout ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงาน



รูปที่ 6.3 ผลของค่า F/M ratio ต่อการดำเนินการของระบบ SBR

### การทดลองที่ 3 การศึกษาผลกระทบของ BOD loading ต่อการทำงานของระบบ SBR

#### เงื่อนไขสถานะของการทดลอง

ตัวแปร อัตราการไหล 4 ค่า ค่า Mean = 5 m<sup>3</sup>/cycle

ค่าที่กำหนดคงที่ BOD<sub>in</sub>, BOD<sub>out</sub>, MLVSS (บันทึก DO แต่ไม่ควบคุม), ปริมาณการเติมอากาศ

สิ่งที่ต้องการศึกษา ผลกระทบของ BOD loading

ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า  $\theta_c$  (HRT) ในสมการ  $F/M = \text{BOD}_{\text{input}} / (\theta_c * \text{MLVSS})$

และค่า BOD<sub>input</sub>

เนื่องจากขนาดของถังปฏิกรณ์ในระบบ SBR สามารถรับปริมาณน้ำเสียได้สูงสุดไม่เกิน 5 ม<sup>3</sup>/วัน ทางคณะผู้วิจัยโครงการจึงทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหล 4 ค่า ดังนี้คือ 2.5 ม<sup>3</sup>/วัน, 3 ม<sup>3</sup>/วัน, 4 ม<sup>3</sup>/วัน และ 5 ม<sup>3</sup>/วัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงมากเนื่องจากระบบมีความยืดหยุ่นสูง แสดงให้เห็นชัดเจนไว้เป็นกราฟแท่งในรูปที่ 6.4

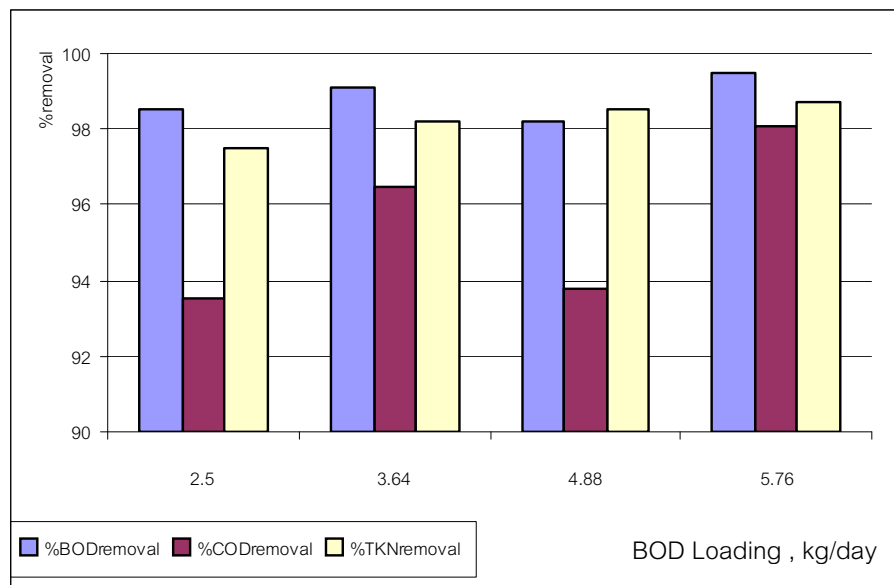
การเติมอากาศที่สูงกว่าทางทฤษฎีทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.5a อันเป็นกราฟแสดงค่า DO ในถังปฏิกรณ์ตลอดระยะเวลาในการบำบัด 1 Cycle จะเห็นได้ว่าระยะเวลาเติมอากาศนานเกินพอ ตำแหน่งของ Steady saturated DO อันเป็นตำแหน่งที่ควรจะหยุดการเติมอากาศเพื่อเข้าสู่ช่วงตกตะกอน (Settling) ยังสามารถเลื่อนมาทางซ้ายมือของกราฟได้อีกหลายชั่วโมง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือสามารถจะเพิ่มจำนวน Cycle ต่อวันให้สูงขึ้นได้ในสภาวะ BOD เท่าเดิม

ตารางที่ 6.4 การศึกษาผลกระทบของ BOD loading ต่อการทำงานของระบบ SBR

| Flow<br>(m <sup>3</sup> /cycle) | BOD<br>Loading<br>kg/day | BOD<br>Inf.<br>(mg/l) | BOD<br>Eff.<br>(mg/l) | % BOD<br>Rem. | COD<br>Inf.<br>(mg/l) | COD<br>Eff.<br>(mg/l) | % COD<br>Rem. | TKN<br>Inf.<br>(mg/l) | TKN<br>Eff.<br>(mg/l) | %<br>TKN<br>Rem. |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| 2.5                             | 2.5                      | 500                   | 7.8                   | 98.5          | 814                   | 50                    | 93.5          | 100.9                 | 2.4                   | 97.5             |
| 3                               | 3.65                     | 608                   | 5.1                   | 99.1          | 1,132                 | 35.5                  | 96.5          | 95.2                  | 1.71                  | 98.2             |
| 4                               | 5.77                     | 721                   | 3.5                   | 99.5          | 1,604                 | 29                    | 98.1          | 126                   | 1.68                  | 98.7             |
| 5                               | 4.87                     | 487                   | 8.1                   | 98.2          | 856                   | 48.3                  | 93.8          | 100.3                 | 1.5                   | 98.5             |

#### หมายเหตุ

- (1) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงเป็นค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการทดลองหลายชุด
- (2) Inf. = Influent
- (3) Eff. = Effluent
- (4) Rem. = Removal
- (5) Designed BOD Loading = 5 kg BOD/ day
- (6) ข้อมูลในตารางที่ 6.4 แต่ละอัตราการไหล เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 4 ชุดจากการทดลองตามรายละเอียดในภาคผนวก ก.2



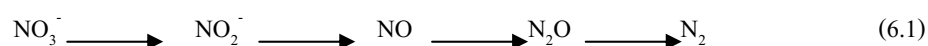
รูปที่ 6.4 ผลกระทบของค่า BOD Loading ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SBR

รูปที่ 6.5 a และ 6.5 b เป็น DO Profile และ pH Profile ตลอดช่วงของการดำเนินการ 1 Cycle ของ SBR โดยมี BOD Loading เป็นพารามิเตอร์ แสดงให้เห็นปรากฏการณ์ของกลไกซึ่งควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ SBR ดังนี้

(1) ในช่วงต้นของ Cycle คือช่วงเติมน้ำเสีย (0.5 ชม.)

จากกราฟจะเห็นว่าสถานะเริ่มต้นของ Cycle เป็นผลต่อเนื่องมาจากสภาวะปลาย Cycle อันเป็นสภาพขาดอากาศ (Anoxic) ภายหลังจากการหยุดเติมอากาศมาไม่ต่ำกว่า 1.5 ชม. ดังนั้นในช่วง 0.5 ชม. แรกของการป้อนน้ำเสียโดยที่ยังไม่มีการเติมอากาศนั้น ช่วงแรกอาจมีอากาศบางส่วนอยู่ในน้ำเสียที่ป้อน หรือเกิดการเติมอากาศโดยการกระแทกของน้ำที่ป้อนเข้ากระทบผิวน้ำก็เป็นได้ เมื่อผสมกับน้ำในถังที่มีค่า DO ต่ำอยู่ ประกอบกับการใช้อากาศที่น้อยนั้นต่อไปอย่างช้าๆ โดยจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ (ในขณะนี้จะเป็ Oxygen Diffusion Rate Limited) ค่า DO จึงลดต่ำลงต่อไปอีกอย่างต่อเนื่องต่อไป

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของ pH ในช่วงนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยา Denitrification อันเป็นกลไกที่จุลินทรีย์ที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอต้องใช้ออกซิเจนจากสารประกอบไนเตรด



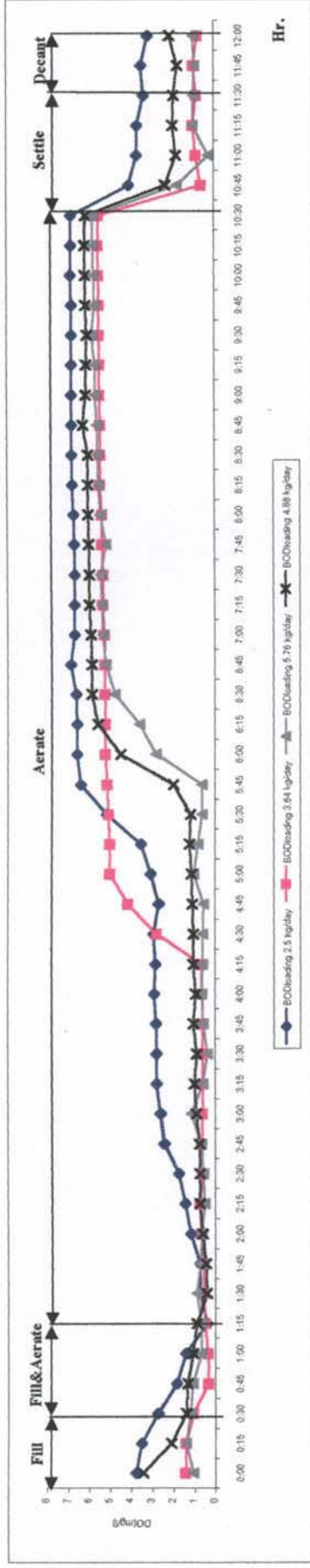
หรือเขียนในรูปสมการ Oxidation-reduction ได้เป็นสมการ (6.2)



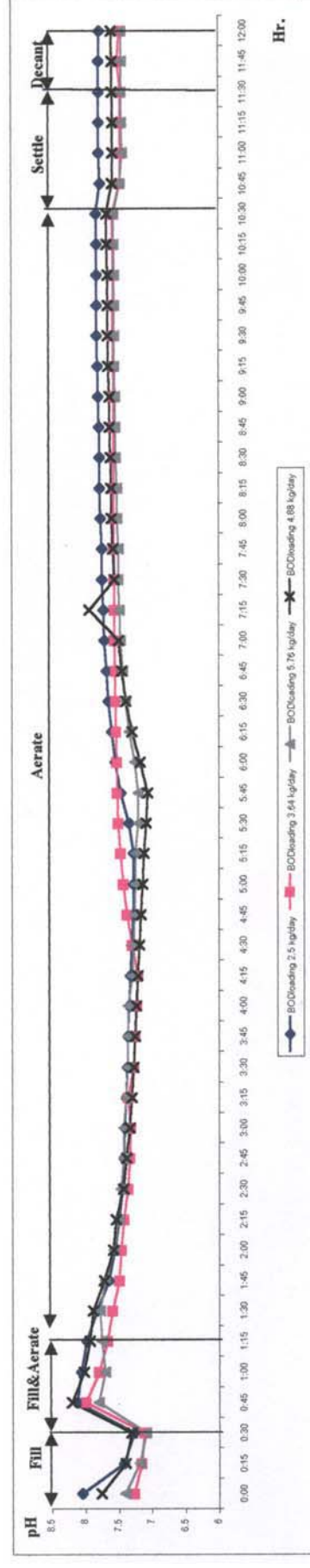
มีค่า ORP เป็นลบ

ปฏิกิริยาดังกล่าวจะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปแก๊สไนโตรเจนตามสมการ (6.1) โดยค่า pH ของระบบจะสูงขึ้นด้วยปฏิกิริยาตามสมการ (6.2) นี้ แต่เนื่องจากระบบอยู่ในสภานิ่ง (Static) ไม่มีการกวนผสม หัววัด pH (และหัววัดDO ด้วยเช่นกัน) จึงอ่านค่าในน้ำด้านบนของตะกอนที่ผสมด้วยน้ำใหม่ที่กำลังเติมเข้ามา จึงทำให้ค่าที่ปรากฏต่ำลงเรื่อยๆ ในช่วง 0.5 ชม. แรก

สามารถจะติดตามการเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (6.2) เพื่อทราบจุดที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ได้ด้วยการวัดค่า ORP (-mv) ซึ่งจะชี้ได้โดยจุดที่เกิดการ โค้ง (Bending) ของกราฟ ORP-Time หรือที่เรียกว่า “Nitrate Knee”



รูปที่ 6.5a ค่า DO ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่ BOD Loading ต่างๆกัน



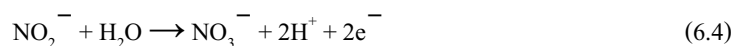
รูปที่ 6.5b ค่า pH ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่ BOD Loading ต่างๆกัน

## (2) ช่วงการเติมอากาศ (10 ชม.)

หลังจากเติมน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศเข้าระบบถึงปฏิกรณ์ SBR เป็นเวลาครบ 0.5 ชม. แล้วจึงเติมอากาศเข้าถังปฏิกรณ์ SBR อากาศจะทำหน้าที่กวนจุลินทรีย์ที่จมอยู่ (ระดับความสูงของจุลินทรีย์ประมาณ 1/3 ถึงที่ MLVSS ประมาณ 3,000 mg/l) ให้ผสมกับน้ำเสียให้มีการผสมสมบูรณ์ด้วย ดังนั้นจะเห็นว่าหลังจากระยะเวลา 30 นาทีของการเริ่มต้น Cycle ใหม่ จะเกิดปรากฏการณ์ต่อไปนี้

- ค่า DO จะลดลงต่อไปอีกจนมีค่าไม่เกิน 1 mg/l
- ส่วนค่า pH จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีค่าใกล้ pH 8 แล้วจึงค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ โดยมีจุดต่ำสุดที่ตำแหน่งเริ่มต้นของช่วง Substrate Limiting Stage (เมื่อ DO เริ่มปรับตัวสูงขึ้น)  $\Delta \text{pH} = -1$  โดยประมาณ แล้วจึงค่อยๆ ปรับตัวกลับสูงขึ้นอย่างช้าๆ เข้าสู่จุด Steady ที่ประมาณ pH 7.8 โดยมีลักษณะของกราฟ pH ในลักษณะเดียวกับกราฟ DO

ในการเติมอากาศนั้นนอกจากการกำจัดปฏิกิริยาด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศแล้ว ยังเกิดปฏิกิริยาการเป็นสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ให้การเป็นไนไตรท์ (โดยจุลินทรีย์ Nitrosomonas) และไนเตรต (โดยจุลินทรีย์ Nitrobacter) อันเป็นกระบวนการที่เรียกว่า Nitrification ตามสมการ (6.3) และ (6.4)



ทำให้ค่า ORP เป็นบวก (ให้อิเล็กตรอน)

## (3) ช่วงหยุดเติมอากาศและตกตะกอน (1 ชม)

การหยุดเติมอากาศเริ่ม ณ ชั่วโมงที่ 10.5 และหยุดเป็นเวลา 1.0 ชม. กราฟ DO จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนมากและการตกตะกอนของจุลินทรีย์เป็นลักษณะที่เรียกว่า “Zone Settling” (Metcalf & Eddy, p.290) ในช่วงแรกโดยมีการเลื่อนชั้นของตะกอนเป็น “Blanket” ลงมาเมื่อโซนของจุลินทรีย์เลื่อนผ่านหัววัด DO ก็จะทำให้ DO ที่อ่านได้มีค่าต่ำ จนเมื่อโซนดังกล่าวพ้นหัววัด DO ไปแล้วน้ำใสส่วนบนก็จะค่อยๆ ได้รับออกซิเจนโดยการแพร่ของออกซิเจนจากอากาศที่ผิวน้ำ โดยที่ไม่มีการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในส่วนบนนี้ จึงทำให้กราฟ DO ขยับตัวสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อตกตะกอนไปได้ประมาณ 30 นาที

## (4) ช่วงการถ่ายน้ำเสียออก (0.5 ชม)

ในช่วงการถ่ายน้ำเสียออก ระยะเวลาตามการออกแบบไว้สูงสุด 0.5 ชม. มีการเปลี่ยนแปลงระดับ DO เล็กน้อย อาจเกิดจากการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่จมอยู่ แต่เป็นกรณีของ Oxygen Diffusion Limited เช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ใน (1) และ pH เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลของ

ปฏิกิริยา Denitrification ก็เป็นไปได้ แต่ถูกลดความชัดเจนเนื่องจาก Diffusion Limited จากชั้นของตะกอนออกสู่ชั้นน้ำที่มีหัววัด DO และ pH อยู่ (นั่นคือหากวัด DO และ pH ในชั้นของตะกอนจุลินทรีย์จะได้ค่าที่ต่างไปจากที่แสดงมาก)

#### การทดลองที่ 4 การศึกษาผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR

##### ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนโดยระบบ SBR

**ตัวแปร**                      ปรับระยะเวลาของขั้นตอน Anoxic Fill / Aerated Reaction (ชม. / ชม.) ใน cycle ของ SBR

4 ค่าในแต่ละการทดลองคือ 0/10.5, 0.5/10.0, 1.0/9.5, 1.5/9.0

**ค่าที่กำหนดคงที่**        ค่า Mean MLVSS, อัตราการไหล  $5 \text{ m}^3/\text{cycle}$  หรือ  $10 \text{ m}^3/\text{day}$ , อัตราการไหลของอากาศ  $0.57 \text{ Nm}^3/\text{min}$  (บันทึก DO แต่ไม่ควบคุม)

**สิ่งที่ต้องการศึกษา** ผลของระบบเวลา Anoxic Fill / Aerobic ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะสำหรับการกำจัด TKN

ช่วงการมีอากาศแบบจำกัดหรือ Anoxic phase มีความสำคัญมากต่อการกำจัด สารประกอบไนโตรเจนในระบบ SBR ด้วยปฏิกิริยา Nitrification ในช่วงเติมอากาศ และ Denitrification ในช่วง Anoxic

ใน Cycle ของ SBR นั้น Anoxic หรือการมีอากาศจำกัดจนเกือบขาดอากาศนั้น เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนตกตะกอนจุลินทรีย์ (Settling) ตลอดมาจนถึงช่วงปล่อยน้ำใสออก (Decanting) และ การเติมน้ำเสียโดยยังไม่เติมอากาศ แต่ในแง่ของโปรแกรมควบคุมการทำงาน และเพื่อให้การตกตะกอนและการถ่ายน้ำใสออกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเห็นเป็นการสะดวกที่จะปรับเวลาช่วง Anoxic ในระหว่างการเติมแทน

ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ศึกษาจึงเป็นอัตราส่วนเวลา Anoxic Fill / Aeration Process ดังกล่าว

จากรูป 6.6 จะเห็นได้ว่าการกำจัด TKN มีประสิทธิภาพสูงมาก จนดูเหมือนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการทดลองทั้ง 4 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการขาดอากาศในช่วง 1.5 ชม. ตอนท้าย Cycle มากเกินไปที่จะทำให้การกำจัด TKN มีประสิทธิภาพสูงพอแล้ว

แต่หากพิจารณาค่า % TKN removal: % BOD removal ในแต่ละการทดลองแล้วก็จะเห็นได้ชัดว่า ที่เวลา Anoxic Fill / Aerobic สูงขึ้น ค่า % TKN removal: % BOD removal จะสูงขึ้นด้วยแสดงให้เห็นความสำคัญของช่วงระยะเวลา Anoxic ในการกำจัด TKN แต่การคาดคะเนโดยการคำนวณนั้นยังคงไม่สามารถทำได้เนื่องจากความไม่ชัดเจนของข้อมูลทาง Kinetics ดังนั้นจึงยังต้องพึ่งข้อมูลการทดสอบจากต้นแบบไปก่อน

### ตารางที่ 6.5 ผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR

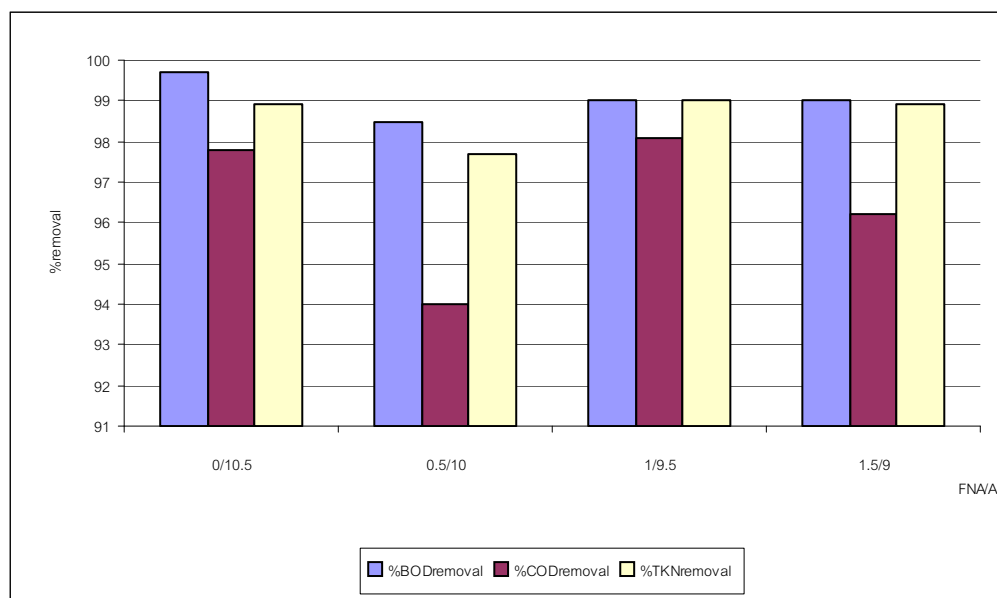
ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบ SBR

| Fill & react ratio | Elapse time (day) | BOD Influent (mg/l) | BOD Effluent (mg/l) | % Rem. | COD Influent (mg/l) | COD Effluent (mg/l) | % Rem. | TKN Influent (mg/l) | TKN Effluent (mg/l) | % Rem. |
|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|--------|
| 0/10.5             | 1                 | 765                 | 6                   | 99.0   | 1,337               | 33.5                | 96.2   | 142.1               | 1.5                 | 98.9   |
| 0.5/10             | 3                 | 510                 | 7.4                 | 98.5   | 848                 | 47.4                | 94.0   | 103.7               | 2.3                 | 97.7   |
| 1/9.5              | 1                 | 897                 | 2.8                 | 99.7   | 1,622               | 34.5                | 97.8   | 127.4               | 1.4                 | 98.9   |
| 1.5/9              | 1                 | 579                 | 5.8                 | 99.0   | 1,528               | 29.5                | 98.1   | 134.0               | 1.29                | 99.0   |

หมายเหตุ (1) Elapse time หมายถึง เวลาที่ผ่านไปหลังจากเปลี่ยนเงื่อนไขสัดส่วน Fill/react time

(2) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงเป็นค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการทดลองหลายชุด

(3) Rem. = Removal



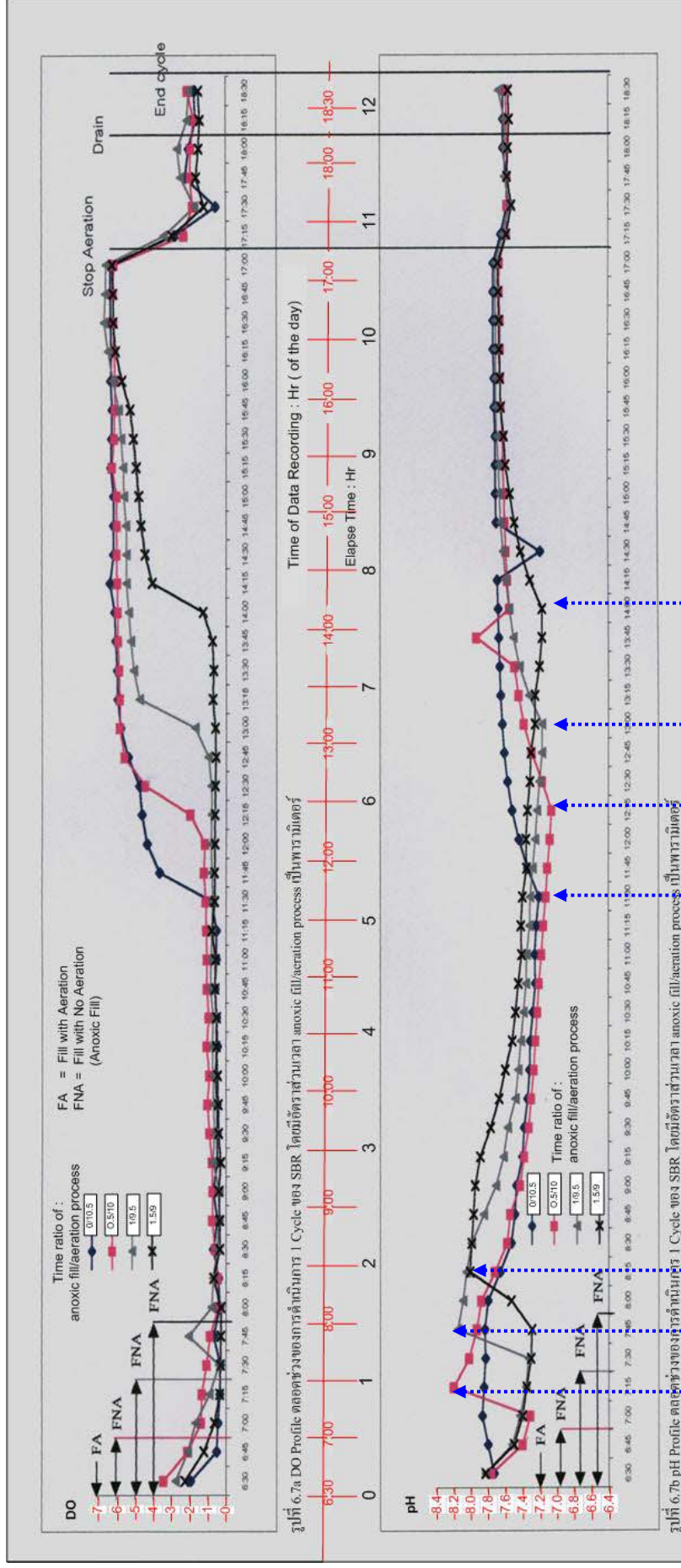
รูปที่ 6.6 ผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบ SBR

รูปที่ 6.7a และ 6.7b แสดงกราฟของค่า DO และ pH ตลอด Cycle ของการทดลองผลกระทบของ Sequence ของวงจรเวลาในระบบ SBR ต่อการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในระบบ SBR การวิเคราะห์ก็จะเป็นการทำนองเดียวกับที่ให้ไว้ในกรณีศึกษาที่ 6.5a และ 6.5b ที่ผ่านมาแล้ว โดยรูปที่ 6.6a และ 6.6b นี้จะแสดงผลช่วง Anoxic Fill เพิ่มเติมให้ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะผลของ pH ที่สูงขึ้นเนื่องจาก Denitrification โดย pH จะสูงขึ้นเหลื่อมเวลากันไปเริ่มจากพารามิเตอร์ตามลำดับดังนี้ 0/10.5, 0.5/10, 1.0/9.5, 1.5/9.0 ตามลำดับ

กราฟนี้ยังแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ที่เกิดตำแหน่งที่เรียกว่า “Nitrate Apex” (ในกราฟ pH-Time) หรือ “Nitrate Knee” (ในกราฟ ORP-Time) ซึ่งเป็นจุดที่เกิด Denitrification สมบูรณ์ [6] แต่ในที่นี้อาจเกิดความไม่สมบูรณ์อย่างเต็มที่ก็ได้ เนื่องจากการขาดการผสมระหว่างการเติมน้ำเสียเข้าระบบแบบไม่เติมอากาศ จึงเกิดการเลื่อน (Shifting) ของจุดดังกล่าวไปเป็นเวลานานไม่ต่ำกว่า 15 นาที หลังการเติมอากาศและเกิดการผสม สมบูรณ์

ส่วนระยะเวลาของการเติมอากาศนั้นยังมากเกินไป ตลอดช่วงของการทดลอง การลด ระยะเวลาเติมอากาศลงมา 1.5 ชม./Cycle หรือ 3 ชม./วัน ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ เลย ทราบว่าระยะเวลาเติมอากาศยังเพียงพอที่จะทำให้เกิด จุดที่เรียกว่า “Ammonia Valley” [7] อันเป็นจุดที่เกิด Nitrification สมบูรณ์ แล้วตามด้วย Saturated Oxygen Plateau

ดังนั้นอาจใช้จุด “Ammonia Valley” เป็นตำแหน่งเพื่อการควบคุมเวลาการเติมอากาศ เพื่อ เติมอากาศแต่พอเพียงเท่านั้น และอาจออกแบบควบคุมให้ Anoxic Phase ตรงกับช่วง Peak ของการใช้ไฟฟ้ามาก เพื่อหลบ Demand Charge ได้ เป็นการควบคุมค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อันเป็นหนึ่งในจุดเด่นของระบบเอสบีอาร์



Nitrate Apexes (ตรงกับ Nitrate Knees ใน ORP Profiles),  
 Points of the Completion of De-Nitrification, with mixing  
 affect shifts

Ammonia Valley  
 Points of the Completion of Nitrification  
 [6],[7]

### การทดลองที่ 5 ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR

ตัวแปร อัตราการไหลของอากาศ 4 ค่า

ค่าที่กำหนดคงที่ BOD<sub>in</sub>, BOD<sub>out</sub>, MLVSS, Cycle & Time, อัตราการไหล ( $\theta$ )

สิ่งที่ต้องการศึกษา ผลของ DO ในการทำงานของระบบ

จากการคำนวณพบว่าปริมาณอากาศที่ต้องการเท่ากับ  $0.48 \text{ m}^3/\text{min}$  โดยคณะผู้วิจัยโครงการได้เลือกใช้เครื่องเติมอากาศแบบ Air Blower ที่ให้ปริมาณอากาศเท่ากับ  $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$  ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงขึ้นกว่าการคำนวณ ในการทดลองจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าปริมาณการเติมอากาศไว้ 4 ค่าดังนี้คือ  $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  $0.48 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  $0.43 \text{ m}^3/\text{min}$  และ  $0.38 \text{ m}^3/\text{min}$  ดังแสดงในตารางที่ 6.6 รูปที่ 6.8 และรูปที่ 6.9

ตารางที่ 6.6 ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR

| Air flow rate | Elapse time (day) | BOD Influent (mg/l) | BOD Effluent (mg/l) | % Rem. | COD Influent (mg/l) | COD Effluent (mg/l) | % Rem. | TKN Influent (mg/l) | TKN Effluent (mg/l) | % Rem. |
|---------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|--------|
| 0.38          | 1                 | 846                 | 42.0                | 96.2   | 1,772               | 82.5                | 95.5   | 126.7               | 43.0                | 65.8   |
| 0.43          | 1                 | 453                 | 15.0                | 96.7   | 709                 | 70.0                | 90.1   | 75.3                | 46.4                | 37.9   |
| 0.48          | 1                 | 640                 | 4.0                 | 99.2   | 1,367               | 47                  | 95.6   | 112.1               | 2.2                 | 98.0   |
| 0.57          | 1                 | 651                 | 4.7                 | 99.2   | 1,360               | 34.2                | 97.0   | 114.7               | 1.7                 | 98.5   |

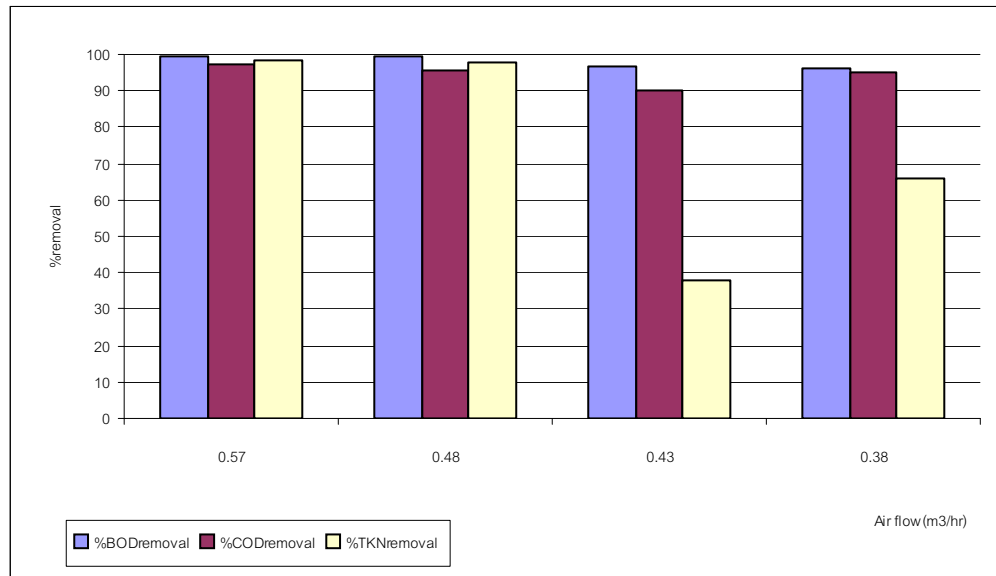
หมายเหตุ Elapse time หมายถึง เวลาที่ผ่านไปหลังจากเปลี่ยนเงื่อนไข Air flow rate

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงเป็นค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการทดลองหลายชุด

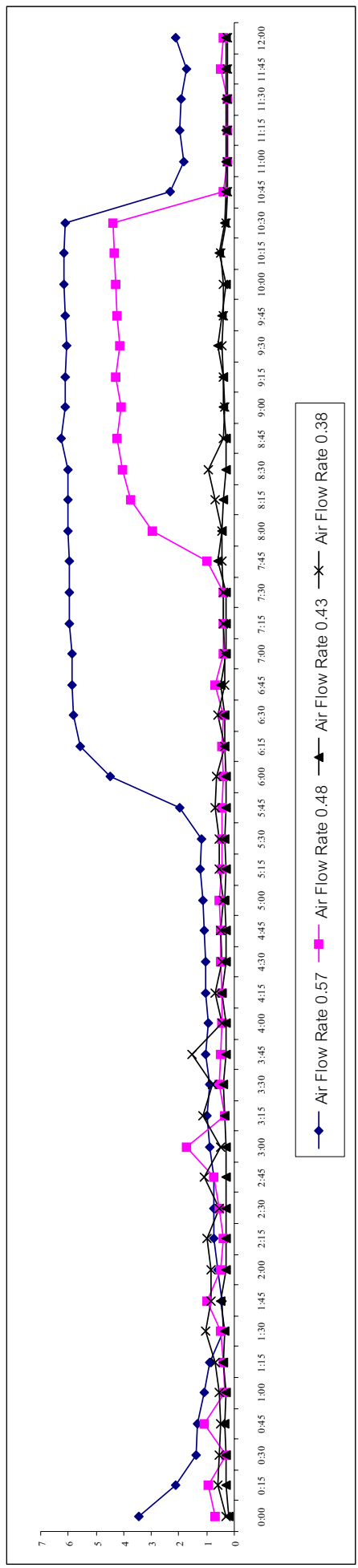
พบว่า ณ ปริมาณการเติมอากาศที่  $0.57$  และ  $0.48 \text{ m}^3/\text{min}$  ระบบยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารได้ดีโดยที่ปริมาณการเติมอากาศ  $0.48 \text{ m}^3/\text{min}$  ระบบใช้ระยะเวลาถึงชั่วโมงที่ 8 ของวัฏจักรการทำงานของระบบ ส่วนที่ปริมาณการเติมอากาศ  $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$  ระบบใช้ระยะเวลาถึงชั่วโมงที่ 6 ของวัฏจักรการทำงานของระบบ แสดงให้เห็นว่ายิ่งมีการเติมปริมาณของอากาศให้กับระบบมากขึ้นกว่าค่าคำนวณทางทฤษฎีทำให้ระบบใช้ระยะเวลาในการกำจัดสารอาหารน้อยลง

จากรูปที่ 6.9a กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลค่า DO ที่ Air flow rate ค่าต่างๆ ขณะที่ปริมาณการเติมอากาศที่  $0.43$  และ  $0.38 \text{ m}^3/\text{min}$  ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าการคำนวณในทางทฤษฎีพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหารต่ำลงเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ได้รับไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ ไม่มีสถานะที่เรียกว่า “Saturated Oxygen Plateau” เกิดขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลง โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในความสามารถในการกำจัด TKN ที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด

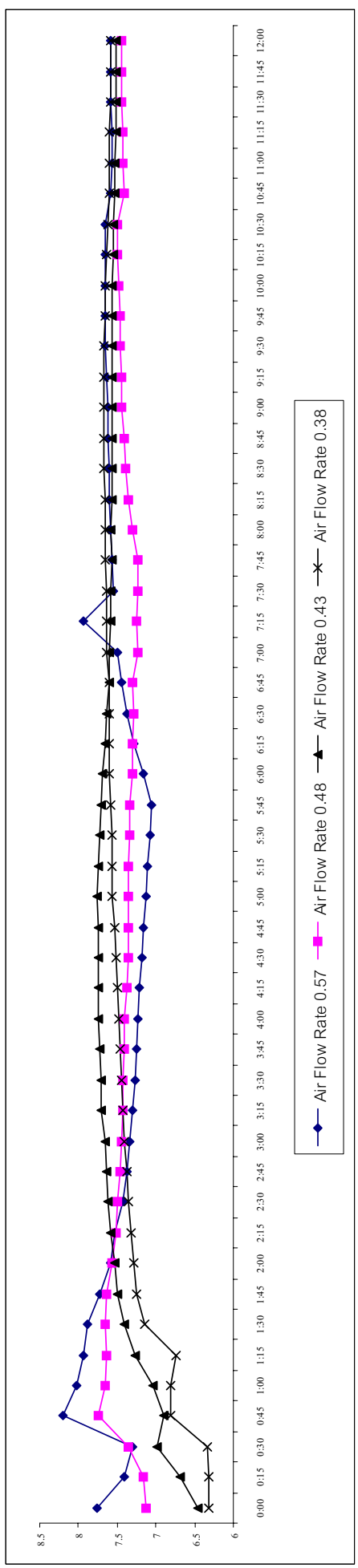
การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญในการบำบัดคือปริมาณอากาศที่เพียงพอเพื่อให้เกิดสถานะ Aerobic ที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์ในระบบใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงกลางของ Cycle



รูปที่ 6.8 ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR



รูปที่ 6.9a ค่า DO ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่อัตราการเติมอากาศต่างกัน



รูปที่ 6.9b ค่า pH ในถังปฏิกรณ์ SBR ตลอดระยะเวลา 1 Cycle ที่อัตราการเติมอากาศต่างกัน

## การทดลองที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยระบบ SBR แล้ว

### สภาวะการทดลอง

- (1) Dosing Pump สำหรับ Sodium Hypo Chlorite อัตราการไหล 1.7 ลิตร/ชม.
  - (2) อัตราการไหลของน้ำเสียที่บำบัดแล้วจาก Decanter 9,288 ลิตร/ชม.
  - (3) Sodium Hypo Chlorite ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ 5 g/100 ml = 50 g/l
  - (4) ปริมาณความเข้มข้นคลอรีนเริ่มต้นในน้ำเสีย = 9.44 ppm
- (คำนวณ ณ จุดเติม Sodium Hypo Chlorite)

จากการทดลองเติม Sodium Hypo Chlorite คิดเป็นความเข้มข้นของคลอรีน 9.44 ppm จะได้ปริมาณคลอรีนที่เหลืออยู่ภายหลัง 30 นาที เป็น 0.5 ppm ดังแสดงในตารางที่ 6.7 และสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้มากกว่า 97 % โดยลด BOD ลงได้อีก 55.5% ส่วน COD ลดลงอีก 8.7% ดังแสดงในตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 ปริมาณคลอรีนที่เหลืออยู่ภายหลังการเติม Sodium Hypo Chlorite

| ระยะเวลา(Exposure Time)(นาที) | ปริมาณคลอรีนที่วัดได้ (ppm) |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 0                             | >3                          |
| 5                             | 3                           |
| 10                            | 1.5                         |
| 15                            | 1.5                         |
| 20                            | 1                           |
| 25                            | 1                           |
| 30                            | 0.5                         |

ตารางที่ 6.8 การศึกษาประสิทธิภาพของคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยระบบ SBR แล้ว

| Parameter      | Unit   | Effluent ก่อนเติม $\text{Cl}_2$ | Effluent หลังเติม $\text{Cl}_2$ | % Reduction |
|----------------|--------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|
| BOD            | mg/l   | 11                              | 4.9                             | 55.5        |
| COD            | mg/l   | 115                             | 105                             | 8.7         |
| Total Bacteria | CFU/ml | 140,000                         | 4,000                           | 97.14       |

## บทที่ 7

### บทสรุป

คณะผู้วิจัย ได้เลือกการพัฒนาระบบ SBR ที่มีความสมบูรณ์แบบในตัว (Packaged system) เพื่อเป็นระบบ บำบัดน้ำเสีย สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมที่มีลักษณะน้ำเสียที่คล้ายคลึงกัน เพื่อจะได้สร้างเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ เพื่อถ่ายทอดให้อุตสาหกรรม การดำเนินการของงานวิจัยและพัฒนาเป็นแบบกึ่งประสบการณ์ (Semi-empirical approach) โดยเลือกอัตราการไหล และ ค่า BOD input ที่ต้องการแล้ว กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบอื่นได้แก่ ค่า F/M , MLVSS และกำหนดระยะเวลาของช่วงการทำงานต่างๆ (Sequence) ของ SBR ในช่วงที่เป็นค่าโดยทั่วไป (Typical) ซึ่งปฏิบัติกันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรม

ระบบที่ออกแบบและสร้าง จัดเป็นระดับต้นแบบ (Pilot Scale) คิดตั้งโดยได้รับความร่วมมือจาก โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ของบริษัทศรีสุทริกุลจำกัด (S.K. Foods Co.,Ltd.)

ซอยวัดนางสาว ถนนเศรษฐกิจ 1 กระทุ่มแบน สมุทรสาคร น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตปลาสดแช่แข็ง

กำหนดให้ระบบบำบัดอัตราการไหลของน้ำเสียได้ 5 ม<sup>3</sup>/วัน

โดยมีค่า BOD<sub>input</sub> (เฉลี่ย) 1,000 มก./ลิตร

และสามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามมาตรฐานน้ำทิ้งกรมโรงงาน

อุตสาหกรรมโดยเอาค่า BOD (BOD<sub>5</sub>) เป็นหลัก

BOD<sub>output</sub> จาก SBR 20 มก./ลิตร

คิดเป็นร้อยละของการกำจัดบีโอดี (BOD Removal) 98.0 %

### 7.1 สรุปพารามิเตอร์ที่เลือกในการออกแบบได้ดังนี้

#### 7.1.1 พารามิเตอร์ทางชีวภาพ (Biological Parameters)

F/M = 0.2

MLVSS = 4,000 มก./ลิตร

#### 7.1.2 พารามิเตอร์ของการดำเนินการระบบเอสบีอาร์ (SBR Operation Parameters)

Cycle = 2 cycle/วัน

โดยมีระยะ (Phase) ต่างๆดังนี้

(1) ให้ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) พร้อมเติมอากาศ เป็น 1 ชม.

(2) ให้ช่วงเติมอากาศ (Aeration) เป็น 9.5 ชม.

(3) ให้ช่วงหยุดเติมอากาศเพื่อตกตะกอน (Settling) เป็น 1.0 ชม.

(4) ให้ช่วงปล่อยน้ำเสียออก (Decanting) เป็น 0.5 ชม.

รวมจำนวน ชม.ต่อ 1 cycle เป็น 12 ชม.

ระยะเวลาของการเติมอากาศต่อ 1 วัน เป็น 21 ชม.

## 7.2 ในการวิจัยได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่อการทำงานของระบบ

ดังต่อไปนี้ คือ

(7.2.1) F/M ratio ในช่วง 0.13 – 0.36 คิดเป็น 65 % – 180 % ของค่าที่ออกแบบไว้

(7.2.2) BOD loading ในช่วง 2.5 – 5.77 kg/day คิดเป็น 50 % – 115 % ของค่าที่ออกแบบไว้

(7.2.3) อัตราส่วนเวลา (hr./hr.) Anoxic Fill/ Aeration: 0/10.5, 0.5/10, 1/9.5, 1.5/9

(7.2.4) DO โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) : 0.38 , 0.43 , 0.48 , 0.57

จากการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า ระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถรับการเปลี่ยนแปลงทั้ง F/M ratio , BOD loading และลักษณะของการเติมน้ำเสียคือ อัตราส่วนเวลา Anoxic Fill/ Aeration ได้ดี โดยยังสามารถคงประสิทธิภาพได้ตามที่ออกแบบ (BOD removal 98%) โดยจะต้องให้อากาศพอเพียงให้เกิด “Saturated Oxygen Plateau” ในช่วงการปลายของการบำบัดแบบใช้อากาศเท่านั้น

พบว่าต้องให้อากาศในอัตรา 0.48 – 0.57  $\text{m}^3/\text{min}$  นั้นเหมาะสมสำหรับระบบที่ทำการทดลอง โดยมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการออกแบบ

## 7.3 การออกแบบระบบและการขยายขนาด

การออกแบบระบบและการขยายขนาดเป็นแบบกึ่งเอมไพริคัล(Empirical) โดยใช้ข้อมูลเอมไพริคัล ได้แก่ค่า F/M , MLVSS , BOD loading , อัตราส่วนเวลา (hr./hr.) Anoxic Fill/ Aeration ที่ได้จากการทดลองนี้เป็นแนวทาง หรือ “Guide line” ร่วมกับสมการทางจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ (Cell Kinetic Model) สำหรับการออกแบบและการขยายขนาด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวการขยายขนาดจึงไม่ผูกติดกับค่าเอมไพริคัลเท่านั้น ดังนั้นโดยหลักการของการขยายขนาดจึงไม่ควรมีขีดจำกัดด้านสัดส่วนของการขยายขนาด(Scale- up Ratio)

พร้อมนี้ใน ภาควิชาค. ได้สาธิตการคำนวณและการประมาณราคาของระบบเอสบีอาร์ขนาด Scale- up Ratio 20 (10-200 เป็นตัวเลขที่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติ ที่เรียกว่า “Rules Of Thumb” [13]) หรือสำหรับน้ำเสีย 100 ลบ.ม. ต่อวัน ซึ่งสามารถใช้แนวทางเดียวกันเพื่อการขยายขนาดและประมาณราคาของระบบเอสบีอาร์ที่ใหญ่กว่านี้ได้โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองนี้ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวแล้ว

สำหรับขีดจำกัดของขนาดนั้น จะอยู่ที่

(3) การออกแบบระบบให้มีการกวนผสมที่ดี ซึ่งไม่ได้ศึกษาโดยละเอียดในงานวิจัยนี้

(4) ปริมาตรของถังรองรับน้ำเสีย (Equalization Tank) รอการป้อนเข้าสู่ระบบเอสบีอาร์

ในทางปฏิบัติที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์นั้น มักใช้ระบบเอสบีอาร์กับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดกลางและขนาดเล็ก ที่มีขนาดใหญ่ที่ใช้กันอยู่ประมาณ 1,000 ลบ.ม. ต่อวัน ต่อ 1 SBR Tank ดังนั้นหากน้ำเสียมียุทธศาสตร์มากกว่านี้มักนิยมออกแบบเป็นชุดขนาดกันไป (Parallel Modules)[10] ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในด้านขนาด อัตราการไหล และพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเอสบีอาร์ที่รวบรวมจากเอกสารอ้างอิงจำนวน 134 รายการ[1]

อย่างไรก็ดี มีรายงานการใช้งานสำหรับระบบเอสบีอาร์เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีขนาดใหญ่ ตามเอกสารอ้างอิง[2] สำหรับอัตราการไหล 320,000 ลบ.ม./วัน (Peak load 960,000  $\text{m}^3/\text{day}$ ) โดยใช้เอสบีอาร์จำนวน 24 ชุดขนาดกัน

- (5) หากเปรียบเทียบกับระบบตะกอนเร่งสำหรับน้ำเสียที่มีอัตราการไหลเท่ากัน มีข้อสรุปด้านราคา อันเนื่องมาจากการใช้ถังตกตะกอนเพิ่ม ทำให้ต้นทุนของระบบตะกอนเร่งจะมีค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นประมาณ 25%

โดยที่มีการใช้พลังงานไม่ต่างกันมากเพราะพลังงานหลักคือพลังงานในการเติมอากาศเพื่อกำจัด BOD แต่ระบบเอสบีอาร์จะมีข้อได้เปรียบที่สามารถปรับช่วงการเติมอากาศ ให้สอดคล้องกับการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอื่นในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด “Peak Load” ของพลังงานไฟฟ้า และทำให้ลดค่าไฟฟ้าอันเกิดจาก “Demand Charge” ได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mace, S. and J. Mata-Alvarez, “Utilization of SBR Technology for Wastewater Treatment: An Overview”, Ind.Eng. Chem. Res., 41, 5539-5553 (2002).
- [2] Slater, N., “Sequencing Batch Reactors : Cost Effective Wastewater Treatment”, presented at Alberta Water & Wastewater Operation, 32<sup>nd</sup> Annual Operators Seminar, Banff, Alberta, 16<sup>th</sup> March (2006)
- [3] นพดล เจียมสวัสดิ์, “การปรับปรุงระบบน้ำเสียของโรงงานผลิตปลากระป๋องโดยใช้ระบบบ่อหมักไร้อากาศร่วมกับระบบ SBR: กรณีศึกษา”, การประชุมโครงการทางวิศวกรรมเคมีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 , กรุงเทพมหานคร 11-12 ตุลาคม (2536)
- [4] วิมลศิริ ปริดาสวัสดิ์, ภูริวัฒน์ คงไถ่, วรากร เกิดทรัพย์, “ระบบบำบัดน้ำเสียอัตโนมัติแบบไม่ปล่อยน้ำทิ้งโดยใช้ระบบรวม SBR และบึงประดิษฐ์”, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี (2539)
- [5] การันย์ ชันแดง, บุญเลิศ ชูเกียรติธำรงค์, พงศ์รัตน์ สุทธิธรรม, “ การพัฒนาระบบอัลตราฟิเตรชันสำหรับน้ำที่บำบัดแล้วจากระบบเอสบีอาร์”, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี (2542)
- [6]Montse, R.,J. Colomer, J. Colprim and J. Melendez, “Situation assessment in a SBR Wastewater Treatment Process Using Qualitative Trends”,Recent Advances in Artificial Intelligent Research and Development,J. Vitria et.al. (Editors),IOs Press (2004)
- [7] Peng, Y.Z., J.F. Gao., S.Y. Wang and M.H. Sui, “Use of pH as Fuzzy Control Parameter for Nitrification under Different Alkalinity in SBR Process”, Water Sci. Technol.,47 (11),77-84 (2003)
- [8] Peng, Y.Z., J.F. Gao., S.Y. Wang and M.H. Sui, “Use of pH and ORP as Fuzzy Control Parameters of Dinitrification in SBR Process”, Water Sci. Technol.,46 (4-5),131-137(2002)
- [9] Choi, S. K., and Y. J. Yoo, “Removal of Phosphate in a Sequencing Batch Reactor by Staphylococcus auricularis”, Biotechnology Letters, 22 : 1549-1552 (2000)
- [10] ECO EQUIPMENT INC. , Commercial Catalog and Document
- [11] Metcalf and Eddy, Inc. , “ Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal ”, McGraw-Hill Book Company, New York (1972)
- [13]Sandler H.J. and E.T. Luckiewicz, “Practical Process Engineering: A working Approach to Plant Design”, McGraw -Hill Book Company (1987)

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก : ข้อมูลการทดลอง

## ตาราง ก.1 ข้อมูลการวิเคราะห์เทียบค่า (Calibration)

(จากการทดลองจริงในระบบเอสปีอาร์คันแบบ)

| วัน / เดือน / ปี | MLVSS (mg/l) | SV <sub>30</sub> | SVI |
|------------------|--------------|------------------|-----|
| 21/10/46         | 2160         | 250              | 116 |
| 22/10/46         | 2173         | 250              | 115 |
| 22/10/46         | 2080         | 230              | 111 |
| 23/10/46         | 2590         | 250              | 97  |
| 25/10/46         | 2160         | 240              | 111 |
| 26/10/46         | 2333         | 250              | 107 |
| 27/10/46         | 2220         | 250              | 113 |
| 28/10/46         | 2700         | 270              | 100 |
| 28/10/46         | 2885         | 270              | 94  |
| 29/10/46         | 1734         | 200              | 115 |
| 29/10/46         | 2422         | 250              | 103 |
| 30/10/46         | 2246         | 250              | 111 |
| 30/10/46         | 2415         | 270              | 112 |
| 31/10/46         | 3148         | 290              | 92  |
| 31/10/46         | 2620         | 270              | 103 |
| 5/11/46          | 2980         | 300              | 101 |
| 5/11/46          | 3850         | 350              | 91  |
| 6/11/46          | 3740         | 350              | 94  |
| 6/11/46          | 4140         | 370              | 89  |
| 10/11/46         | 2860         | 300              | 105 |
| 11/11/46         | 3610         | 350              | 97  |
| 11/11/46         | 1373         | 200              | 146 |
| 12/11/46         | 2550         | 250              | 98  |
| 12/11/46         | 3106         | 350              | 113 |
| 13/11/46         | 3584         | 350              | 98  |
| 13/11/46         | 3359         | 350              | 104 |

## ก.2 การทดลองที่ 2 ผลกระทบของ F/M ratio ต่อการทำงานของระบบ SBR

### ตารางที่ ก.2.1 การทดลองที่ 2.1

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 2.5   | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,080 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 343      | 4.3      | 98.7      |
| COD        | 697      | 34       | 95.1      |
| SS         | 77       | 8        | 89.6      |
| TKN        | 74.2     | 2.45     | 96.7      |
| Oil&Grease | 8.7      | 0.2      | 97.7      |
| Phosphorus | 4.19     | 8.53     | -         |
| pH         | 7.22     | 7.43     | -         |

### ตารางที่ ก.2.2 การทดลองที่ 2.2

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 2.5   | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,160 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 851      | 13       | 98.5      |
| COD        | 1283     | 67       | 94.8      |
| SS         | 276      | 20       | 92.8      |
| TKN        | 143.36   | 3.27     | 97.7      |
| Oil&Grease | 66       | 2.6      | 96.1      |
| Phosphorus | 8.34     | 7.76     | 7         |
| pH         | 7.11     | 8.12     | -         |

ตารางที่ ก.2.3 การทดลองที่ 2.3

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 2.5   | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,173 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 383      | 6        | 98.4      |
| COD        | 566      | 57       | 89.9      |
| SS         | 102      | 3        | 97.1      |
| TKN        | 86.1     | 2.31     | 97.3      |
| Oil&Grease | 19.3     | 0.2      | 99.0      |
| Phosphorus | 4.07     | 9.5      | -         |
| pH         | 7.33     | 7.93     | -         |

ตารางที่ ก.2.4 การทดลองที่ 2.4

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 2.5   | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,590 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 423      | 7.7      | 98.2      |
| COD        | 710      | 40       | 94.4      |
| SS         | 62       | 3        | 95.2      |
| TKN        | 100.1    | 1.75     | 98.3      |
| Oil&Grease | 12       | 0.2      | 98.3      |
| Phosphorus | 8.38     | 7.68     | -         |
| pH         | 7.13     | 7.55     | -         |

ตารางที่ ก.2.5 การทดลองที่ 2.5

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,160 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 360      | 16       | 95.6      |
| COD        | 526      | 47       | 91.1      |
| SS         | 67       | 40       | 40.3      |
| TKN        | 80.5     | 1.75     | 97.8      |
| Oil&Grease | 11.5     | 1.75     | 84.8      |
| Phosphorus | 4.19     | 10.71    | -         |
| pH         | 6.7      | 7.47     | -         |

ตารางที่ ก.2.6 การทดลองที่ 2.6

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,220 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 495      | 7.6      | 98.5      |
| COD        | 883      | 72       | 91.8      |
| SS         | 109      | 7        | 93.6      |
| TKN        | 103.6    | 1.47     | 98.6      |
| Oil&Grease | 20       | <0.2     | 99.0      |
| Phosphorus | 6.52     | 6.98     | -         |
| pH         | 6.63     | 7.35     | -         |

ตารางที่ ก.2.7 การทดลองที่ 2.7

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,333 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 451      | 5.5      | 98.8      |
| COD        | 620      | 49       | 92.1      |
| SS         | 44       | 1        | 97.7      |
| TKN        | 92.4     | 1.4      | 98.5      |
| Oil&Grease | 16.7     | <0.2     | 98.8      |
| Phosphorus | 8.15     | 7.76     | -         |
| pH         | 6.67     | 7.28     | -         |

ตารางที่ ก.2.8 การทดลองที่ 2.8

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,700 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 559      | 5.8      | 99.0      |
| COD        | 939      | 49       | 94.8      |
| SS         | 198      | 5        | 97.5      |
| TKN        | 104.3    | 1.26     | 98.8      |
| Oil&Grease | 36       | <0.2     | 99.4      |
| Phosphorus | 6.9      | 8.22     | -         |
| pH         | 6.71     | 7.28     | -         |

ตารางที่ ก.2.9 การทดลองที่ 2.9

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,860 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 559      | 5.9      | 98.9      |
| COD        | 1019     | 37       | 96.4      |
| SS         | 238      | 15       | 93.7      |
| TKN        | 117.6    | 1.4      | 98.8      |
| Oil&Grease | 54.7     | 0.6      | 98.9      |
| Phosphorus | 10.47    | 9.7      | -         |
| pH         | 7.01     | 7.44     | -         |

ตารางที่ ก.2.10 การทดลองที่ 2.10

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,885 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 500      | 7.8      | 98.4      |
| COD        | 1146     | 36       | 96.9      |
| SS         | 198      | 6        | 97.0      |
| TKN        | 103.6    | 1.75     | 98.3      |
| Oil&Grease | 29       | <0.2     | 99.3      |
| Phosphorus | 8.61     | 8.61     | -         |
| pH         | 6.22     | 7.26     | -         |

### ก.3 การทดลองที่ 3 ผลกระทบของ BOD loading ต่อการทำงานของระบบ SBR

ตารางที่ ก.3.1 การทดลองที่ 3.1

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 3     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 3,850 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 554      | 6.1      | 98.9      |
| COD        | 822      | 41       | 95.0      |
| SS         | 251      | 5        | 98.0      |
| TKN        | 98       | 1.68     | 98.3      |
| Oil&Grease | 24       | 0.2      | 99.2      |
| Phosphorus | 9.47     | 11.04    | -         |
| pH         | 6.44     | 7.11     | -         |

ตารางที่ ก.3.2 การทดลองที่ 3.2

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 3     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,980 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 662      | 4.1      | 99.4      |
| COD        | 1442     | 30       | 97.9      |
| SS         | 134      | 6        | 95.5      |
| TKN        | 92.4     | 1.74     | 98.1      |
| Oil&Grease | 24       | 0.2      | 99.2      |
| Phosphorus | 9.93     | 11.25    | -         |
| pH         | 6.32     | 7.0      | -         |

หมายเหตุ : ผลในแถวที่ 2 ของตารางที่ 6.4 เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุดของ ตารางที่ ก.3.1 และ ก.3.2

**ตารางที่ ก.3.3 การทดลองที่ 3.3**

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 4     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 3,740 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 603      | 3.9      | 99.4      |
| COD        | 1,462    | 34       | 97.7      |
| SS         | 296      | 5        | 98.3      |
| TKN        | 112      | 1.68     | 98.5      |
| Oil&Grease | 78       | 0.2      | 99.7      |
| Phosphorus | 10.63    | 10.63    | -         |
| pH         | 6.41     | 7.08     | -         |

**ตารางที่ ก.3.4 การทดลองที่ 3.4**

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 4     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 4,140 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 838      | 3.1      | 99.6      |
| COD        | 1746     | 24       | 98.6      |
| SS         | 620      | 9        | 98.5      |
| TKN        | 140      | 1.68     | 98.8      |
| Oil&Grease | 46.7     | 0.2      | 99.6      |
| Phosphorus | 11.64    | 11.02    | -         |
| pH         | 6.42     | 7.05     | -         |

หมายเหตุ :

- (1) ผลในแถวที่ 3 ของตารางที่ 6.4 เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 2 ชุดของ ตารางที่ ก.3.3 และ ก.3.4
- (2) ผลในแถวที่ 4 ของตารางที่ 6.4 เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูล 6 ชุดของ ตารางที่ ก.2.5/ ก.2.6/ก.2.7/ก.2.8/ ก.2.5.9และ ก.2.10

#### ก.4 การทดลองที่ 4 Sequence ของวงจรในระบบ SBR ต่อการกำจัดไนโตรเจน

##### ตารางที่ ก.4.1 การทดลองที่ 4.1

|                    |        |               |
|--------------------|--------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5      | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57   | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 3,148  | mg/l          |
| Fill/react         | 0/10.5 |               |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 485      | 7.2      | 98.5      |
| COD        | 617      | 39       | 93.7      |
| SS         | 98       | 19       | 80.6      |
| TKN        | 114.8    | 1.68     | 98.5      |
| Oil&Grease | 13       | 0.2      | 98.5      |
| Phosphorus | 6.59     | 7.92     | -         |
| pH         | 6.76     | 7.30     | -         |

##### ตารางที่ ก.4.2 การทดลองที่ 4.2

|                    |        |               |
|--------------------|--------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5      | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57   | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,620  | mg/l          |
| Fill/react         | 0/10.5 |               |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 1044     | 4.8      | 99.5      |
| COD        | 2056     | 28       | 98.6      |
| SS         | 478      | 5        | 99.0      |
| TKN        | 169.4    | 1.4      | 99.2      |
| Oil&Grease | 125.3    | 0.2      | 99.8      |
| Phosphorus | 10.09    | 8.61     | -         |
| pH         | 6.64     | 7.35     | -         |

#### ตารางที่ ก.4.3 การทดลองที่ 4.3

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,422 | mg/l          |
| Fill/react         | 1/9.5 |               |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 750      | 4.4      | 99.4      |
| COD        | 1704     | 28       | 98.4      |
| SS         | 290      | 10       | 96.6      |
| TKN        | 128.8    | 1.4      | 98.9      |
| Oil&Grease | 69.3     | 0.2      | 99.7      |
| Phosphorus | 14.2     | 9.54     | 32.8      |
| pH         | 6.75     | 7.36     | -         |

#### ตารางที่ ก.4.4 การทดลองที่ 4.4

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 1,732 | mg/l          |
| Fill/react         | 1/9.5 |               |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 1044     | 1.1      | 99.9      |
| COD        | 1540     | 41       | 97.3      |
| SS         | 288      | 5        | 98.3      |
| TKN        | 126      | 1.4      | 98.9      |
| Oil&Grease | 62       | 0.2      | 99.7      |
| Phosphorus | 9.93     | 7.21     | -         |
| pH         | 6.43     | 7.42     | -         |

#### ตารางที่ ก.4.5 การทดลองที่ 4.5

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,246 | mg/l          |
| Fill/react         | 1.5/9 |               |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 500      | 5.6      | 98.9      |
| COD        | 1426     | 26       | 98.2      |
| SS         | 336      | 8        | 97.6      |
| TKN        | 144.2    | 1.57     | 98.9      |
| Oil&Grease | 65.3     | 0.3      | 99.5      |
| Phosphorus | 11.02    | 9.15     | 17        |
| pH         | 6.67     | 7.23     | -         |

#### ตารางที่ ก.4.6 การทดลองที่ 4.6

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.57  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,415 | mg/l          |
| Fill/react         | 1.5/9 |               |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 657      | 5.9      | 99.1      |
| COD        | 1630     | 33       | 98.0      |
| SS         | 572      | 7        | 98.8      |
| TKN        | 123.8    | 1.01     | 99.2      |
| Oil&Grease | 54       | 0.2      | 99.6      |
| Phosphorus | 11.72    | 7.76     | -         |
| pH         | 7.25     | 7.25     | -         |

หมายเหตุ สำหรับการทดลอง Sequence ของวงจรในระบบ SBR ต่อการกำจัดไนโตรเจนที่ Fill/react 0.5/10 ใช้ข้อมูลของการทดลองที่ 1.1 ถึง 1.6 มาเฉลี่ย

### ภาคผนวกที่ ก.5: ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR

#### ตารางที่ ก.5.1 การทดลองที่ 5.1

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.38  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 3,106 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 1176     | 79       | 93.3      |
| COD        | 2680     | 120      | 95.5      |
| SS         | 728      | 54       | 92.6      |
| TKN        | 149.8    | 49       | 67.3      |
| Oil&Grease | 333      | 8.8      | 97.4      |
| Phosphorus | 8.15     | 9.85     | -         |
| pH         | 7.06     | 7.63     | -         |

#### ตารางที่ ก.5.2 การทดลองที่ 5.2

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.38  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 2,550 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 515      | 4.9      | 99.0      |
| COD        | 864      | 45       | 94.8      |
| SS         | 272      | 272      | 84.2      |
| TKN        | 103.6    | 37.0     | 64.3      |
| Oil&Grease | 57.3     | 0.7      | 98.8      |
| Phosphorus | 8.84     | 10.76    | -         |
| pH         | 7.03     | 7.57     | -         |

**ตารางที่ ก.5.3 การทดลองที่ 5.3**

อัตราไหลของน้ำเสีย      5      ลบ.เมตร/cycle

Oxygen requirement      0.43      ลบ.เมตร/นาที่

MLVSS      3,359      mg/l

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 471      | 15       | 96.8      |
| COD        | 706      | 72       | 89.8      |
| SS         | 103      | 16       | 84.5      |
| TKN        | 66.5     | 43.68    | 34.3      |
| Oil&Grease | 22       | 0.2      | 99.1      |
| Phosphorus | 5.35     | 6.09     | -         |
| pH         | 7.14     | 7.78     | -         |

**ตารางที่ ก.5.4 การทดลองที่ 5.4**

อัตราไหลของน้ำเสีย      5      ลบ.เมตร/cycle

Oxygen requirement      0.43      ลบ.เมตร/นาที่

MLVSS      3,584      mg/l

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 434      | 15       | 96.5      |
| COD        | 712      | 68       | 90.4      |
| SS         | 204      | 22       | 89.2      |
| TKN        | 84       | 49.11    | 41.5      |
| Oil&Grease | 34       | 0.2      | 99.4      |
| Phosphorus | 5.82     | 7.29     | -         |
| pH         | 7.12     | 7.7      | -         |

**ตารางที่ ก.5.5 การทดลองที่ 5.5**

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.48  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 1,373 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 912      | 3.5      | 99.6      |
| COD        | 2008     | 47       | 97.7      |
| SS         | 552      | 5        | 99.1      |
| TKN        | 135.8    | 2.8      | 97.9      |
| Oil&Grease | 155.3    | 0.7      | 99.5      |
| Phosphorus | 9.7      | 8.61     | 11.2      |
| pH         | 7.03     | 7.44     | -         |

**ตารางที่ ก.5.6: การทดลองที่ 5.6**

|                    |       |               |
|--------------------|-------|---------------|
| อัตราไหลของน้ำเสีย | 5     | ลบ.เมตร/cycle |
| Oxygen requirement | 0.48  | ลบ.เมตร/นาที่ |
| MLVSS              | 3,610 | mg/l          |

| Parameter  | Influent | Effluent | % Removal |
|------------|----------|----------|-----------|
| BOD        | 368      | 4.4      | 98.8      |
| COD        | 725      | 47       | 93.5      |
| SS         | 366      | 6        | 98.4      |
| TKN        | 88.5     | 1.68     | 98.1      |
| Oil&Grease | 58.7     | 0.2      | 99.7      |
| Phosphorus | 7.92     | 7.37     | -         |
| pH         | 7.09     | 7.57     | -         |

หมายเหตุ สำหรับการทดลอง ผลกระทบของ DO ต่อการทำงานของระบบ SBR ที่ Oxygen requirement 0.57 ลบ.เมตร/นาที่ ใช้ข้อมูลของการทดลองที่ 1.1 ถึง 1.6 มาเฉลี่ย

**ภาคผนวกที่ ก.6: การเติมคลอรีน (สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 5%) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสบีอาร์**

**ตารางที่ ก.6.1 การทดลองผลของคลอรีนต่อคุณสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสบีอาร์**

| Parameter      | Unit   | Effluent ก่อนเติม $\text{Cl}_2$ | Effluent หลังเติม $\text{Cl}_2$ |
|----------------|--------|---------------------------------|---------------------------------|
| BOD            | mg/l   | 11                              | 4.9                             |
| COD            | mg/l   | 115                             | 105                             |
| Total Bacteria | CFU/ml | 140,000                         | 4,000                           |

**ตารางที่ ก.6.2 ปริมาณคลอรีนที่คงค้าง (Residue Chlorine) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสบีอาร์**

| ระยะเวลาเก็บกัก (นาทีก) | ปริมาณคลอรีนที่วัดได้ (ppm) |
|-------------------------|-----------------------------|
| 0                       | >3                          |
| 5                       | 3                           |
| 10                      | 1.5                         |
| 15                      | 1.5                         |
| 20                      | 1                           |
| 25                      | 1                           |
| 30                      | 0.5                         |

**ภาคผนวกที่ ก.7 : การถ่ายตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอสปีอาร์ออก (Wasted Sludge)**

**ตารางที่ ก.7.1 ตารางการถ่ายตะกอนจุลินทรีย์ออก**

| วัน/เดือน/ปี | ก่อน(mg/l) | หลัง(mg/l) |
|--------------|------------|------------|
| 29/10/46     | 2,885      | 1,734      |
| 10/11/46     | 4,140      | 2,860      |
| 11/12/46     | 3,610      | 1,373      |

**หมายเหตุ**

ปริมาณ MLVSS เริ่มต้นก่อนถ่ายตะกอนออกอาศัยค่า MLVSS ของการทดลองก่อนหน้านี้

และการถ่ายตะกอนแต่ละครั้งพิจารณาจากความหนาแน่นของตะกอนในระบบ SBR และปริมาณจากการพิจารณาในอิมฮอฟโคน (Imhoff Cone)

## ภาคผนวก ข . คู่มือการออกแบบระบบเอสบีอาร์

### ข.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบ

ประเภทของน้ำเสีย \_\_\_\_\_

อัตราการไหลของน้ำเสียได้  $F_{inf}$   $m^3/วัน$

ค่า  $BOD_{input}$  -----  $mg./ลิตร$

และสามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามมาตรฐานน้ำทิ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรม

โดยเอาค่า  $BOD (BOD_5)$  เป็นหลัก

$BOD_{output}$  จาก SBR 20  $mg./ลิตร$

### ข.3 พารามิเตอร์ที่เลือกในการออกแบบ (แนวคิดจากเอกสารอ้างอิง [3] และ[10])

#### ข.3.1 พารามิเตอร์ทางชีวภาพ (Biological Parameters)

มีข้อเสนอแนะค่าพารามิเตอร์เพื่อการออกแบบไว้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบ (นำมาจากบทที่ 6)

| ค่าพารามิเตอร์<br>ในการออกแบบระบบ<br>SBR | F/M ratio<br>$Day^{-1}$ | Volumetric Loading<br>$Kg BOD_5/m^3 Day$ | MLVSS<br>$mg/L$ | Retention<br>Time<br>Hr. | BOD<br>Removal<br>Eff. % |
|------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| ค่าที่ใช้ในโครงการนี้<br>ตามการออกแบบ    | 0.2                     | 0.80                                     | 4,000           | 30                       | 98.0%                    |
| ค่าที่แนะนำโดย<br>Metcalf&Eddy           | 0.05-0.30               | 0.08-0.24                                | 1,500-5,000     | 12-50                    | 85-95                    |

#### ข.3.2 พารามิเตอร์ของการดำเนินการระบบเอสบีอาร์ (SBR Operation Parameters)

(โดยที่ช่วงต่างๆของ Cycle ในการทดลองจริงอาจปรับเปลี่ยนให้ต่างไปจากที่  
Pre-designed ได้)(เอกสารอ้างอิง [3],[10])

Cycle = 2 - 4 cycle/วัน

โดยมีระยะ (Phase) ต่างๆต่อ 1 cycle ดังนี้ (อาจปรับได้บ้างตามความเหมาะสม)

- |                                                      |    |    |
|------------------------------------------------------|----|----|
| (1) ให้ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill)                        | 5  | %  |
| (2) ให้ช่วงเติมอากาศ (Aeration) เป็น                 | 60 | %. |
| (3) ให้ช่วงหยุดเติมอากาศเพื่อตกตะกอน (Settling) เป็น | 20 | %  |
| (4) ให้ช่วงปล่อยน้ำเสียออก (Decanting) เป็น          | 15 | %  |

|                                       |       |     |
|---------------------------------------|-------|-----|
| รวมจำนวน ชม.ต่อ 1 cycle เป็น          | ----- | ชม. |
| ระยะเวลาของการเติมอากาศต่อ 1 วัน เป็น | ----- | ชม. |

### ข.3.3 แผนผังกระบวนการทำงานของระบบเอสบีอาร์

กระบวนการทำงานของระบบเอสบีอาร์เป็นไปตามรูปที่ 1.1

### ข.3.4 การคำนวณ

#### ข.3.4.1 การคำนวณการใช้อากาศและการกำหนดขนาดเครื่องเติมอากาศ

$$\begin{aligned}
 \text{ภาระบรรทุก บีโอดี (BOD Loading) สำหรับ SBR} &= F_{\text{Inf}} \times \text{BOD}_{\text{input}} / 1000 && \text{กก./วัน} \\
 \text{ความต้องการออกซิเจนต่อวัน} &= (\text{BOD}_{\text{input}} - \text{BOD}_{\text{output}}) \times 1.5 \times F_{\text{Inf}} / 1000 && \text{กก./วัน} \\
 \text{ความต้องการออกซิเจนต่อชั่วโมง} &= \text{ความต้องการออกซิเจนต่อวัน} / \text{เวลารวมของการเติมอากาศต่อวัน} && \text{กก./ชม.} \\
 &= \text{AOR; Actual oxygen requirement} && \text{กก./ชม.}
 \end{aligned}$$

$$\text{AOR/SOR} = \alpha(1.024)^{T-20} \{\beta C_s - C\} / C_{se} \quad (2.17)$$

โดยที่ SOR = Standard Oxygen Requirement (1 atm, 20 °C)

$$\alpha = 0.8 \quad \beta = 0.9$$

$$T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad C = 2.0 \text{ มก./ลิตร}$$

$$C_s = 7.7 \text{ มก./ลิตร} \quad C_{se} = 9.1 \text{ มก./ลิตร}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \text{AOR / SOR} = 0.8 (1.024)^{30-20} \{0.9 \times 7.7 - 2.0\} / 9.1$$

$$\text{AOR / SOR} = 0.549$$

$$\text{SOR} = \text{AOR} / 0.549 \text{ กก./ชม.}$$

$$\text{ใช้ Safety Factor} = 1.25 \text{ (Suggested)}$$

$$\text{ดังนั้น SOR as designed} = (\text{AOR} / 0.549) \times 1.25 \quad \text{กก./ชม.}$$

การเลือกเครื่องเติมอากาศ :

เลือก Air blower / diffuser

$$\text{ให้ air density at standard condition (1 atm , 20 }^{\circ}\text{C)} = 1.20 \quad \text{กก./ม}^3$$

องค์ประกอบของออกซิเจนในอากาศคิดเป็น 21% โดยปริมาตร หรือ 23.32% / โดยน้ำหนัก

ให้ออกซิเจน ที่ถ่ายผ่านเข้าไปในน้ำได้เป็น 10 % โดยปริมาตร

ดังนั้น SCFM ของอากาศที่ต้องการเป็น (SCFM = Standard Cubic Feet Per Minute)

$$\frac{(AOR/0.549) \times 1.25 \text{ กก./ชม.} \times 35.31 \text{ ฟุต}^3/\text{ม.}^3 \times 100}{1.2 \text{ กก. อากาศ/ม.}^3 \times 0.2332 \times 60 \text{ นาที/ชม.} \times 10}$$

ใช้เครื่องเติมอากาศแบบ Blower ความดันไม่ต่ำกว่า 5 เมตรน้ำ

#### ข.3.4.2 การคำนวณขนาดของถังเติมอากาศแบบเอสบีอาร์

$$F/M = \text{BOD input}/(\theta_c \times \text{MLVSS}) \quad (2.18)$$

$$\text{แต่ } \theta_c = V_r / F_{\text{Inf}} \quad (2.19)$$

$$\text{ดังนั้น } F/M = \text{BOD input}/[(V_r / F_{\text{Inf}}) \times \text{MLVSS}] \quad (2.20)$$

$$\text{เมื่อ } F/M = \text{น้ำหนักของ BOD input/น้ำหนักของ MLVSS-เวลา}$$

$$\theta_c = \text{เวลาที่น้ำทิ้งอยู่ในถังปฏิกรณ์เรียกว่า hydraulic retention time หรือ HRT}$$

$$V_r = \text{ปริมาตรน้ำในถังปฏิกรณ์}$$

#### ข.3.4.3 การคำนวณขนาดของถังย่อยตะกอน

$$\text{ปริมาณตะกอน(กรัม/วัน)} = \text{yield} (\text{BOD}_{\text{input}} - \text{BOD}_{\text{output}}) \times F_{\text{Inf}} \quad (2.21)$$

$$\text{ปริมาตรของถังย่อยตะกอน (ม}^3\text{)} = \text{ปริมาณตะกอน (กรัม/วัน)} \times (1000/10000) \times \text{HRT (วัน)} \quad (2.22)$$

(กำหนดให้ Wasted sludge concentration = 10,000 mg/L)

## ภาคผนวก ค. ตัวอย่างในการขยายขนาด (Scale – up) ระบบเอสบีอาร์

เพื่อให้เกิดประโยชน์จริงต่ออุตสาหกรรม จึงได้ทำการขนาดระบบไปสู่ขนาดที่สามารถรองรับน้ำเสียได้ 100 ลบม./วัน ที่ BOD ขาเข้า 1,000 มก./ลิตร และคิดค่าต้นทุนของระบบ รวมทั้ง Capital cost และค่าดำเนินการต่อหน่วยน้ำเสียที่บำบัด ดังรายการสรุปต่อไปนี้

### ค.1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

กำหนดให้ระบบบำบัดอัตราการไหลได้ 100 m<sup>3</sup>/day

|                       |       |          |
|-----------------------|-------|----------|
| BOD <sub>input</sub>  | 1,000 | มก./ลิตร |
| BOD <sub>output</sub> | 20    | มก./ลิตร |

### ค.2 พารามิเตอร์ที่เลือกในการออกแบบ

|       |   |                |
|-------|---|----------------|
| F/M   | = | 0.2            |
| MLVSS |   | 4,000 มก./ลิตร |
| Cycle |   | 2 cycle/วัน    |

### ค.3 ระบบ SBR operation sequences

|                                                  |     |     |
|--------------------------------------------------|-----|-----|
| ให้ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) พร้อมเติมอากาศเป็น     | 1   | ชม. |
| ให้ช่วงเติมอากาศ (Aeration)                      | 9.5 | ชม. |
| ให้ช่วงหยุดเติมอากาศเพื่อตกตะกอน (Settling) เป็น | 1.0 | ชม. |
| ปล่อยน้ำเสียออก (Decanting) เป็น                 | 0.5 | ชม. |
| รวมจำนวน ชม.ต่อ 1 cycle เป็น                     | 12  | ชม. |
| ระยะเวลาของการเติมอากาศต่อ 1 วัน เป็น            | 21  | ชม. |

|                                                      |     |         |
|------------------------------------------------------|-----|---------|
| BOD loading สำหรับ SBR = (1,000x100)/1,000=          | 100 | กก./วัน |
| ความต้องการออกซิเจน = (1,000-20) x 1.5 x 100/1,000 = | 147 | กก./วัน |
| ความต้องการออกซิเจน/ชม. = 147/21 =                   | 7   | กก./วัน |
| AOR ; Actual oxygen requirement =                    | 7   | กก./วัน |

$$\text{AOR/SOR} = \alpha(1.024)^{T-20} \{ \beta C_s - C \} / C_{sc} \quad (2.17)$$

โดยที่  $\alpha = 0.8$                        $\beta = 0.9$

$T = 30^{\circ}\text{C}$                        $C = 2.0$  มก./ลิตร

$C_s = 7.7$  มก./ลิตร       $C_{sc} = 9.1$  มก./ลิตร

$$\text{ดังนั้น } 7 / \text{SOR} = 0.8 (1.024)^{30-20} \{0.9 \times 7.7 - 2.0\} / 9.1$$

$$7 / \text{SOR} = 0.549$$

$$\text{SOR} = 12.741 \text{ กก./ชม.}$$

$$\text{ใช้ Safety Factor} = 1.25$$

$$\text{ดังนั้น SOR as designed} = 12.741 \times 1.25 = 15.926 \text{ กก./ชม.}$$

การเลือกเครื่องเติมอากาศ : เลือก Air blower / diffuser

$$\text{ให้ air density at standard condition (1 atm , 20 } ^\circ\text{C )} = 1.20 \text{ กก./ม}^3$$

องค์ประกอบของออกซิเจนในอากาศคิดเป็น 21% โดยปริมาตร หรือ 23.32 % โดยน้ำหนัก

ให้ออกซิเจน ที่ถ่ายผ่านเข้าไปในน้ำได้เป็น 10 % โดยปริมาตร

ดังนั้น SCFM ของอากาศที่ต้องการเป็น

$$\frac{15.926 \text{ กก./ชม.} \times 35.31 \text{ ฟุต}^3\text{ม.}^3 \times 100}{1.2 \text{ กก. อากาศ/ม.}^3 \times 0.2332 \times 60 \text{ นาที/ชม.} \times 10} = 335 \text{ SCFM ของอากาศ}$$

ใช้ Blower 350 SCFM ความดันไม่ต่ำกว่า 5 เมตร น้ำ

## ค.5 การคำนวณขนาดของถัง SBR

$$\text{ให้ F/M} = 0.2$$

$$\text{MLVSS} = 4,000 \text{ มก./ลิตร}$$

$$\text{F/M} = \text{BOD input} / (\Theta_c \times \text{MLVSS})$$

$$0.2 = 1,000 / (V_r / 100) \times 4,000$$

$$V = 125 \text{ ม}^3$$

$$\Theta_{c,HRT} = 125 / 100 = 1.25 \text{ วัน}$$

$$\text{ใช้ ขนาด กxยxส} = 6 \times 12 \times 3.25 \text{ ม}^3 (\text{Free Broad } 0.75 \text{ m})$$

$$\Theta_{c,HRT} \text{ Actual} = 1.80 \text{ วัน}$$

## ค.6 ถังย่อยตะกอน

ปริมาณตะกอน MLVSS ที่เกิดขึ้นต่อวัน

$$\text{ให้ yield} = 0.3$$

$$\text{ปริมาณตะกอน} = 0.3 (\text{BOD}_{in} - \text{BOD}_{out}) \times F_{Inf} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.3 (1,000-20) 100 \text{ กรัม/วัน} \\
 &= 29.4 \text{ กก./วัน} \\
 \text{ให้ตะกอนมีค่า MLVSS} &= 10,000 \text{ มก./ลิตร} \quad \text{เข้าสู่ถังย่อยสลายตะกอนแบบไร้อากาศ} \\
 \text{ใช้ HRT 20 วัน} & \\
 \text{ปริมาตรของถังย่อยตะกอน (ม}^3\text{)} &= \text{ปริมาณตะกอน (กรัม/วัน)} * (1000 / 10000) * \text{HRT (วัน)} \quad (2.22) \\
 &= (29,400 \times 1,000 / 10,000) \times 20 = 58.8 \text{ ม}^3 \\
 \text{ปริมาตรของถังย่อยสลายตะกอน} &= 60 \text{ ม}^3 \\
 \text{ใช้ ขนาด กxขxล} &= 6 \times 6 \times 3.25 \text{ ม}^3 (\text{Free Broad } 0.75 \text{ m}) \\
 \text{HRT Actual} &= 30 \text{ วัน}
 \end{aligned}$$

## ค.7 ถังพักน้ำใส

เนื่องจาก SBR ดำเนินการเป็น 2 cycle

จึงให้ถังพักน้ำใสที่ออกจาก SBR เป็น 50 ลบม.

ผลที่ได้จาก Scale up แสดงในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ผลของการขยายขนาดไปสู่ SBR สำหรับบำบัดน้ำเสีย 100 ลบม./วัน BOD ขาเข้า 1,000

มก./ลิตร

| รายการ                                         | ขนาด<br>(nominal)                 | วัสดุ                     | จำนวน                | ราคา<br>(บาท)    |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|
| 1. Stabilization Tank T1                       | 80 m <sup>3</sup>                 | Steel 8mm                 | 1                    | 300,000          |
| 2. SBR tank T2                                 | 180 m <sup>3</sup>                | Steel 8mm                 | 1                    | 440,000          |
| 3. Sludge Digester tank T3                     | 80 m <sup>3</sup>                 | Steel 8mm                 | 1                    | 300,000          |
| 4. Effluent Check tank T4                      | 80 m <sup>3</sup>                 | Steel 8mm                 | 1                    | 300,000          |
| 5. Foundation (concrete)                       | 200 m <sup>2</sup>                | Concrete                  | 1                    | 800,000          |
| 6. Piping and valve (10%ของ<br>1+2+3+4)        | Various                           | PVC/Steel                 | 1                    | 214,000          |
| 7. Diffusor                                    | 12"                               | Polymer                   | 100                  | 120,000          |
| 8. Decanter<br>3 buoy 0.8 * 0.5 m              | Diam. 1m                          | SS304                     | 1                    | 150,000          |
| 9. Pump (Feed to Stabilization tank)           | 100 m <sup>3</sup> /hr<br>at 5mH  |                           | None<br>(by gravity) | na               |
| 10. SBR Feed Pump                              | 100 m <sup>3</sup> /hr<br>at 15mH | Multistage<br>Centrifugal | 1/1stand by          | 100,000          |
| 11. Electrical & Control system                |                                   | Out door type             | 1set                 | 200,000          |
| 12. Air Blower                                 | 350 scfm<br>at 5mH                |                           | 1/1stand by          | 500,000          |
| 13. Air Compressor                             | 1Hp                               |                           | 1                    | 20,000           |
| 14. Dosing pump (Chlorine)                     | 20L/hr<br>at 6mH                  | Diaphragm                 | 1                    | 35,000           |
| Subtotal (Construction + Equipment)            |                                   |                           |                      | 3,479,000        |
| Misc 5%                                        |                                   |                           |                      | 173,950          |
| Subtotal                                       |                                   |                           |                      | 3,652,950        |
| Standard O/H and Profit 20%(contractor)        |                                   |                           |                      | 730,590          |
| <b>Total System Capital(revised 1/11/2009)</b> |                                   |                           |                      | <b>4,383,540</b> |

หมายเหตุ ถึงเหล็กเคลือบด้วยสี Epoxy 2 ชั้น

**ต้นทุนค่าดำเนินการของระบบ (Operating cost ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)**

(1) ค่าไฟฟ้า

|                                                               |   |        |                    |
|---------------------------------------------------------------|---|--------|--------------------|
| 1.1 Air Blower 15 KW * 0.5 * 9.0 hr * 2 cycle                 | = | 135    | KW-hr/day          |
| (0.5 = actual power consumption factor)                       |   |        |                    |
| 1.2 Feed to Stabilizer Tank 2.2 KW* 10 hr*1 day               | = | 22     | KW-hr/day          |
| 1.3 Feed to SBR Pump 4.4 KW* 2 hr * 2 cycle                   | = | 17.6   | KW-hr/day          |
| 1.4 Other minor Power at 5%                                   | = | 8.73   | KW-hr/day          |
| Total Electrical Power                                        |   | 188.33 | KW-hr/day          |
| ค่าไฟฟ้า 188.33 หน่วย * 2.6 บาท                               |   | 476.66 | บาท/วัน            |
| (2) ค่าแรงผู้ควบคุมระบบ ระดับ 350 บาท/วัน 1 คน                | = | 350    | บาท/วัน            |
| (3) ค่าสารเคมี 8 ลิตร โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 10 % ต่อวัน * 14 บาท | = | 112    | บาท/วัน            |
|                                                               | = | 9.39   | บาท/m <sup>3</sup> |

### ค.3 การเปรียบเทียบต้นทุนในการก่อสร้างและค่าดำเนินการ ระหว่างระบบ SBR กับระบบอื่นในลักษณะเดียวกัน

ในที่นี้เลือกเปรียบเทียบระบบ SBR กับระบบเติมอากาศแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) โดยแสดงการเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ค.2 การเปรียบเทียบต้นทุนในการก่อสร้างและค่าดำเนินการระหว่างระบบ SBR กับระบบ Activated sludge

| รายการ                       | การเปรียบเทียบ AS กับ SBR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ขนาดถังปฏิกรณ์            | เท่ากัน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2. ขนาด Air Blower           | เท่ากัน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3. จำนวน Air diffuser        | เท่ากัน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 4. ขนาดถังตกตะกอน            | AS ต้องมีถังตกตะกอนขณะที่ SBR ไม่ต้องมี<br>ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากตารางที่ ข.1 จะประมาณการอย่างคร่าวๆได้ว่า AS จะต้องเพิ่มถังตกตะกอน ที่มีขนาดประมาณถังปฏิกรณ์ ต้องเพิ่มโครงสร้างพื้นฐาน (พื้นที่ Foot print เพิ่มประมาณ 25%) และรวมอุปกรณ์ประกอบถังตกตะกอน ทั้งหมดจะเพิ่มค่าก่อสร้างอีกประมาณ 25%                                                 |
| 5. เครื่องสูบลอยตัวตะกอนกลับ | AS จำเป็นต้องมี ขณะที่ SBR ไม่ต้องมี                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 6. ขนาดถังปรับเสถียร         | เท่ากัน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 7. การใช้ไฟฟ้า               | AS ต้องดำเนินการแบบต่อเนื่องจึงใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาขณะที่ SBR ดำเนินการเป็น batch ทำให้ใช้ไฟฟ้าเพียงช่วงการเติมอากาศและสามารถปรับช่วงเวลาการเติมอากาศให้สอดคล้องกับช่วงการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมทำให้สามารถประหยัดไฟฟ้าให้กับโรงงานได้                                                                                                           |
| 8. การใช้พื้นที่             | AS จะเปลืองเนื้อที่มากกว่าไม่ต่ำกว่า 25% เนื่องจากจำเป็นต้องมีถังตกตะกอนเพิ่มเติม                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 9. การรองรับปริมาณน้ำเสีย    | ถ้าโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลางระบบ SBR จะมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งในเรื่องความเสถียรของระบบและการดำเนินการแต่ถ้าโรงงานขนาดใหญ่หรือโรงงานที่มีน้ำเสียปริมาณมากระบบ AS จะเหมาะสมกว่าเนื่องจากการดำเนินการแบบต่อเนื่อง<br>จากประสบการณ์ในทางปฏิบัติขนาด SBR ที่ใหญ่ที่สุดที่เหมาะสมไม่ควรรับน้ำเสียเกิน 1,000 ลบม./วัน มิฉะนั้นจะต้องเพิ่มระบบขนานเข้าไป |

หมายเหตุ : กรณศึกษาโรงงานในบทสรุปประกอบ

### ภาคผนวก ง. ตารางตรวจสอบรายการ(Check Lists)

ตารางที่ ง. 1 ตารางตรวจสอบรายการ(Check Lists) สำหรับการออกแบบ และการประเมินราคาระบบเอสบีอาร์

| รายการ                                | ขนาด | วัสดุ | ราคา |
|---------------------------------------|------|-------|------|
| บ่อรับน้ำเสียเข้า                     |      |       |      |
| บ่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อย              |      |       |      |
| ถังปฏิกรณ์ SBR                        |      |       |      |
| ถังย่อยตะกอน                          |      |       |      |
| ถังพักน้ำใสก่อนทิ้ง                   |      |       |      |
| ระบบโครงสร้างฐานราก                   |      |       |      |
| ปั๊มน้ำเสีย Submersible               |      |       |      |
| ปั๊มน้ำเสีย Multi – stage             |      |       |      |
| ปั๊มเติมคลอรีนน้ำ                     |      |       |      |
| เครื่องเติมอากาศ (Air Blower)         |      |       |      |
| เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)      |      |       |      |
| Air Diffuser                          |      |       |      |
| Decanter                              |      |       |      |
| Decanter                              |      |       |      |
| Air Lift Pump                         |      |       |      |
| Static Mixer                          |      |       |      |
| PLC (Programmable Logical Controller) |      |       |      |
| Piping and Fitting                    |      |       |      |
| Control Valves                        |      |       |      |
| Level Switches                        |      |       |      |
| Flow Switches                         |      |       |      |
| Control Cubicle out door type         |      |       |      |