

# การศึกษาการเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียชนิดเอสบีอาร์ สำหรับ โรงบำบัดน้ำเสียรวมกรุงเทพมหานคร ระยะที่ 4

## Study of SBR Process Commissioning for Bangkok Wastewater

### Treatment Plant Stage 4

#### คำนำ

ปัญหาความเน่าเสียของแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร นับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเป็นลำดับ สาเหตุหลักมาจากน้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ถูกปล่อยลงคลองผ่านระบบท่อระบายน้ำของกรุงเทพมหานคร ส่งผลกระทบถึงคุณภาพน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างเสื่อมโทรมลง

แผนหลักการแก้ปัญหา กรุงเทพมหานคร ได้จัดทำแนวทางการแก้ไขปัญหาน้ำเสียเป็นสามแนวทางคือการแก้ไขปัญหาระยะสั้น เป็นการดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก เช่น โรงบำบัดน้ำเสียอ่อนนุช โรงบำบัดน้ำเสียบึงพระรามเก้า เป็นต้น การแก้ไขปัญหาระยะยาว เป็นการดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ โดยใช้แผนหลักการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร เป็นแนวทางในการวางแผนปฏิบัติการ โดยในระยะแรกกรุงเทพมหานครได้ดำเนินโครงการบำบัดน้ำเสียรวม จำนวน 7 พื้นที่ 6 โครงการดังนี้ โครงการบำบัดน้ำเสียสี่พระยา โครงการบำบัดน้ำเสียรัตนโกสินทร์ โครงการบำบัดน้ำเสียรวม (ที่ดินแดง) ระยะที่ 1 โครงการบำบัดน้ำเสียยานนาวา (ระยะที่ 2) โครงการบำบัดน้ำเสียหนองแขม-ภาษีเจริญ-ราษฎร์บูรณะ (ระยะที่ 3) และโครงการบำบัดน้ำเสียรวม (ระยะที่ 4) นอกจากนี้ กรุงเทพมหานครได้จัดทำแผนงานการบำบัดน้ำเสียรวมเพิ่มเติม ในแผนพัฒนากรุงเทพมหานคร ฉบับที่ 5 อีก 3 โครงการ

โรงบำบัดน้ำเสียรวม (ระยะที่ 4) หรือโรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร ซึ่งการออกแบบระบบของโครงการ รองรับน้ำเสีย 20 ปีข้างหน้าได้ถึง 150,000 ลบ.ม.ต่อวัน และ ระบบท่อบรรณน้ำเสียสามารถรองรับปริมาณการไหลของน้ำได้ 5 เท่า ตั้งอยู่บริเวณคลองบางซื่อ ซอยอินทราทร 35 เขตดินแดง ซึ่งมีการบำบัดน้ำเสียอยู่ 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ การบำบัดขั้นต้น การบำบัดขั้นที่สองทางชีวภาพ (ระบบเอสบีอาร์) และการบำบัดตะกอนแบบถังหมักไร้อากาศ

เนื่องจากพื้นที่ในเมืองหลวงมีราคาสูง พื้นที่ที่ใช้งานในการก่อสร้างหาได้ยาก เนื่องจากพื้นที่ไม่พอเพียง กระบวนการ เอสบีอาร์ (Sequencing batch reactor, SBR) เป็นระบบตะกอนเร่งแบบหนึ่งซึ่งมีลักษณะแบบเติมเข้าและถ่ายออก ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะเป็นระบบตะกอนเร่ง(Activated sludge; AS) การปรับเปลี่ยนเงื่อนไขควบคุมง่ายและยังช่วยลดค่า BOD และไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับโครงการระยะที่4นี้ เป็นระบบเอสบีอาร์ (Sequencing batch reactor, SBR) ของ CASS™ จากประเทศอังกฤษ ซึ่งมีจำนวน 4 บ่อวางซ้อนกันเป็นอาคารจำนวน4 ชั้น

การศึกษาการเริ่มเดินระบบ โรงบำบัดน้ำเสยรวม กรุงเทพมหานครระยะที่ 4 (จตุจักร) ครั้งนี้ ทำการศึกษาประสิทธิภาพ ในการกำจัด ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง และเพื่อศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญของระบบ SBR ของ CASS™ จากประเทศอังกฤษ

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษารูปแบบและวัฏจักรการทำงานของระบบ SBR ของ CASS™ สำหรับโรงบำบัดน้ำเสยรวม กทม. ระยะที่ 4 (จตุจักร) เมื่อเริ่มทดสอบเดินระบบ
2. ศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อเริ่มทดสอบเดินระบบแบบน้ำเสยรวมซึ่งมีทั้งน้ำเสยและน้ำฝนเข้ามาในระบบ
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด เทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งและค่าที่ออกแบบ
4. ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในการควบคุมระบบ SBR ของ CASS™
5. ศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสยที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้วก่อนเข้าระบบ SBR ของ CASS™ และหลังออกจากระบบ SBR ของ CASS™
6. ศึกษาค่าไฟฟ้าและสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสย

### ขอบเขตการวิจัย

1. การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้น้ำเสียจริงจากระบบรวบรวมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น และคุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบ Sequencing batch reactor, SBR ก่อนปล่อยลงสู่คลองบางซื่อ
2. การศึกษาจะทำในห้องปฏิบัติการของโรงบำบัดน้ำเสีย กทม.ระยะ 4 (จตุจักร)
3. การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาตลอดช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งไปจนถึงการเริ่มกำจัดตะกอนส่วนเกินออกจากระบบ
4. MLSS จะถูกเก็บไว้ในบ่อ SBR ไปจนกว่าระบบกำจัดตะกอนส่วนเกินสามารถใช้งานได้

## การตรวจเอกสาร

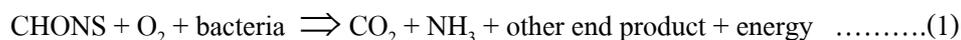
### 1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR)

#### 1.1 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ ของระบบบำบัดแบบชีววิทยา

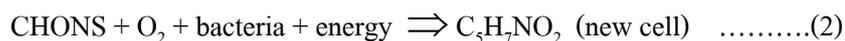
ในการบำบัดน้ำเสียมักใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีลักษณะที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดทางกายภาพและการบำบัดทางเคมี จะพบว่า การบำบัดทางชีววิทยาจะเป็นการบำบัดซึ่งประหยัดและเหมาะสมในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ไนโตรเจน

Metcalf & Eddy (1991) แสดงกลไกของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนี้

#### Organic oxidation

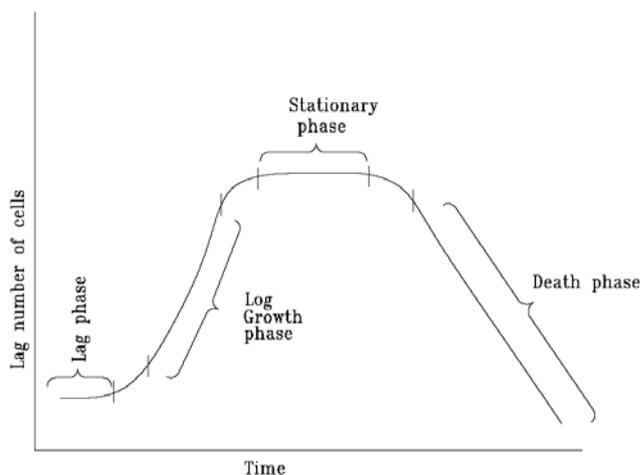


#### Cell synthesis



#### Endogeneous respiration





**ภาพที่ 1** กราฟแสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ที่มา : Metcalf & Eddy (1991)

การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบ่งเป็น 4 ช่วง ดังภาพที่ 1

The lag phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์เริ่มปรับสภาพให้อยู่ในสภาวะแวดล้อมใหม่ โดยเป็นจุดเริ่มต้นในการขยายพันธุ์

The log-growth phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วให้มีความเหมาะสมกับอาหารที่อยู่ในสภาวะแวดล้อม

Stationary phase เป็นช่วงที่ปริมาณจุลินทรีย์มีความสมดุลกับปริมาณอาหารในระบบ

Endogenous phase (death phase) เป็นช่วงที่อัตราการตายมากกว่าอัตราการเกิดซึ่งจุลินทรีย์ในช่วงนี้จะเป็นไปตามลักษณะของสิ่งแวดล้อมทั่วไป

### 1.1.1 อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ต่อเนื่อง

(Batch system)

Metcalf & Eddy (1991) แนะนำว่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบ batch มีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$r_g = \mu x \quad (1)$$

เมื่อ  $r_g$  คือ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (มวล/หน่วยปริมาตร- เวลา)

$\mu$  คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อเวลา)

$X$  คือ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (มวล/หน่วยปริมาตร)

เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เลี้ยงเป็นแบบ batch จึงได้สมการ  $\frac{dx}{dt} = r_g$  (2)

ซึ่งจากสมการที่ 1 ทำให้ได้ความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (3)$$

### 1.1.2 อัตราการใช้สารอาหารในระบบบำบัดแบบไม่ต่อเนื่อง (batch system)

จากสถานะที่เป็นแบบ Batch โดยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเป็นต่อการใช้สารอาหาร จึงมีผลทำให้สารอาหารเป็นตัวหนึ่งซึ่งจำกัด อัตราการเติบโต โดย Monod ได้แสดงสมการ

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (4)$$

เมื่อ  $\mu_m$  คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (ต่อเวลา)

$S$  คือ ความเข้มข้นของสารอาหารในสารละลาย (มวล/ปริมาตร)

$K_s$  คือ อัตราความเข้มข้นจำเพาะที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

## การเกิดตะกอนเร่ง

ตะกอนเร่ง (Activated sludge) เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอนในถังเติมอากาศ คือ

1. ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)
2. ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step)
3. ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

ในขั้นแรกสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ดูดมาติดที่ผนังเซลล์และส่งน้ำย่อยออกมาย่อยสลายจนสารอินทรีย์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโมเลกุลที่เล็กพอที่จะซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที น้ำย่อยนี้จุลินทรีย์จะผลิตขึ้นมาไว้ภายในเซลล์และในน้ำที่อยู่รอบตัวของมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อย และต้องใช้เวลาจุลินทรีย์ในการปรับตัว (Acclimatize) ให้พอเหมาะ โดยเฉพาะในช่วงเริ่มการทำงาน (Start-up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยให้มีโมเลกุลเล็กลง และสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้แล้วก็จะถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยการสังเคราะห์ (Synthesis) ซึ่งหมายถึงการสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่มีการเติมออกซิเจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน กระบวนการทั้งสองนี้รวมเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ (Metabolic process)

ขั้นที่สามเป็นการรวมตัวของตะกอนเร่ง โดยจุลินทรีย์จะถูกกวนผสมกันอยู่ในถังเติมอากาศ เมื่อมาชนกันก็จะจับรวมตัวกันเป็นตะกอนได้ดีกว่าเซลล์เดี่ยวทำให้สามารถแยกออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เมื่อตะกอนเร่งไปสัมผัสกับน้ำเสียซึ่งมีสารแขวนลอย (Suspended material) หรือ คอลลอยด์ (Colloidal material) ก็จะจับมลสารเหล่านี้เอาไว้ภายในและทำการย่อยสลายเป็นอาหารต่อไป

### 1.1.3 การบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสออกจากริ่เสี่ย

ไนโตรเจนในริ่เสี่ยมีอยู่ 4 รูป คือ ออร์แกนิ – ไนโตรเจน (Org-N) แอมโมเนีย ไนโตร ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) และ ไนเตรท – ไนโตรเจน ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )

เนื่องจากไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และมีการเปลี่ยนแปลง นั้นมีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ดังนั้นจะเห็นได้จากวัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen Cycle)

การบำบัดไนโตรเจนออกจากริ่เสี่ย สามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยา หรือฟิสิกส์-เคมี ซึ่งการบำบัดริ่เสี่ยโดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยานั้น จะมีข้อได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ ไนโตรเจนทั้งหมดจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจนโดยผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน

#### 1.1.3.1 ไนตริฟิเคชัน

แบคทีเรียพวกที่เป็นไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas) และไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) จะมีส่วนสำคัญในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจุลชีพทั้ง 2 ชนิดนี้จัดอยู่ในพวกออโตโทรฟิคแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria) คือ เป็นแบคทีเรียที่อาศัยพลังงานในการเจริญเติบโตจากกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน รวมทั้งสารอินทรีย์อื่น ๆ ลักษณะที่แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดของจุลชีพกลุ่มนี้ คือ จะใช้สารอนินทรีย์คาร์บอน (คาร์บอนไดออกไซด์) ในการสังเคราะห์สารอนินทรีย์คาร์บอนด้วย โดยแบคทีเรียแต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดในการออกซิไดซ์สารประกอบไนโตรเจนไม่เหมือนกันดังนี้ คือ

- ไนโตรโซโมแนส จะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้กลายเป็นไนไตรท์แต่จะไม่สามารถออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรทได้อีก

- ไนโตรแบคเตอร์ จะออกซิไดซ์ไนไตรท์ ให้กลายเป็นไนเตรทเท่านั้น

### 1.1.3.2 ดีไนตริฟิเคชัน

ดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้เนื่องจากแบคทีเรียพวกซุโตโมแนส ไมโครคอกคัส แอคโครโมแบคเตอร์และบาซิลลัส โดยแบคทีเรียเหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในสารประกอบไนเตรท และไนไตรท์ในการหายใจภายใต้สภาวะแอนอกซิก (Anoxic condition) ซึ่งจะมีไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) และแหล่งคาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Electron donor)

### 1.1.3.3 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ และในน้ำโสโครกที่อยู่ในรูปต่างกันของฟอสเฟต เช่น ออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟต หรือคอนเดนส์ฟอสเฟต ฟอสเฟตเหล่านี้อาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ หรือในรูปซากพืช ซากสัตว์ โดยในกระบวนการตะกอนเร่ง จุลชีพจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีการดูดซับฟอสเฟตไปใช้ขณะที่มีการออกซิโดซิมมูลสารในน้ำเสีย ในช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic period) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ละลายจะเพิ่มขึ้น โดยจุลชีพจะใช้ฟอสฟอรัสในรูปโพลีฟอสเฟต หรือโพลีเมอร์เส้นตรงของออร์โธฟอสเฟตที่เหลือโมเลกุลของฟอสเฟตที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสเฟตแอนไฮไดรด์ที่มีพลังงานสูง และการไฮโดรไลซิสอย่างอิสระจะให้พลังงานที่สูงกว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปของ ATP (Adenosine Triphosphate) กลายเป็น ADP (Adenosine Diphosphate) ดังนั้นการไฮโดรไลซิสของโพลีฟอสเฟตไปเป็นออร์โธฟอสเฟต จะก่อให้เกิดพลังงานที่ใช้สำหรับการขนส่งบีโอดีจากน้ำเสียเข้าสู่เซลล์ของจุลชีพที่มีฟอสเฟตได้

## 1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR)

ระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียชนิดหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม โดยทั่วไประบบเอสปีอาร์ประกอบด้วยถังปฏิกริยาที่ทำหน้าที่เหมือนระบบเอกติเวตเต็ดสตัคจ์ ที่มีการเติมน้ำเข้าและถ่ายน้ำออก

ระบบเอสปีอาร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยนอเธอร์ดาม (University of Notve'dom) ระบบนี้อาจประกอบด้วยถังปฏิกริยาหนึ่งถึงหรือมากกว่า การเดินระบบจะเดินไม่ต่อเนื่อง เพราะใน

ระบบเอสปีอาร์จะเกี่ยวเนื่องกับเวลา ส่วนการบำบัดน้ำทิ้งแบบต่อเนื่องจะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ระบบนี้ มีศักยภาพสูงในเรื่องการประหยัดพลังงานและสามารถเลือกจำนวนจุลินทรีย์

การออกแบบและลักษณะทางกายภาพของระบบเอสปีอาร์นี้ ได้ถูกพัฒนาให้มีประโยชน์และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาของน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียอุตสาหกรรม ซึ่งระบบเอสปีอาร์แตกต่างจากระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ด้วยเหตุว่าการปฏิบัติงานของระบบมีความยืดหยุ่น จึงสามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้หลายวัตถุประสงค์ โดยการควบคุมทางกายภาพอย่างง่าย ๆ

ระบบเอสปีอาร์ มักถูกออกแบบให้ใช้ถังเดี่ยวหรือหลายถังต่อกันแบบขนานดังภาพที่ 4 แสดงถึงลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์ มีลักษณะจำเพาะ 5 ลักษณะตามช่วงเวลา คือการเติมน้ำเสีย (fill) การทำปฏิกิริยา (react) การตกตะกอน (settle) การรินน้ำทิ้ง (draw) การพัก (idle) ผู้ออกแบบหรือผู้ปฏิบัติงานสามารถที่จะเลือกปฏิบัติในการควบคุมเวลาในแต่ละช่วงได้อย่างง่าย ๆ สิ่งที่ปรากฏโดยทั่วไปในแต่ละช่วงการทำงานขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการบำบัด ซึ่งรวมถึงวัตถุประสงค์ในขณะทำการก่อสร้างด้วย เช่น ในช่วงแรกต้องการบำบัดสารอินทรีย์และสารแขวนลอย และในช่วงเวลาถัดมาต้องการบำบัดสารอินทรีย์ สารแขวนลอย (SS) และไนโตรเจนก็สามารถทำได้ โดยการพัฒนารูปแบบต่างๆ ของระบบเพิ่มเติมต่อไป

การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบเอสปีอาร์ ในถังบำบัดที่เดินระบบซึ่งแบ่งเป็น 5 ช่วงเวลา โดยแต่ละช่วงเวลา จะมีชื่อเรียกเฉพาะตามหน้าที่ที่เริ่มต้นของช่วงเวลา (Irvine and Bush, 1997 ; Arora *et al.*, 1985) ดังได้กล่าวมาแล้วมีดังนี้

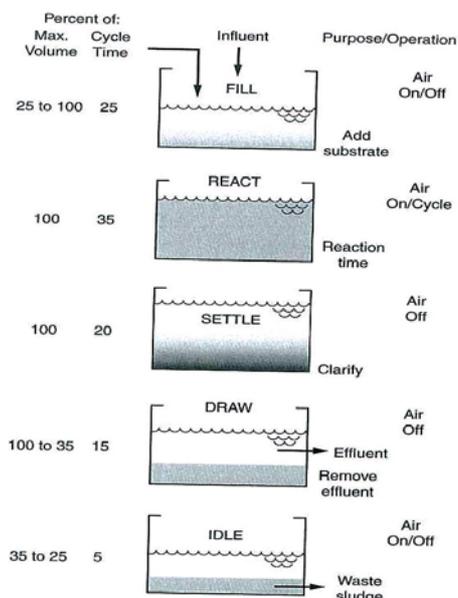
ช่วงเวลาเติมน้ำเสีย หมายถึงการเพิ่มปริมาณน้ำเสียลงไปจนถึงปฏิกิริยาที่มีตะกอนจุลินทรีย์เหลืออยู่ ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่เหลืออยู่ในถังอาจเริ่มที่ 25 เปอร์เซ็นต์ การเติมน้ำเสียลงไปจะเติมจนเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ของระบบที่สามารถรองรับน้ำเสียได้ การเติมน้ำเสียเพียงอย่างเดียว (static fill) ให้ผลคือมีการใช้พลังงานน้อยและความเข้มข้นของสารอินทรีย์อยู่สูงเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลากการเติม

การเติมน้ำเสียแบบมีการกวน (Mixed fill) ให้ผลคือเกิดขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ถ้าน้ำเสียนั้นมีไนเตรทอยู่ และหลังจากการลดลงของความต้องการใช้ออกซิเจนและพลังงาน ทำให้เกิดสภาพ และสภาพ anoxic ไร้ออกซิเจนในการบำบัดฟอสฟอรัสทางชีววิทยา

การเติมน้ำเสียแบบที่มีการเติมอากาศ (Aerated fill) มีผลทำให้เกิดสภาพ การทำปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน และเกิดการลดลงของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งขั้นตอนนี้จะมี ความสำคัญถ้า น้ำเสียมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระดับสูง

ถ้าไม่มีปฏิกิริยาทางชีววิทยาในช่วงการเติมน้ำเสีย (Static fill) นั่นคือ มีการแยกกัน อย่างสมบูรณ์ของน้ำเสียบกับตะกอนจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในถังปฏิกิริยา จะมากที่สุดเมื่อสิ้นสุดการเติมน้ำเสีย ความเข้มข้นที่มากที่สุดนั้นจะเท่ากับ ความเข้มข้นทั้งหมด ที่เติมเข้าไป ในถังปฏิกิริยารวมกับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหลือหลังจากช่วงเวลาการพักตัว (idle)

การเติมน้ำเสียแบบมีการกวนผสม ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ออกซิเจนที่ละลายน้ำ และ ไนเตรท ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาการเติมน้ำเสีย แสดงได้ดังภาพที่ 5 ซึ่งประมาณได้ว่า ออกซิเจนและไนเตรท ที่มีอยู่ในถังปฏิกิริยาในช่วงเวลาเริ่มต้นของการเติมน้ำเสีย และมีอยู่ปริมาณ เล็กน้อยในน้ำเสีย ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะปรากฏในช่วงแรกเริ่มของการเติมน้ำ เสียแบบมีการกวน ผลที่ได้คือการลดลงของออกซิเจนที่ละลายน้ำและสารอาหาร เมื่อออกซิเจน ที่ละลายน้ำถูกใช้หมด ไนเตรทจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เกิดเป็นปฏิกิริยา Anoxic ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งผลสุดท้ายการหมักหรือปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนจะเริ่มขึ้น ทำให้ ไนเตรทที่ใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนหมดลง ซึ่งเป็นการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย



**ภาพที่ 2** ขั้นตอนการทำงานของระบบเอสบีอาร์ ในแต่ละวัฏจักร

ที่มา : Metcalf and Eddy (2003)

การเติมน้ำเสียแบบมีการเติมอากาศ (Aerated fill) อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือปฏิกิริยาทางชีววิทยา จะถูกจำกัดโดยความเข้มข้นของสารอินทรีย์และ MLSS เมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำเพียงพอ หรือถูกควบคุมโดยการเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ ในกรณีแรกถึงเอสปีอาร์ จะมีขนาดเล็กกว่าแต่ระบบการเติมอากาศและพลังงานที่ใช้จะมากกว่าในกรณีถัดมา ความต้องการใช้ถึงปฏิกิริยาเล็กลง และมีขนาดของระบบเติมอากาศและพลังงานที่ใช้จะน้อยลงด้วย เมื่อปฏิกิริยาทางชีววิทยาถูกจำกัด โดยอัตราการเติมอากาศ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งเป็นการได้เปรียบที่สุด ของการเติมน้ำเสียแบบมีการเติมอากาศ คือสามารถควบคุมประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยการควบคุมการเติมอากาศ

ช่วงเวลาทำปฏิกิริยา (React) เป็นช่วงที่มีการเติมอากาศ หรือทั้งการกวนและเติมอากาศลงในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ช่วงเวลาทำปฏิกิริยานี้ต้องมีอย่างน้อย 35 เปอร์เซ็นต์ของเวลาในวัฏจักร และช่วงเวลานี้จะใช้ในการควบคุมค่าอายุตะกอนของระบบ

ปฏิกิริยาที่มีการกวนเพียงอย่างเดียว จะเกิดขบวนการในตรึงเฟสชั้น เมื่อเกิดการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำ จนเกิดสภาพ Anoxic และ Anaerobic แล้วจะทำให้เกิดการบำบัดฟอสฟอรัสได้ ส่วนปฏิกิริยาการเติมอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนอย่างสมบูรณ์ และยังสามารถลดตะกอนจุลินทรีย์ได้ ถ้ามีการเติมอากาศยาวนานมากพอ

ช่วงการตกตะกอน (Settle) ช่วงนี้มีความต้องการที่จะแยกเอาตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้ว ช่วงนี้จะไม่มีการเติมอากาศ การกวนผสมเวลาในช่วงนี้ควรมีอย่างน้อยพอสำหรับการปล่อยให้ตะกอนจมตัวลง จึงมีการเททิ้งต่อไป

ช่วงถ่ายน้ำออก (Draw) เป็นการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยาช่วงเวลาในการเททิ้งอาจอยู่ในช่วง 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของเวลาในวัฏจักร หรือประมาณ 15 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที การเททิ้งไม่ควรทำในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหลุดทิ้งของตะกอนออกจากระบบ

ช่วงเวลาพักตัว (Idle) เป็นช่วงเวลาพักระหว่างการเททิ้งและการเติมน้ำเสีย ช่วงเวลานี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ

Nakhla และคณะ (1997) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) สำหรับ ระบบเอสปีอาร์ที่มีการกวนอย่างสมบูรณ์ (complete mixed) ทั้งในช่วงเวลาเติมน้ำเสียและช่วงเวลาทำปฏิกิริยาบนพื้นฐานของความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร ดังนี้

ช่วงเวลาเติมน้ำเสียถึงปฏิกรณ์ (reactor) จะได้รับปริมาณน้ำเสียที่มากขึ้นตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้ (Denis และ Irvine, 1979)

$$V_{f,n} = V_{0,n-1} + \int_0^{t_f} Q dt \quad (5)$$

$V_{f,n}$  คือ ปริมาตรของน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ ณ เวลาเติมน้ำเสีย (ปริมาตร)

$V_{0,n-1}$  คือ ปริมาตรของน้ำเสียเริ่มต้น ณ วัฏจักรที่ (ปริมาตร)

$Q$  คือ ปริมาณการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบ (ปริมาตร/เวลา)

$t_f$  คือ เวลาในการเติมน้ำเสีย

**ตารางที่ 1** ขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อจุดประสงค์การลดมลสารต่าง ๆ ในระบบเอสปีอาร์

Treatment Objective	Fill Policies	React Policies	Reference
1. Organic carbon and suspended solids reduction, minimum energy consumption or sludge production	Static, Mixed, then Aerated	Aerated	Irvine และคณะ, 1985
2. Organic carbon and suspended solids reduction, and nitrification	Static, Mixed, then Aerated	Aerated	Ketchum และคณะ, 1979
3. Organic carbon and suspended solids reduction, and denitrification	Static, Mixed, then Aerated	Aerated, followed by	Alleman และคณะ, 1980
4. Organic carbon and suspended solids reduction, and biological phosphorus reduction	Static, Mixed, then Aerated	Mixed then Aerated Aerated	Ketchum และคณะ, 1987
5. Industrial organic wastewater toxic at high concentration	Mixed (short period), then Aerated	Aerated	Asher และคณะ, 1992

ที่มา : Ketchum (1997)

ส่วนสมดุลมวลการของจุลินทรีย์จะแสดงได้ดังสมการ

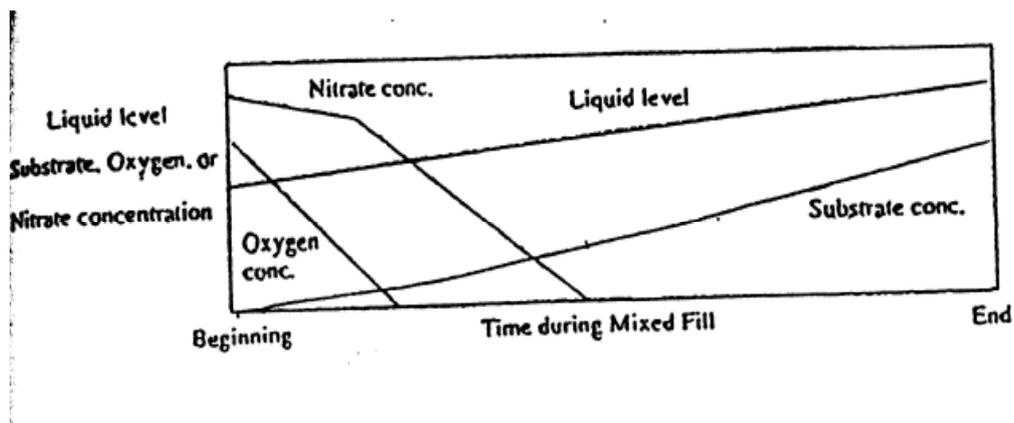
$$\frac{d V_f X_f}{dt} = q X_0 + r_g V_f \quad (6)$$

$X_0$  คือ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ในน้ำเข้า (มวล/ปริมาตร)

$X_f$  คือ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (มวล/ปริมาตร)

โดยอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ( $r_g$ ) สามารถใช้สูตรในการคำนวณสำหรับในน้ำเสียเป็น

no inhibitory และ inhibitory ได้ตามสมการที่ 4 และ 5



ภาพที่ 3 แสดงถึงสถานะในถังปฏิกรณ์ในช่วงการเติมน้ำเสียแบบ เอสบีอาร์

ที่มา: Ketchum (1997)

$$r_g = \frac{(\mu_{\max} S_f - K_d)}{K_s + S_f} * X_f \quad (7)$$

$$r_g = \frac{(\mu_{\max} S_f - K_d)}{K_s + S_f + (S_f/K_i)} * X_f \quad (8)$$

$K_i$  = inhibition constancy (มวล/ปริมาตร)

สมการ 6 และ 7 สามารถนำมาใช้ในการหาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เป็น Noninhibitory ได้คือ

$$\frac{dX_f}{dt} = \frac{q}{V_f} (X_0 - X_f) + \frac{(\mu_{\max} S_f - K_d) X_f}{K_s + S_f} \quad (9)$$

ส่วนสมมูลมวลสารของสารอาหาร จะได้สมการดังนี้

$$\frac{dS_f}{dt} = \frac{q}{V_f} (S_0 - S_f) - \frac{(\mu_{\max} S_f - K_d) X_f}{K_s + S_f + [S_f/K_i]^2} \quad (10)$$

$S_f$  = ความเข้มข้นของสารอาหารในถังปฏิกริยา (มวล/ปริมาตร)

ในช่วงแรกของการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบไปจนถึงสิ้นสุดการทำปฏิกริยาสามารถเขียนสมการของมวลสารได้ดังนี้

$$VX_{f,n-1} = V_w X_{r,n-1} + V_d X_{\text{eff},n-1} + V_{0,n-1} X_{0,n-1} \quad (11)$$

$V$  = ปริมาตรของถังปฏิกริยาทั้งหมด (ปริมาตร)

$V_w$  = ปริมาตรน้ำเสียที่ทิ้งออกหลังสิ้นสุดปฏิกริยาเพื่อรักษาค่าอายุตะกอน (ปริมาตร)

$V_d$  = ปริมาตรของน้ำที่เททิ้งหลังตกตะกอน (ปริมาตร)

$V_{0,n-1}$  = ปริมาตรของของเหลวที่คงเหลืออยู่ในถัง (ปริมาตร)

$X_{r,n-1}$  = ความเข้มข้นของ MLVSS เมื่อสิ้นสุดช่วงปฏิกริยา (มวล/ปริมาตร)

$X_{\text{eff},n-1}$  = ความเข้มข้นของ MLVSS ในน้ำทิ้ง (มวล/ปริมาตร)

$X_{0,n-1}$  = ความเข้มข้นของ MLVSS ที่ก้นถังปฏิกริยาในช่วงวัฏจักร n-1 (มวล/ปริมาตร)

หรือ ถ้าปรับปรุงสมการสมดุลมวลสารของสารอาหารและจุลินทรีย์ในระบบเอสปีอาร์สามารถหาได้ดังนี้

$$X_{0,n-1} = \frac{(1 + \frac{V_d}{V_0} X_{r,n-1} - (\frac{V_d}{V_0}) X_{eff,n-1})}{V_0} \quad (12)$$

$$S_{0,n-1} = \frac{(1 + \frac{V_d}{V_0} S_{r,n-1} - (\frac{V_d}{V_0}) S_{eff,n-1})}{V_0} \quad (13)$$

ส่วนในช่วงทำปฏิกิริยานั้นปริมาณน้ำเสียจะคงที่ ( $q = 0$ ) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ของสารอาหารจะหาได้จากสมการ 10 และ 11

จากสมการที่ 4 ถึง 13 ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมระบบเอสปีอาร์ ก็จะได้ก่อนปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นและการใช้สารอาหารในการทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์นั้น ตัวแปรที่สำคัญ ในการควบคุมจะเหมือนกับระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ คือ ค่าอายุตะกอน ( $\theta_c$ ) และค่า  $U$  นั้นเอง เพราะฉะนั้นถ้าให้ง่ายต่อการควบคุมระบบเอสปีอาร์จึงควรที่จะควบคุมอายุตะกอนมากกว่า

Kolb and Wilderer (1997) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยระบบ activated carbon sequencing batch biofilm reactor โดยใช้ benzene/2-chlorecthene/phenol เป็นสารตั้งต้นในการบำบัดผลปรากฏว่าสามารถกำจัด benzene/2-chlorophenol ได้ร้อยละ 95 โดยใช้วัฏจักร 24 ชั่วโมง

Umble and Ketchum (1997) ได้ศึกษาอุทกศาสตร์ สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบเอสปีอาร์ ร่วมกับการฟื้นฟูธาตุอาหารในน้ำทิ้ง ที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด  $BOD_5$ , SS,  $NH_3-N$  เมื่อใช้เวลาในวัฏจักร 12 ชั่วโมง เท่ากับร้อยละ 98, 90 และ 89 ตามลำดับ

Cassidy and Irvine (1997) ได้ศึกษาการบำบัดการปนเปื้อน ของน้ำมันดีเซลในดินทางชีววิทยา โดยการใช้ถังปฏิกิริยาแบบเลน (soil slurry-sequencing batch reactor; SS-SBR) โดยมีความเข้มข้นของของแข็งร้อยละ 40 น้ำหนักต่อปริมาตร ผลปรากฏว่าที่ค่า HRT 10 วัน จะเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำมันดีเซล โดยอัตราการบำบัดจะเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของน้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้น ณ เวลาเริ่มต้นของวัฏจักรซึ่งเป็นตัวชีวอัตราการบำบัดนั้นไม่ใช้ปฏิกิริยาอันดับศูนย์

Brito *et al.*, (1997) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ ของระบบเอสบีอาร์แบบใช้ออกซิเจนที่มีการสั้นสะเทือนเพื่อให้เกิดการไหลรวมกันของตะกอนจุลินทรีย์ (pulsed-sequencing batch reactor; P-SBR) สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีค่า COD ประมาณ 1000 mg/l และอุณหภูมิในการทดลอง 22°C พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 60-70 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5-6 ชั่วโมง ซึ่งระบบสามารถรับภาระบรรทุกได้ 5-6 kg-COD/m<sup>3</sup>-d

Woodard (1997) ได้ศึกษาความได้เปรียบของ sequencing batch biofilm reactor; SBR สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีความแปรปรวนสูง เปรียบเทียบกับระบบที่มีการไหลของน้ำเสียแบบต่อเนื่อง พบว่าการเดินระบบเป็นพัก ๆ จะมีข้อได้เปรียบกว่าระบบการไหลแบบต่อเนื่อง เพราะว่าการกระจายตัวของตะกอนจุลินทรีย์ จะสามารถทำได้ดีกว่า จึงทำให้ระบบสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงภาระอย่างเฉียบพลันได้ดีกว่า

Belia and Smith (1997) ได้ศึกษาถึง การบำบัดฟอสฟอรัส ในระบบเอสบีอาร์ โดยใช้แบคทีเรีย *Acinetobacter Imhoffii* พบว่ามีความสามารถในการบำบัดฟอสฟอรัส ได้ร้อยละ 70 โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการลดค่า COD และ ไนโตรเจน

Loosdrecht *et al.*, (1997) ได้ศึกษาความสำคัญของ โพลีเมอร์ (polyhydroxy alkanates) ในกระบวนการทางชีววิทยา พบว่าระบบเอสบีอาร์จุลินทรีย์มีส่วนสำคัญมากและถูกทดลองให้ได้รับอาหารและออกอาหาร พิสูจน์ได้โดยดูการสะสมของโพลีเมอร์ ใน storage polymer (polyhydroxy alkanates) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่ใช้ในการเจริญเติบโต พบว่า โพลีเมอร์มีการสะสมลดลงเมื่อสารอาหารลดลง

Hirl and Irvine (1997) ได้ศึกษาการบำบัดคลอรีนโดยใช้ perchloroethylene, (PCE, C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>) เป็นสารตั้งต้น โดยระบบ Anaerobic SBBR (AnSBBR) ซึ่งระบบถูกพัฒนาเพื่อกระบวนการ dechlorination ของ PCE โดยถึงปฏิกิริยาได้รับ lactate หรือ acetate 10.5 mg (63.3 moles) เพื่อดูการเปลี่ยนของ PCE ไปเป็น CDCE วันต่อวัน โดยมีการเติม H<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> ลงไปในถึงปฏิกิริยาด้วย เพื่อให้สภาพเหมาะแก่การเปลี่ยน PCE ไปเป็น TCE (C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>), CDCE (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) และ VC (vinyl chloride, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl) เพราะฉะนั้นนี้อาจกล่าวได้ว่าระบบ AnSBBR สามารถบำบัดคลอรีนออกได้

Irvine *et al.*, (1997) ได้ศึกษาการบำบัดก๊าซมัสตาร์ด โดยระบบเอสบีอาร์ ซึ่งก๊าซ sulfur mustard เป็นก๊าซ พิษร้ายแรงที่ใช้ในสงคราม ซึ่งในปัจจุบันต้องการกำจัด ทำให้เป็นกลทางเคมี การลดพิษและการเปลี่ยนรูปของ acidic hydrolysis of sulfur mustard : mustard gas (2,2'

– dichloroethyl sulfide) ไปเป็น thiodiglycol ประมาณ 80-95 % โดยการเติม  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1450 mg/l  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  280 mg/l และ ให้กับ SBRs และทำการเดินระบบโดยใช้ 3-5 ชั่วโมง aerated 17-18 ชั่วโมง react, 1 ชั่วโมง settle และ 1 ชั่วโมง draw periods พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนมากกว่าร้อยละ 90 และน้ำทิ้งก็ไม่เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำด้วย

Tasli *et al.*, (1997) ได้ศึกษาผลของ organic substrate ต่างชนิดและส่วนประกอบของมัน ที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการทางชีวภาพในระบบเอสบีอาร์ พบว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติม glucose มากขึ้นและมี G bacteria เป็นตัวเด่น ซึ่งทั้งระบบ SBR และ AnSBR ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน

Cybis and Horan (1997) ได้ศึกษา protozoa และ metazoa เป็นดัชนีที่ควบคุมระบบเอสบีอาร์ โดยทำการทดลอง 200 cycles ในเวลา 100 วัน พบว่าในช่วง 40 cycles แรกนั้นพบ ciliates ว่ายอิสระคลานและจับเป็นก้อนในช่วงนี้ปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ SS แต่ไม่เกิดไนตริฟิเคชัน การเกิด ไนตริฟิเคชันนั้นมีชั้นที่มี flagellated protozoa เป็นตัวเด่น และที่ 80 cycles rotifer เป็นตัวเด่น และที่ 100 cycles ขึ้นไป ciliates ที่จับตัวกันเป็นก้อนจะเป็นตัวเด่น เพราะฉะนั้น โปรโตซัวจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในการกำหนดประสิทธิภาพของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

### 1.2.1 ปัจจัยที่ผลต่อการทำงานของระบบ

ในการทำงานของระบบเอสบีอาร์ มีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงได้ ดังนี้

ก. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (dispersed growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่นและมีค่าสารอินทรีย์หรือ บีโอดี เหลืออยู่สูง หรืออาจเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำออกขุ่นเช่นกัน

ข. อาหารเสริมจุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน (domestic wastewater) แต่อาจมีไม่พอในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟลอคเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้ตะกอนตกลงได้ยาก และเกิดเป็นชั้นตะกอนอัดขึ้นมาสูง จนทำให้การเททิ้งทำได้ในปริมาณที่น้อยนอกจากนั้นการที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่าง ๆ ของระบบต่ำลงอีกด้วย ปกติการควบคุมระบบจะควบคุมอัตราส่วนระหว่าง BOD : N : P : Fe เท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5

ค. ออกซิเจนละลายน้ำ ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1-2 มก./ล. ปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็ต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (saturation value) ต่ำ จึงทำให้ต้องให้ออกซิเจนมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกริยาสูง ในทำนองกลับกัน หากอุณหภูมิต่ำก็ทำให้มีความต้องการการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าเท่ากัน

ง. ระยะเวลาในการบำบัด ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมีมากพอเพียงพอจุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่าง ๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไปสารที่ย่อยยาก จะไม่ถูกย่อยถึงขั้นสุดท้าย (end product) ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในช่วงการตกตะกอนก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้ตะกอนตกได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้ตะกอนขาดออกซิเจนและเน่าได้

จ. ค่าพีเอช เป็นค่าแสดงความเป็น กรด-ด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง ถ้าน้อยกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 เชื้อรา (fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่า แบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลง และตะกอนตกได้ไม่ดี ส่วนค่าพีเอชสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ (precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใด ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมาก จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

ฉ. สารพิษ แบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ ประเภทที่มีพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบออกฤทธิ์ช้า หรือสะสม (chronic toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตาย พิษเฉียบพลันสามารถสังเกตดูได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และ โลหะหนักต่าง ๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนี้อาจเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนีย ซึ่งมีค่าความเข้มข้นสูงเกิน 500 มก./ล. เป็นต้น

ช. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบเอสปีอาร์ โดยทั่วไป การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 °C จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 °C จากนั้นอุณหภูมิจะสูงเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำทำได้ยาก ดังนั้นผู้ควบคุมจึงต้องปรับค่าความเข้มข้นของตะกอน (MLSS) ในถังปฏิกรณ์ให้มีค่าน้อยลงเมื่ออากาศร้อนและเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ยังมีผลต่อการทำงานในช่วงเวลาตกตะกอน โดยพบว่าหากอุณหภูมิต่ำตกตะกอนได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง

ซ. การกวนภายในถังปฏิกรณ์จะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงเพื่อให้มีให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันรวมเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่สมบูรณ์ในถังปฏิกรณ์ (complete mixed) จะต้องมีค่า MLSS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง

ณ. อัตราการไหลของน้ำเสีย การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาระบบบำบัดมีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและการตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีค่าสารอินทรีย์ในระบบเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน

### 1.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการทำงานของระบบและการประยุกต์ใช้งาน

การทำงานของระบบเอสปีอาร์ นั้นมีตัวแปรหลาย ๆ ตัว ที่จำเป็นในการควบคุมการทำงานของระบบให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

ก. ประสิทธิภาพของระบบประสิทธิภาพของระบบหาได้จากค่า BOD, COD หรือ TOC ของน้ำเสียก่อนการบำบัดเทียบกับค่าดังกล่าวที่ได้บำบัดแล้ว การหาประสิทธิภาพของ

ระบบเพื่อตรวจสอบการทำงานว่าสูงหรือต่ำกว่าที่ออกแบบ หากค่าเกินไปแสดงว่าค่า BOD ของน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วจะสูง ให้เปรียบเทียบว่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งหรือไม่ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการลด F/M ratio หรือเพิ่มค่าอายุตะกอน ( $\theta_c$ )

$$\text{ประสิทธิภาพ (E)} = \frac{(S_0 - S) * 100}{S_0} \quad (14)$$

$S_0$  = ค่า BOD, COD หรือ TOC ของน้ำเข้า (มก./ล.)

$S$  = ค่า BOD, COD หรือ TOC ของน้ำออก (มก./ล.)

ข. อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) หรือภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ คืออัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในหนึ่งวัน ( $F = \text{food}$ ) ต่อน้ำหนักของจุลินทรีย์ ( $M = \text{mass}$ ) ทั้งหมดในระบบ สารอาหารจะวิเคราะห์ในค่าในรูปของ BOD, COD หรือ TOC ก็ได้ ส่วน mass ของจุลินทรีย์จะวิเคราะห์ค่าในรูป MLSS หรือ MLVSS ค่า F/M ratio มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ หากมีค่าสูงเกินไปจะทำให้สารอาหารเหลืออยู่มากในน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำและอาจทำให้น้ำทิ้งมีค่า BOD เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด การแก้ปัญหาในกรณีนี้ทำให้ค่า F/M ลดต่ำลงได้โดยการลดการทิ้งตะกอนส่วนเกินออกจากระบบเพื่อเพิ่มปริมาณตะกอนในระบบก็จะทำให้ F/M ratio ลดลงประสิทธิภาพจะสูงขึ้นได้ นอกจากนี้แล้วหาก F/M ratio สูงในถังปฏิกริยาจะพบจุลินทรีย์พวก Sarcodina และ Phyto flagellates หรือพวก Filamentous ทำให้การตกตะกอนทำได้ยากด้วย

$$\text{F/M} = \frac{QS_0}{XV} \quad (15)$$

$X$  = ความเข้มข้นของ MLSS หรือ MLVSS ในถังปฏิกริยา (มก./ล)

$V$  = ปริมาตรถังปฏิกริยา (ปริมาตร)

ตารางที่ 2 แสดงช่วงการทำงานของรูปแบบต่าง ๆ ตามค่า F/M ratio โดยวัดค่าอาหารในรูป BOD, COD และ TOC ช่วงของภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์นี้ เป็นแนวทางที่นำไปใช้งานไม่ใช่ค่าต่ำสุดและสูงสุดที่ยอมรับให้มีการเปลี่ยนแปลงได้

**ตารางที่ 2** ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ในช่วงการทำงานต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกอินทรีย์สาร F/M ratio		
	อัตราการบำบัดสูง	อัตราการบำบัดธรรมดา	อัตราการบำบัดต่ำ
	(kg BOD)/(kg MLVSS.d)	(kg BOD)/(kg MLVSS.d)	(kg BOD)/(kg MLVSS.d)
BOD	0.50 – 2.00	0.20 – 0.50	0.05 – 0.15
COD*	0.30 – 1.50	0.12 – 0.30	0.03 – 0.09
TOC**	1.50 – 6.00	0.50 – 1.50	0.10 – 0.33

หมายเหตุ \*กำหนดให้ค่า BOD/COD สำหรับน้ำเสียมีค่า 0.60

\*\*กำหนดให้ค่า BOD/TOC สำหรับน้ำเสียมีค่า 2.50

ที่มา: สุรพล (2538)

1.2.3 ค่าอายุตะกอน หมายถึงระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์ไหลหมุนเวียนอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสีย บางครั้งใช้ศัพท์ต่างกันออกไป เช่น sludge age ( $\theta_c$ ), solids retention time (SRT) หรือ mean cell residence time (MCRT) ค่าอายุตะกอนเป็นตัวแปรที่สำคัญมากในการทำงานของระบบและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) การควบคุมค่าอายุตะกอนให้มีค่าคงที่ จะทำให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์หรือค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ตามไปด้วย สมการของค่าอายุตะกอนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\theta_c = M_t/M_w \quad (16)$$

$M_t$  = ปริมาณจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบทั้งหมด (มวล)

$M_w$  = ปริมาณจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบ (มวล)

สำหรับระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์

$$\theta_c = V\bar{X}/Q_w X_w \quad (17)$$

$Q_w$  = อัตราการไหลของตะกอนออกจากระบบ (ปริมาตร/เวลา)

$X_w$  = ความเข้มข้นของตะกอนที่ออกจากระบบ (มก./ล.)

สำหรับระบบเอสบีอาร์ ซึ่งมีการระบายตะกอนส่วนเกินออกจากถังปฏิบัติการ โดยตรงค่า  $X = X_w$  เพราะฉะนั้น สามารถหาปริมาณการระบายตะกอนออกจากระบบเพื่อควบคุม ค่าอายุตะกอนได้คงที่ดังนี้

$$Q_w = V/\theta_c \quad (18)$$

วิธีควบคุมการทำงานของกระบวนการเอสบีอาร์ โดยใช้ค่าอายุตะกอนเป็นวิธีที่ดีที่สุดเพราะเป็นการควบคุมภาวะบรรทุสารอินทรีย์ไปในตัวและสามารถคำนวณค่าของตะกอนที่นำไปทิ้งได้อย่างถูกต้อง สำหรับค่าอายุตะกอนในช่วงการทำงานต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าอายุตะกอนในช่วงการทำงานแบบต่าง ๆ ซึ่งหมายถึงการควบคุมค่าอายุตะกอนเป็นการควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเป็นการคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบด้วย ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายได้แก่ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดไนตริฟิเคชัน หากลดอายุตะกอนให้ต่ำกว่า 7-10 วัน จะทำให้จุลินทรีย์ชนิดนี้เจริญเติบโตไม่ทัน และหลุดออกไปกับตะกอนส่วนเกินที่นำไปทิ้งจนไม่สามารถเกิดไนตริฟิเคชันได้

**ตารางที่ 3** ค่าอายุตะกอนในช่วงการทำงานต่าง ๆ

รูปแบบของกระบวนการ	ค่าอายุตะกอน (วัน)
อัตราการบำบัดสูง	น้อยกว่า 3
อัตราการบำบัดธรรมดา	5-15
อัตราการบำบัดต่ำ	มากกว่า 20

ที่มา : สุรพล (2538)

ค่าอายุตะกอนนับว่าเป็นตัวควบคุมระบบที่สำคัญดังสมการต่อไปนี้

$$1/\theta_c = YU - k_d \quad (19)$$

$$U = \frac{Q(S_0 - S_c)}{XV} \quad (20)$$

$\theta_c$  = ค่าอายุตะกอน (วัน)

$U$  = อัตราส่วนการใช้อาหารจำเพาะ (1/วัน)

$Y$  = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่อน้ำหนักสารอินทรีย์

$k_d$  = สัมประสิทธิ์การตายสลายตัวของจุลินทรีย์ (1/วัน)

ค่า  $Y$  และ  $k_d$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ทางจลศาสตร์ (Kinetic coefficient) เป็นค่าคงที่ขึ้นกับประเภทของน้ำเสียและสภาพการบำบัดน้ำเสีย จากสมการที่ (38) เทียบกับสมการที่ (33) สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (39) ในสมการที่ (37) จะได้สมการที่ (40) ดังนี้

$$U = E * F/M \quad (21)$$

$$1/\theta_c = Y * E * F/M - k_d \quad (22)$$

สมการที่ (40) พบว่าค่า  $Y$  และ  $k_d$  คงที่ หากทราบค่า  $E$  และ  $F/M$  จะหาค่า  $\theta_c$  ได้และหาอัตราการสูบปริมาณตะกอนส่วนเกิน ( $Q_w$ ) ออกจากระบบได้ตามที่กล่าวมาแล้ว

1.2.4 อัตราการสูบตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) เป็นตัวแปรที่จะคุมให้ค่า  $F/M$  และค่า  $\theta_c$  คงที่ซึ่งจะทำให้ระบบทำงานที่สภาวะคงที่ (steady state condition) ความสัมพันธ์ในการคุมปริมาณตะกอนส่วนเกิน ( $Q_w$ ) สามารถหาได้จากสมการที่ (15), (16), (18) และ (22)

1.2.5 SVI (sludge volume index) หมายถึง ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์คิดเป็นมิลลิลิตรที่ตกตะกอนภายในระยะเวลา 30 นาที โดยเทียบต่อหน่วยน้ำหนัก 1 กรัม ของตะกอนจุลินทรีย์ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม-ลิตร โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าตัวเลขแสดงความสามารถในการตกตะกอนโดยไม่มีหน่วย

$$SVI = (V_s * 1000) / MLSS \quad (23)$$

$V_s$  = ตัวอย่าง MLSS 1 ลิตรในถังเติมอากาศ ตกตะกอนใน imhoff cone ขนาด 1 ลิตร  
ในเวลา 30 นาที (มล.)

ค่า SVI น้อยกว่า 200 มล./มก. การตกตะกอนดี  
 อยู่ในช่วง 100 – 200 มล./มก. การตกตะกอนดีปานกลาง  
 มากกว่า 200 มล./มก. ต้องปรับปรุงแก้ไข

SVI มีความสัมพันธ์กับค่าอายุตะกอน หากเลือกการทำงานที่ค่าอายุตะกอนต่ำเกินไป เช่น น้อยกว่า 5 วัน โอกาสที่จะทำให้ค่า SVI มีค่าสูงมีมาก ทำให้การตกตะกอนไม่ดี ระบบมีประสิทธิภาพต่ำในที่สุด

#### 1.2.6 ข้อได้เปรียบของระบบ SBR เทียบกับระบบ activated sludge ทั่วไป

1. ระบบ SBR เป็นระบบที่ใช้ถังปฏิบัติการเพียงถังเดียว โดยจะเป็นทั้งถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank) ถังเติมอากาศ (aeration tank) และถังตกตะกอน (sedimentation tank) ทำให้ประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้าง
2. สามารถทำการเดินระบบและควบคุมดูแลระบบได้ง่าย
3. สามารถรับน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงของ volumetric loading โดยน้ำเสียที่เข้าระบบถูกเจือจาง โดยน้ำในถังปฏิบัติการ
4. สามารถเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานของระบบ SBR ให้เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณน้ำเสียได้
5. ตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นมีจำนวนน้อยมาก ทำให้ดูแลระบบง่ายกว่าระบบ activated sludge ทั่วไป
6. การแยกแหว่งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว กับตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ใกล้อุดมคติ
7. ระบบ SBR สามารถควบคุมให้เกิดปฏิกิริยา nitrification / denitrification หรือ phosphorus removal ได้โดยไม่ต้องเติมสารเคมี แต่ใช้วิธีควบคุมวัฏจักรของการบำบัด และเป็นข้อได้เปรียบกว่าระบบ activated sludge ทั่วไป

8. ลดโอกาสของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกเส้นใย เนื่องจาก BOD loading ในถังปฏิกริยามีการเปลี่ยนแปลงตลอดการบำบัด

9. ลดปัญหาในการนำตะกอนหมุ่นเวียนกลับจากถังตกตะกอนไปยังถังเติมอากาศ

10. เป็นระบบที่ใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบ activated sludge ทั่ว ๆ ไป

## 2. ระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

### 2.1 ความเป็นมาโครงการบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ของกรุงเทพมหานคร

#### 2.1.1 แผนหลักการแก้ปัญหา

กรุงเทพมหานครได้จัดทำแนวทางการแก้ไขปัญหาน้ำเสียเป็นสามแนวทางการแก้ปัญหาในระยะสั้น เป็นการดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก เช่น โรงบำบัดน้ำเสีย อ่อนนุช โรงบำบัดน้ำเสียบึงพระรามเก้า เป็นต้น

2.1.2 การแก้ปัญหาระยะยาว เป็นการดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ โดยแผนหลักการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร เป็นแนวทางในการวางแผนปฏิบัติการ โดยในระยะแรกกรุงเทพมหานคร ได้ดำเนินโครงการบำบัดน้ำเสียรวม จำนวน 7 พื้นที่ 6 โครงการ ดังนี้

โครงการบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ครอบคลุมพื้นที่ 2.7 ตร.กม. ของชุมชนบางส่วนในเขต บางรัก, ป้อมปราบฯ, และเขตสัมพันธวงศ์ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 30,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสียรัตนโกสินทร์ ครอบคลุมพื้นที่ 4 ตร.กม. ของเขตพระนคร สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 40,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสียรวมระยะที่ 1 ครอบคลุมพื้นที่ 37 ตร.กม. ของเขตป้อมปราบฯ, สัมพันธวงศ์ ปทุมวัน ราชเทวี และ บางส่วนของเขตดุสิต พญาไท ดินแดง โรงบำบัดน้ำ

เสียตั้งอยู่ที่บริเวณข้างศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร 2 ดินแดง สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 350,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสียนานาวา (กทม. 2) ครอบคลุมพื้นที่ 28.5 ตร.กม. ของเขต บางรัก ยานนาวา สาทร บางคอแหลม โรงบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่ที่บริเวณปากคลองช่องนนทรี สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 200,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสียหนองแขม-ภาษีเจริญ-ราษฎร์บูรณะ แบ่งการดำเนินการออกเป็นสองแห่ง คือ แห่งแรกครอบคลุมพื้นที่ 42 ตร.กม. ของเขตราษฎร์บูรณะ โรงบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่ที่ทุ่งครุ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 65,000 ลบ.ม. ต่อวัน แห่งที่สองครอบคลุมพื้นที่ 44 ตร.กม. ของเขตหนองแขม ภาษีเจริญ โรงบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่บริเวณ โรงกำจัดขยะหนองแขม สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 157,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสยรวมระยะที่ 4 ครอบคลุมพื้นที่ 33.4 ตร.กม. ของเขตคูสิต พญาไท ห้วยขวาง และจตุจักร โรงบำบัดน้ำเสียตั้งในซอยอินทามระ 35 สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 150,000 ลบ.ม. ต่อวัน

2.1.3 นอกจากนี้ กรุงเทพมหานคร ได้จัดทำแผนงานการบำบัดน้ำเสียรวมเพิ่มเติม ในแผนพัฒนากรุงเทพมหานคร ฉบับที่ 5 โดยจะดำเนินการก่อสร้างโครงการบำบัดน้ำเสียรวม อีก 3 โครงการ คือ

โครงการบำบัดน้ำเสียพระโขนง – คลองเตย ครอบคลุมพื้นที่ 57.3 ตร.กม. ของเขตพระโขนง คลองเตย และบางส่วนของเขตประเวศ โรงบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่ในบริเวณการทำเรือแห่งประเทศไทย คลองเตย สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 320,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสียธนบุรี ครอบคลุมพื้นที่ 51 ตร.กม. ของเขตบางพลัด บางกอกน้อย, บางกอกใหญ่ ธนบุรี คลองสาน และบางส่วนของเขตจอมทอง โรงบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่ในซอยสุขสวัสดิ์ 30 สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 575,000 ลบ.ม. ต่อวัน

โครงการบำบัดน้ำเสียหนองบอน ครอบคลุมพื้นที่ 58 ตร.กม. ของเขตประเวศ และบางส่วนของเขตพระโขนง โรงบำบัดน้ำเสียตั้งอยู่ในบริเวณบึงหนองบอน สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 125,000 ลบ.ม. ต่อวัน

### 3. รายละเอียดของโครงการบำบัดน้ำเสียรวมกรุงเทพมหานคร ระยะที่ 4 (โรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร)

พื้นที่โครงการครอบคลุมพื้นที่ 33.4 ตารางกิโลเมตร ของเขตจตุจักร และบางส่วนของ เขตห้วยขวาง และเขตพญาไท แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

#### 3.1 ส่วนระบบรวบรวมน้ำเสีย (Collection System)

พื้นที่ครอบคลุม : 33.4 ตารางกิโลเมตร

ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้ : 150,000 ลบม.ต่อวัน

ความยาวท่อของระบบรวบรวมน้ำเสีย ท่อคอนกรีตก่อสร้างโดยวิธีดันท่อ

(Pipe Jacking)

รวมความยาวท่อ : 24,785 เมตร

แนวท่อประธาน ถนนวิภาวดีรังสิต และ ถนนพหลโยธิน

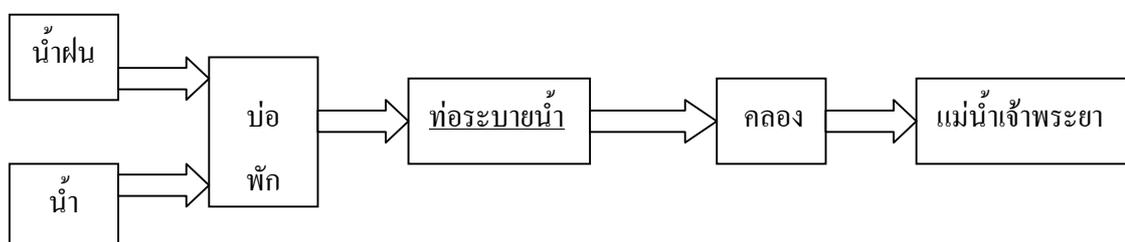
บ่อสูบน้ำเสียขนาดเล็กเพื่อยกระดับน้ำให้ไหลตามแรงโน้มถ่วงต่อไป : จำนวน 13 สถานี

ท่อส่งน้ำเสีย HDPE (Forced Main) Ø 180-450 มม. : จำนวน 8,875 เมตร

จำนวนบ่อพัก (Manholes) : จำนวน 161 บ่อ

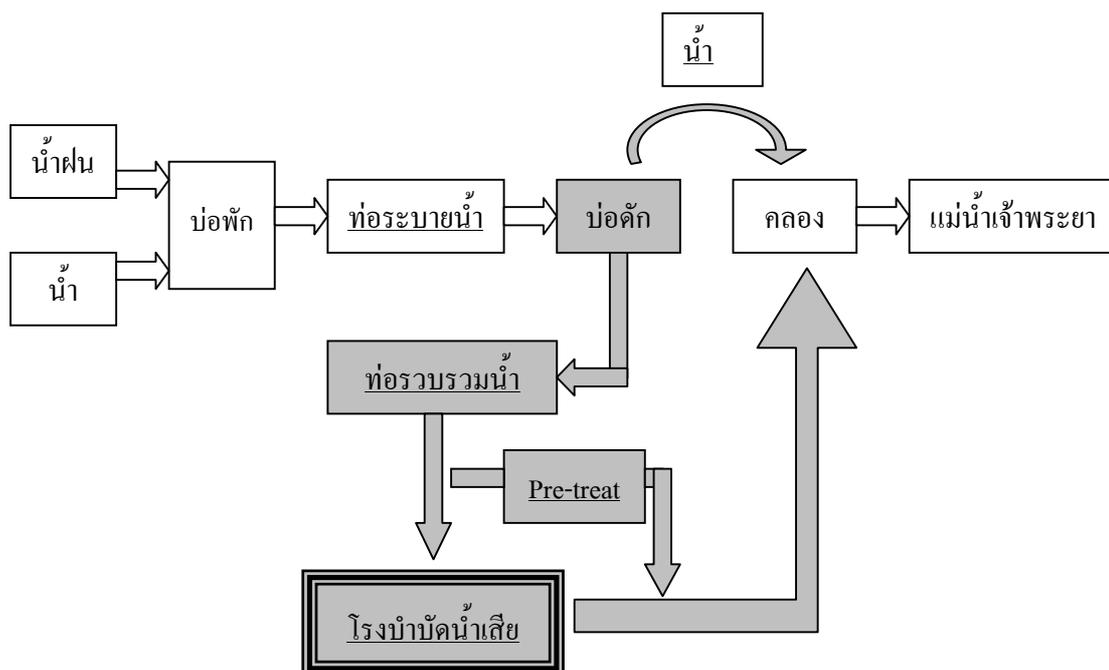
จำนวนบ่อดักน้ำเสีย (Interceptor Chamber) : จำนวน 166 บ่อ

โครงข่ายท่อระบายน้ำในปัจจุบัน การระบายน้ำในกรุงเทพมหานครปัจจุบันเป็นการระบายน้ำในระบบท่อรวม (Combined Sewers) คือน้ำฝนและน้ำเสียระบายอยู่ในท่อเดียวกัน ต่างไหลลงบ่อดัก ผ่านท่อระบายน้ำ ปล่อยลงคลองและไหลไปสู่แม่น้ำเจ้าพระยา



ภาพที่ 4 ระบบรวบรวมน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ระยะที่ 4

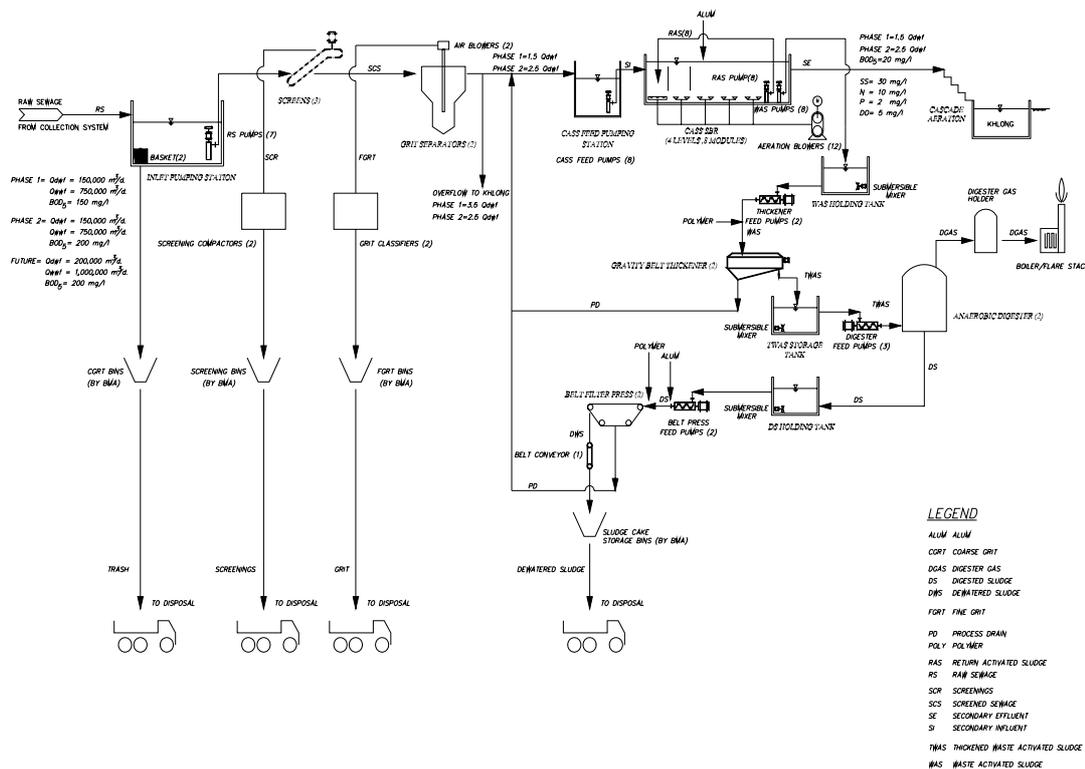
โครงข่ายท่อระบบรวบรวมน้ำเสีย การวางโครงข่ายท่อใหม่ ของระบบรวบรวมน้ำเสียจะทำการผันน้ำเสียจากท่อระบายน้ำ ที่จุดก่อนปล่อยลงคลอง ให้ไหลไปตามท่อรวบรวมน้ำเสีย ที่วางขึ้นใหม่ไปสู่โรงบำบัดน้ำเสีย และทำการบำบัดก่อนปล่อยลงคลองที่อยู่ใกล้โรงบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 5 ระบบระบายน้ำฝนทิ้งก่อนเข้าระบบ SBR

### 3.2 ส่วนระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment Plant)

ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 6 แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียรวม กทม. ระยะที่ 4

#### 3.2.1 ระบบบำบัดขั้นต้น ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

##### ก. บ่อสูบน้ำเสีย (Inlet Pumping Station)

บ่อสูบน้ำเสียจะรับน้ำเสียจากระบบท่อรวบรวมน้ำเสียผ่านทางท่อ ขนาด 2,500 มม. ความสามารถในการรับน้ำเสียสูงสุด 750,000 ลบม./วัน ในบ่อสูบน้ำเสียติดตั้งเครื่องสูบน้ำ (submersible pumps) จำนวน 8 ชุด ขนาด 5,000 ลบม./ชม. กำลังส่ง 15 เมตร ซึ่งจะมีน้ำเข้าสู่ระบบบำบัด เอสบิอาร์ ได้สูงสุด 225,000 ลบม./วัน น้ำเสียส่วนเกินจะไหลล้นออกลงสู่คลองบางซื่อ หลังจากผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว

### ข. ระบบตะแกรงดักขยะ (Screening System) ประกอบด้วย

1. ตะแกรงหยาบ (Coarse Screens) ขนาดช่องห่าง 50 มม. กว้าง 2,000 มม. สูง 3,000 มม. จำนวน 2 ชุด ซึ่งเป็นตะแกรงดักขยะออกโดยอัตโนมัติ

2. ตะแกรงละเอียด (Fine Screens) ขนาดช่องห่าง 5 มม. กว้าง 2,000 มม. สูง 3,000 มม. จำนวน 4 ชุด ทำงานโดยอัตโนมัติ โดยดักขยะขึ้นมาใส่บนสายพานลำเลียง (Screw Conveyors) เพื่อลำเลียงขยะไปเข้าบีบอัดขยะเครื่องอัดขยะ (Screw Compactor) เพื่อลดปริมาตรขยะลง 40% เครื่องบีบขยะจะแยกน้ำและขยะออกจากกัน โดยน้ำจะไหลลงด้านล่างตะแกรงละเอียด ส่วนขยะจะถูกเก็บในถังเก็บขยะของ กทม.

### ค. ระบบแยกกรวดทราย (Grit Removal System) ประกอบด้วย

1. บ่อตกตะกอนกรวดทราย (Grit removal) ทำหน้าที่แยกกรวดทรายออกจากน้ำเสียโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องกววนชนิดใบพัดอยู่กลางบ่อ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนที่ก้นบ่อ จำนวน 2 บ่อ ขนาด  $\varnothing$  8.00 ม. บนบ่อจะติดตั้งเครื่องสูบล้างกรวดทราย (Grit Pumps) 1 ชุด/บ่อ ขนาด 36 ลบม/ชม.

2. เครื่องแยกตะกอนหนัก (Grit Classifiers) กรวดทรายจะถูกสูบเข้าเครื่องแยกตะกอนหนัก ซึ่งเป็นสกรูหมุนดึงกรวดทรายออกด้านบน ส่วนน้ำจะถูกแยกออกทางด้านล่าง ไหลกลับสู่บ่อดักกรวดทราย

### ง. ระบบระบายน้ำส่วนเกิน (By-Pass System)

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้วจะถูกส่งเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ซึ่งจะมีประตูน้ำควบคุมปริมาณน้ำอัตโนมัติ (Flow Control Gate) ซึ่งน้ำที่มากกว่า 225,000 ลบม./ชม. จะไหลล้นออกทางช่องระบายน้ำส่วนเกิน และไหลลงสู่คลองบางซื่อ ซึ่งน้ำเสีย มีความเจือจางมากกว่า 5 เท่า (SDWF) คุณภาพน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำที่ปลายทางออก จะติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหล ชนิด (Ultrasonic flow Meter)

#### จ. บ่อสูบน้ำเสียเข้าระบบเอสบีอาร์ (CASS™ SBR Feed Pumping Station)

จำนวนรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น 4 บ่อ ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 1,000 ลบม./ชม. จำนวน 4 ชุด/บ่อ โดยแต่ละบ่อ จะสูบน้ำเสียเข้าบ่อ เอสบีอาร์ ในแต่ละชั้นด้วย ปริมาณ 3,000 ลบม./ชม.

#### ฉ. บ่อเอสบีอาร์

บ่อ SBR จำนวน 4 ชั้นแต่ละชั้นมีขนาดพื้นที่ 4,070 ลบม. ปริมาตร 20,000 ลบม. ภายในบ่อติดตั้งท่อจ่ายอากาศ, หัวจ่ายอากาศ (Fine Diffuser) จำนวน 4,000 ชุด, เครื่องสูบลมตะกอนหมุนเวียนกลับ 1 ชุด ขนาด 125 ลบม./ชม., เครื่องสูบลมตะกอนส่วนเกินขนาด 156 ลบม./ชม., เครื่องวัดออกซิเจน ในน้ำเสียและ เครื่องรินน้ำใสออก (Decanter)

#### ช. ระบบบำบัดตะกอน (Sludge treatment)

ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบมาเก็บไว้ในบ่อพักตะกอน (Sludge Holding Tank) ซึ่งภายในบ่อพักติดตั้งเครื่องกวนตะกอน (mixer) และเครื่องเป่าอากาศ (Submersible Ejector) เพื่อให้ตะกอนเกิดการหมุนเวียน และไม่มีการแข็งตัว ตะกอนจะถูกสูบไปบำบัดที่อาคารบำบัดตะกอน ประกอบด้วยเครื่องเพิ่มความเข้มข้นตะกอน (Gravity Belt Thickener) จำนวน 3 ชุด ซึ่งสามารถเพิ่มความเข้มข้น (Dry solid) จาก 1% เป็น 5% หลังจากนั้นจะสูบไปบำบัดยังถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic digester) ขนาด 4,000 ลบม. จำนวน 2 ถัง หลังจากบำบัดเสร็จจะไหลลงสู่ถังพักตะกอน เพื่อสูบเข้าเครื่องรีดตะกอนต่อไป จำนวน 2 ชุด ซึ่งเพิ่มความเข้มข้นจาก 5% เป็น 20% และส่งต่อทางสายพานลำเลียงลงสู่ถังเก็บตะกอนหมาด (Sludge cake) และใส่รถของ กทม. นำไปทิ้งต่อไป

### 4. ระบบ SBR CASS™ (CASS™ Sequencing Batch Reactor)

4.1 ระบบ SBR ของ CASS™ เป็นระบบที่ใช้บำบัดขั้นสูง เหตุผล ที่นำมาพิจารณาใช้ ประกอบ คือรูปแบบ, ราคา, ขนาดพื้นที่ และวิธีการควบคุมที่ง่าย มีความยืดหยุ่น ซึ่งการดัดแปลงจากระบบตะกอนเร่ง (As) ในการนำมาใช้ให้สอดคล้องและเหมาะสมสำหรับน้ำเสียชุมชน สำหรับการบำบัดเต็มรูปแบบ หรือบางส่วนรวมถึงน้ำเสียอุตสาหกรรม เพื่อการควบคุมตะกอนที่เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นปัญหาโดยทั่วไป ของระบบ Conventional และ ระบบ Activated sludge อื่นๆ ความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เมื่อผ่านการบำบัดจะมีความเข้มข้น ของ BOD,

SS, และ  $\text{NH}_3\text{-N}$  น้อยกว่า 10, 10, และ 1 มก/ล. ตามลำดับ ดังนั้น จึงเป็นส่วนที่สำคัญ เหมาะสมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา ของระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบ SBR ของ CASS™ ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของระบบ Activated sludge ด้วยการทำงานเหมือนกับ Sequencing Batch Reactor (SBR). การออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำเสียที่ปริมาณสูงสุด โดยทั่วไประบบ SBR ของ CASS™ จะควบคุมเวลาบนพื้นฐานง่าย ๆ 4 ชม./รอบ ซึ่งในแต่ละรอบจะประกอบด้วยการเติมอากาศ 2 ชม. และหยุดเติมอากาศ 2 ชม. เพื่อตกตะกอนและดึงน้ำออก ถ้าการใช้งานที่ความเข้มข้นของน้ำเสียน้อยนั้น สามารถเปลี่ยนแปลงเวลาของแต่ละรอบ เพื่อให้เหมาะสมในการประหยัดพลังงานให้มากที่สุด ซึ่งระบบนี้ไม่ได้ใช้อุปกรณ์พิเศษอะไรในการกวน แต่อาศัยลำดับการทำงานในรูปแบบของ Anoxic และรูปร่างของบ่อและรูปแบบของการควบคุม ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยการควบคุมระบบเติมอากาศ ด้วยรูปแบบที่ง่าย

ระบบ SBR ของ CASS™ ถูกนำไปใช้งานในประเทศต่างๆ เช่น ประเทศอเมริกา, แคนาดา, บราซิล, แม็กซิโก, จีน, ออสเตรเลีย, อเมริกาใต้, เปตาริโก, ไต้หวัน, เกาหลี, ยุโรปตะวันออกกลาง, สวีเดน และไทย

**4.2 ระบบ SBR ของ CASS™ เป็นผลงานของบริษัท Earth Tech Engineering จากประเทศอังกฤษ** ระบบ SBR ของ CASS™ เป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีแบบใหม่ อุปกรณ์ที่ออกแบบจะใช้เป็นมาตรฐานเหมือนกัน ระบบบำบัดน้ำเสีย ของ CASS™ ที่นำมาใช้ในประเทศไทย คือ ระบบบำบัดน้ำเสียที่ยานนาวา ขนาด 200,000 ลบม./วัน



**ภาพที่ 7** ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ CASS<sup>TM</sup> โรงบำบัดน้ำเสียยานนาวา

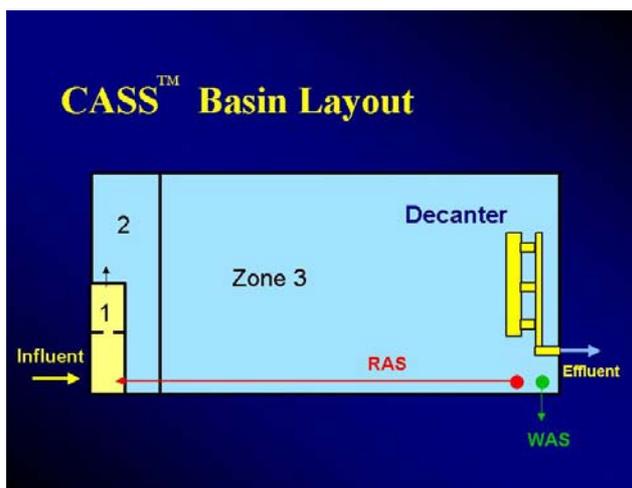


**ภาพที่ 8** การวางซ้อนกันของโรงบำบัดน้ำเสีย ยานนาวา

#### 4.3 ข้อได้เปรียบของระบบ SBR ของ CASS<sup>TM</sup>

1. ลดพื้นที่ของระบบลง ได้มากกว่า 30-50% เมื่อเทียบกับระบบ Conventional activated sludge
2. สามารถรับปริมาณน้ำเสียที่การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสูงเข้าสู่ระบบได้อย่างต่อเนื่อง
3. ระบบมีเสถียรภาพในการทำงาน, มีความยืดหยุ่น และการเปลี่ยนแปลงเข้มข้นสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเวลา
4. ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและปริมาณราคาค่าก่อสร้างต่ำ
5. ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และการดูแลรักษาน้อย
  - 5.1 ใช้ พนักงานควบคุมดูแลน้อย เนื่องจากเป็นระบบอัตโนมัติ

- 5.2 มีกลไกและอุปกรณ์ในระบบน้อย
- 5.3 ไม่มีถังตกตะกอนในการควบคุมดูแล
6. ประหยัดพื้นที่บ่อที่ใช้ร่วมกันในแต่ละบ่อ
7. บ่อเดียวจึงง่ายต่อการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ
8. ไม่มีถังตกตะกอนสุดท้าย ดังนั้นจึงไม่ต้องสูบตะกอนให้ยุ่งยากในการควบคุม



ภาพที่ 9 รูปแบบของ CASS™ SBR



ภาพที่ 10 CASS™ SBR แบบถังกลม



ภาพที่ 11 บ่อ CASS™ SBR แบบวางเรียงกัน 4 บ่อ



ภาพที่ 12 CASS™ SBR แบบวางเรียงกัน 8 บ่อ



ภาพที่ 13 CASS™ SBR ในประเทศจีน



ภาพที่ 14 CASS™ SBR ในประเทศ อเมริกา

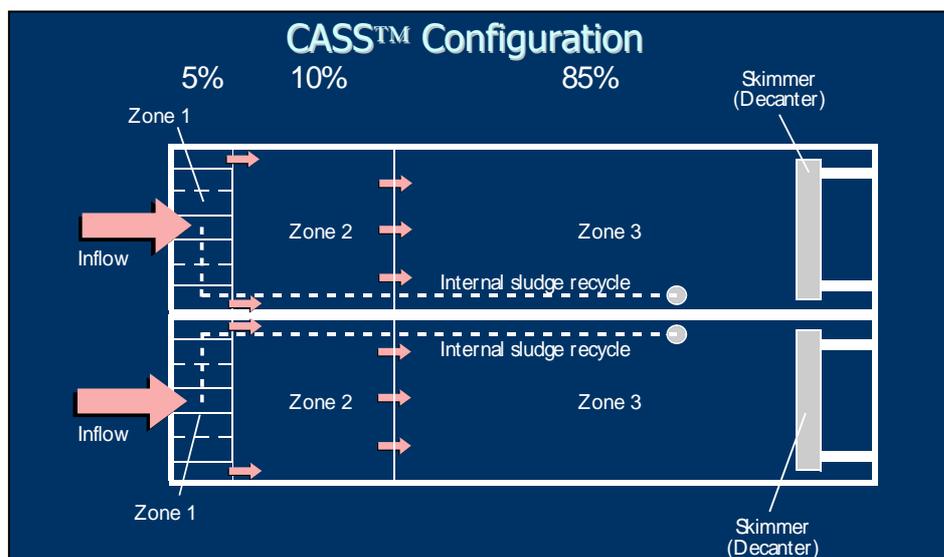
#### 4.4 ถึงปฏิกรณ์ของ CASS™

ระบบ CASS™ ได้รวมเอาถังคัดพันธุ์ (selector) และถังปฏิกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ ดังรูปที่ 15 แสดงถึงปฏิกรณ์ 2 ถัง โดยในแต่ละถังจะแบ่งออกเป็น 3 โซน ซึ่งแต่ละโซนจะมีน้ำไหลต่อเนื่องกันอยู่ตลอดวัฏจักรของการทำงาน ในโซนที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นถังคัดพันธุ์ ส่วนโซนที่ 2 ทำหน้าที่เป็นส่วนเติมอากาศรอง (secondary aeration) ส่วนโซนที่ 3 ทำหน้าที่เป็นส่วนเติมอากาศหลัก (main aeration) ตะกอนจะถูกหมุนเวียนกลับมาที่โซนที่ 1 ตลอดเวลา เพื่อรักษาอัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ (F/M) ให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพชนิดสร้างฟล็อก โดยมีการเวียนกลับตะกอน 20% ของอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ การกำจัดบีโอดีจะเกิดขึ้นพร้อมกับการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังเป็นถังคัดพันธุ์เพื่อป้องกันการเติบโตของจุลชีพชนิดสร้างเส้นใย โดยมีรายละเอียดดังนี้

โซนที่ 1 (Captive Selector) น้ำเสียจะไหลเข้าโซนที่ 1 โดยจะมีการหมุนเวียน MLSS จากโซนที่ 3 เข้ามาในโซนที่ 1 ประมาณ 20% ของอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ เพื่อรักษาอัตราส่วนสารอาหารต่อมวลอาหารต่อมวลจุลชีพเริ่มต้นให้เหมาะสมต่อการเติบโตของแบคทีเรียชนิดสร้างฟล็อก ( $F/M > 20 \text{ mg}$  มวลอาหารต่อมวลจุลชีพ) ภายในถังจะไม่มีการเติมอากาศและมีการติดตั้งแผ่นกั้น (baffle) ให้มีรูปแบบการไหลแบบปลั๊กโฟล (plug flow) เพื่อให้เพียงพอต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของแบคทีเรีย

โซนที่ 2 (Secondary Aeration) น้ำเสียไหลจากโซนที่ 1 มายังโซนที่ 2 ซึ่งมีลักษณะการทำงานเป็นแบบซีเอสทีอาร์จะมีการลำดับการเติมและหยุดเติมอากาศพร้อมกับโซนที่ 3 เนื่องจากจากโซนที่ 1 มีปริมาณออกซิเจนละลายในระบบจึงมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับโซนที่ 3 การรวมเอาโซนที่ 1 และ โซนที่ 2 เข้าด้วยกันทำให้เกิดสภาพการทำงานจากระบบแบบแอโรบิก แอเนอโรบิกและแอนแอโรบิก

โซนที่ 3 (Main Aeration) ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดของระบบ มีปริมาตรประมาณ 80% ของปริมาณรวมภายในถังมีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยควบคุมค่าปริมาณออกซิเจนละลายและโออาร์พีให้เหมาะสม ภายในโซนที่ 3 จะมีเวียร์ที่ปรับระดับได้ (Decanter) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกไปจากระบบและระบายน้ำทิ้งในกรณีที่มิน้ำทิ้งที่มิน้ำเข้าระบบมากเกินไป



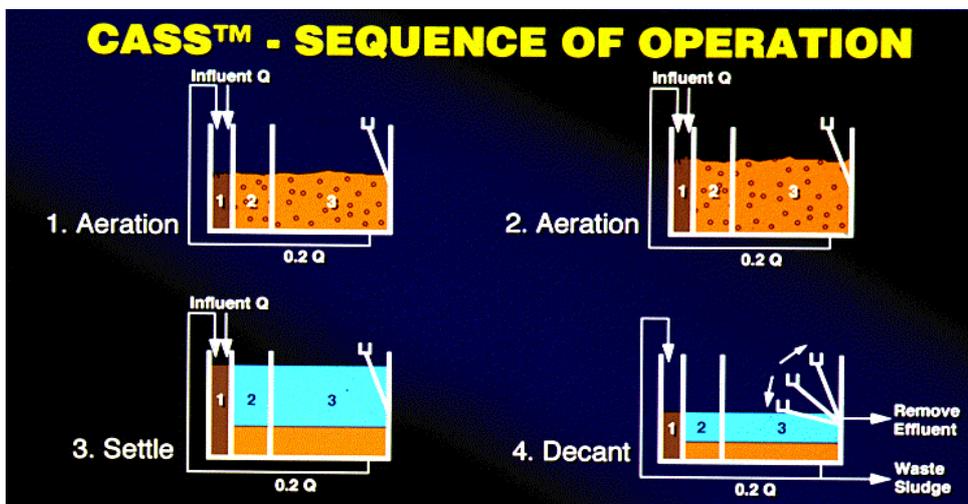
**ภาพที่ 15** รูปแบบของการทำงานของระบบ SBR ของบ CASS™

4.5 หลักการทำงานของระบบ SBR ของ CASS™ จะทำงานเป็นรอบตามลำดับขั้นตอน  
ดังนี้

เติมน้ำและเติมอากาศ FILL - AERATION

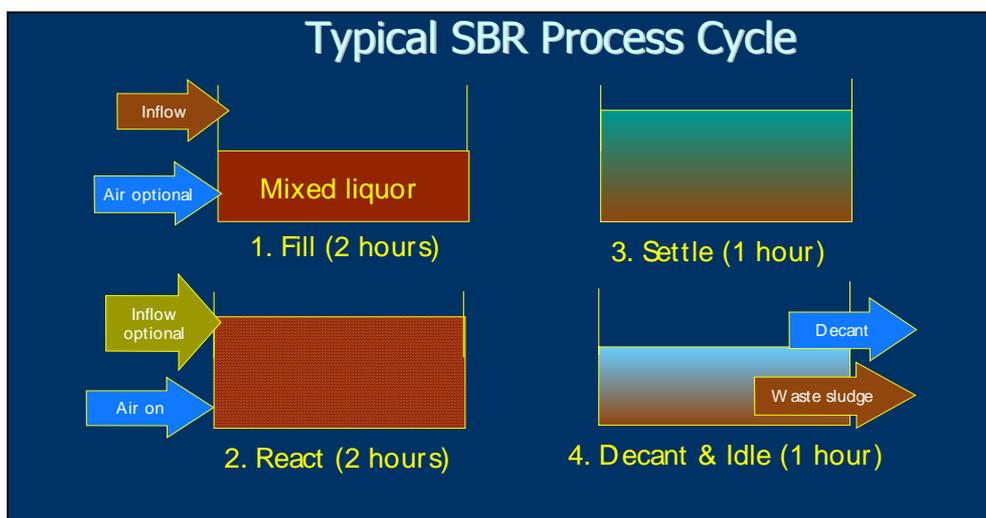
เติมน้ำและตกตะกอน FILL - SETTLE

รินน้ำออก DECANT (Surface Skim)



ภาพที่ 16 ลำดับการทำงานของระบบ SBR ของ CASS™

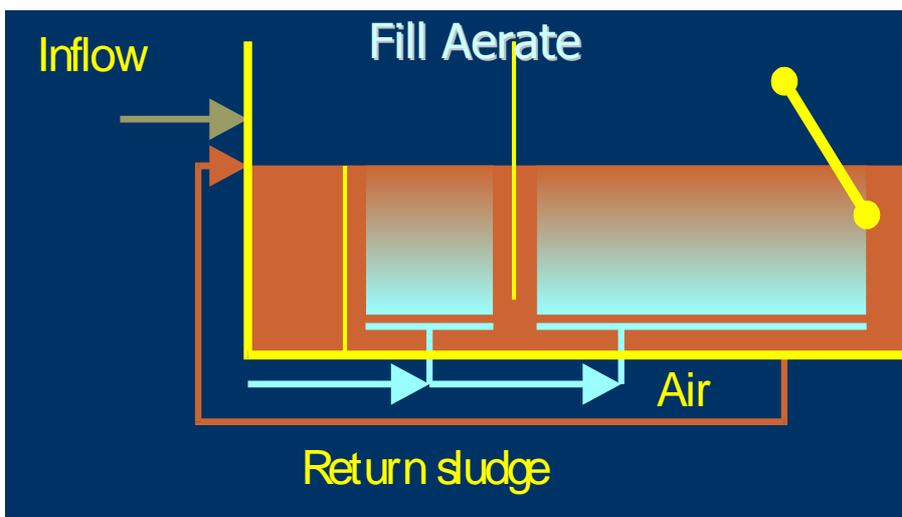
ตะกอนส่วนเกินจะถูกกำจัดออก เหลือไว้สำหรับใช้งานของ MLSS ในระดับที่ต้องการ ตะกอนที่มีความเข้มข้นเกิน 10,000 mg/L จะถูกสูบไปที่



ภาพที่ 17 กระบวนการทำงานใน 1 รอบของระบบ SBR ของ CASS™

### ก. ช่วง การเติมน้ำและจ่ายอากาศ (FILL – AERATION)

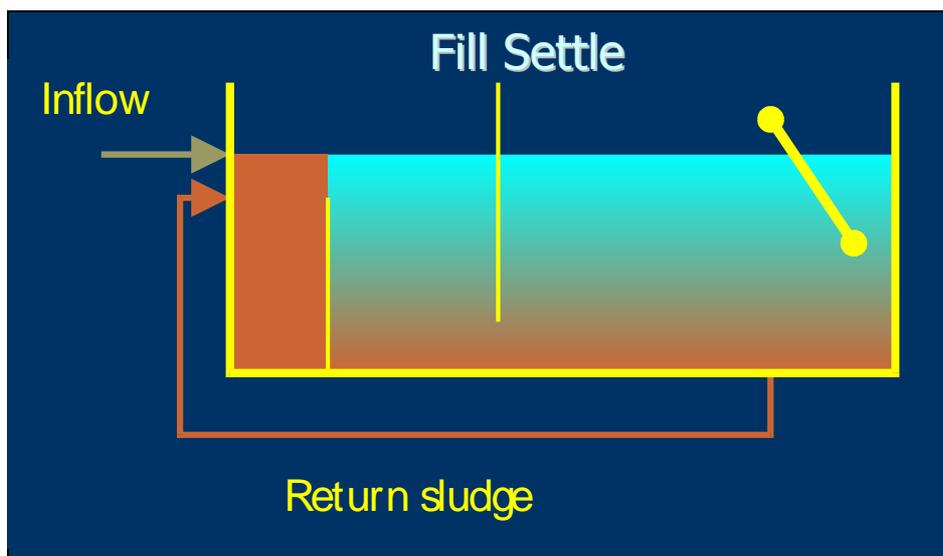
การเติมน้ำเข้าพร้อมกับจ่ายอากาศ รอบของปฏิกิริยาซึ่งการจ่ายอากาศ ต้องทันกับเวลา ในรอบระหว่างช่วงเวลาที่เข้าไปในโซน 1 และไปสัมผัสกับตะกอนหมุนเวียนมาจากโซน 3 ของบ่อเติมอากาศหลัก การเกิดปฏิกิริยา สภาวะกวนสมบูรณ์ เกิดขึ้น ที่บ่อเติมอากาศหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรถึง



**ภาพที่ 18** ช่วงเวลาเติมน้ำและจ่ายอากาศ

### ข. ช่วง การเติมน้ำและตกตะกอน(FILL – SETTLE)

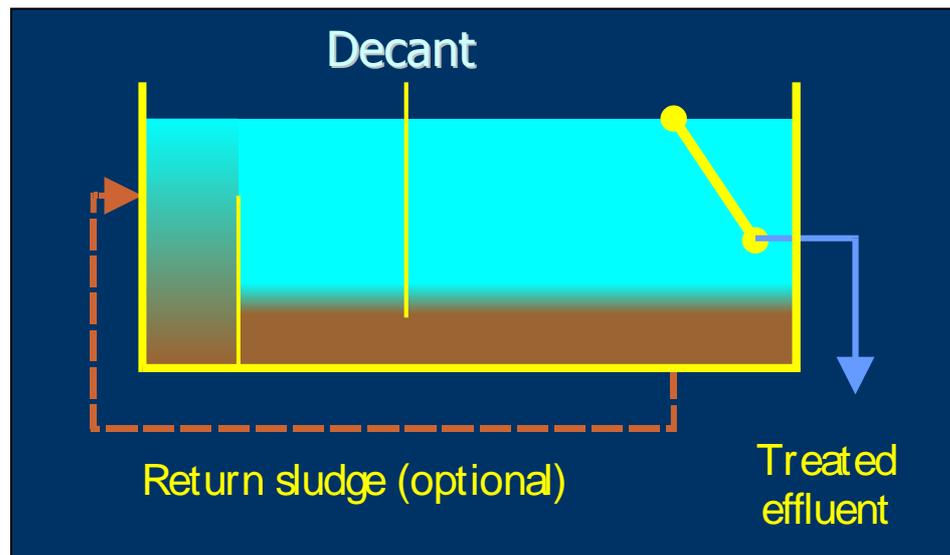
ส่วนแรกของช่วงการหยุดเติมอากาศ เมื่อเข้าสู่สภาวะการตกตะกอนเกิดขึ้นในโซน 3 สำหรับการแยกตะกอนและน้ำจากชั้นตะกอน ฟลอคจะเกาะติดด้วยกับมวลตะกอน และแยกจะออกมาจากชั้นน้ำใส ตกลงไปก้น หลังจากสิ้นสุดของช่วงการเติมอากาศ ตะกอนจะมีความเข้มข้นเป็นเนื้อเดียวกัน ระหว่างเริ่มต้นช่วงตกตะกอน ตะกอนจะเป็นแบบเม็ดเล็ก ๆ (Internal flocculation) ระหว่างพลังงานที่เหลืออยู่ในถังจะเป่าฟุ้ง รบกวนตะกอน ตะกอนจะค่อยหนาแน่น และตกลงไปรวมกันที่ก้น เมื่อเริ่มต้น การตกตะกอนจะช้า และจะเพิ่มขึ้น และจะค่อยหยุดเมื่อมีการอัดตัวมากขึ้นที่ก้น ความเร็วของการตกตะกอนจะเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของชั้นตะกอน ความลึกของบ่อ, พื้นที่ของบ่อ และรูปแบบของ ตะกอนชีวภาพ ที่ระดับผิวน้ำจะมีความเข้มข้นตะกอน 3,500 mg/L ไปจนถึงความเข้มข้นประมาณ 10,000 mg/L



ภาพที่ 19 ช่วงการเติมน้ำและตกตะกอน

ค. ช่วงดึงน้ำออก (DECANT EFFLUENT REMOVAL)

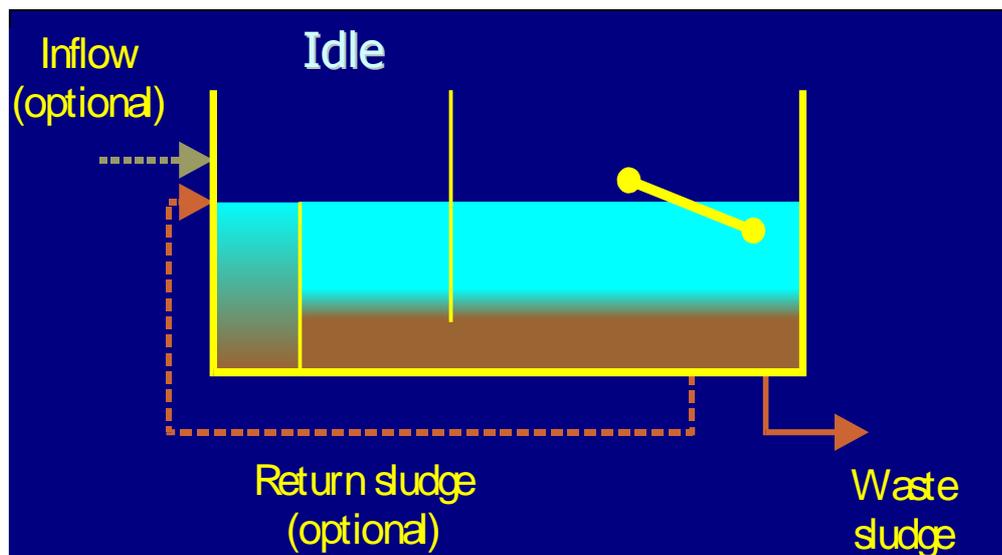
รางน้ำล้นของชุดรับน้ำจะอยู่บนระดับน้ำสูงสุด ในช่วงการเติมอากาศ และช่วงการตกตะกอน เพื่อป้องกันตะกอน ไหลออกไป ในช่วงระหว่างการดึงน้ำออกมา Decanter จะลดระดับลงมาที่ผิวน้ำเร็ว โดยมีเครื่องตรวจสอบ (Indicator float switch) ที่รางเลื่อน หลังจากนั้นจะขยับระดับตามผิวน้ำด้วยความเร็วคงที่ซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลออกจะคงที่ด้วย หลังจากเสร็จช่วงรินน้ำ Decanter จะขึ้นไปตำแหน่งสูงสุดด้วยความเร็วสูง



ภาพที่ 20 ช่วงการรินน้ำออก

#### ง. การช่วงพัก (IDLE)

ในการใช้งานช่วงการดึงน้ำออกจะใช้เวลาน้อยกว่าช่วงอื่นเสมอ ซึ่งเวลาที่เหลืออยู่จะถูกออกแบบให้เป็นช่วงพัก IDLE และใช้เป็นช่วงน้ำไหลเข้าระบบและเริ่มเติมอากาศ ขึ้นตอนของช่วงพัก IDLE ก่อน 4 นาที หลังจากที่ชุดรีนน้ำจะเลื่อนไปสูงสุด ตะกอนจะถูกดึงจาก โชน 3 ไปที่ โชน 1 เพื่อคัดเลือกฟัณฑ์และสร้างสภาวะ Anoxic/anaerobic ระบบถูกออกแบบมา สำหรับการใช้เวลา 4 ชม. ซึ่งได้ 6 รอบแต่ละบ่อ การทำระบบให้ง่ายต่อการควบคุมที่ง่าย ดังนั้น ผู้ควบคุมจะรู้ว่าในขณะนั้นอยู่ในช่วงไหน



ภาพที่ 21 ช่วงการตั้งตะกอนออก

ตารางที่ 4 รูปแบบของการทำงาน CASS™ จำนวน 4 บ่อ

Time (h)	0-1	1-2	2-3	3-4
Basin 1	Fill-Aerate	Fill-Aerate	Fill-Settle	Decant
Basin 2	Fill-Settle	Decant	Fill-Aerate	Fill-Aerate
Basin 3	Fill-Aerate	Fill-Settle	Decant	Fill-Aerate
Basin 4	Decant	Fill-Aerate	Fill-Aerate	Fill-Settle

**ตารางที่ 5** เวลาที่ใช้ในการทำงานของวัฏจักรของ CASS™

	Cycle Time			
CASS™ basin 1 Count (minutes)	FA 0-60	FA 60-120	FS 120-180	DI 180-240
CASS™ basin 2 Count (minutes)	FS 120-180	DI 180-240	FA 0-60	FA 60-120
CASS™ basin 3 Count (minutes)	DI 180-240	FA 0-60	FA 60-120	FS 120-180
CASS™ basin 4 Count (minutes)	FA 60-120	FS 120-180	DI 180-240	FA 0-60

FA = Fill-Aerated (120 minutes)

FS = Fill-Settle (60 minutes)

D = Decant (60 minutes)

I = Idle (included in Decant duration)

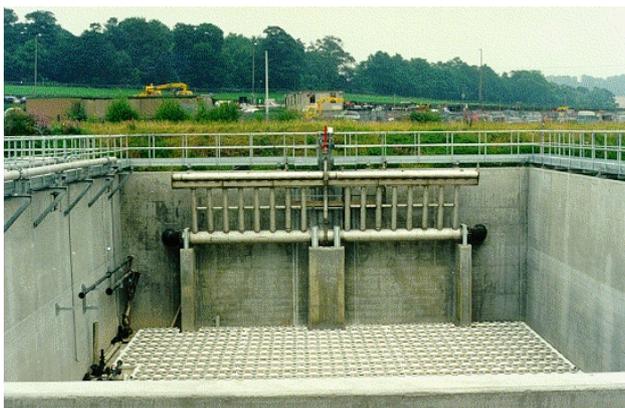
ที่มา: S Kirkwood 2003

#### 4.5.1 อุปกรณ์ของระบบระบบ SBR ของ CASS™

ระบบ SBR ของ CASS™ เริ่มด้วย น้ำเสียที่ไหลเข้าจะถูกแบ่งเป็น 4 บ่อ โดยมีบ่อแบ่งการไหลและเครื่องสูบน้ำ ระบบการเติมอากาศ มีหัวจ่ายอากาศติดอยู่ที่ท่อ (Fine bubble membrane diffusers) ในบ่อเครื่องจ่ายลม (Positive displacement (PD) blowers), เครื่องดึงน้ำออก (Effluent decanters) จะดึงน้ำใส่ที่แยกจากชั้นตกตะกอนแล้วออกจากบ่อ เครื่องดึงน้ำจะติดใบกวาดผิวน้ำ (VariSkim™ decanters), เครื่องสูบน้ำตะกอนหมุนเวียนและวาล์วควบคุมตะกอน ศูนย์กลางการควบคุมระบบ PLC (Programmable Logic Controller), ตู้ควบคุม Motor Control Center (MCC) สำหรับควบคุมการทำงานอัตโนมัติและเครื่องวัดออกซิเจน (Dissolved oxygen probes) ให้น้อยที่สุดสำหรับประหยัดค่าไฟฟ้า สำหรับระบบ CASS™ ที่ขนาดใหญ่สามารถจัด

แปลง ปรับกับน้ำเสียปริมาณน้อยเข้ามา และมีความยืดหยุ่น ในระยะยาว หรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

ก. เครื่องดึงน้ำทิ้ง (Effluent Decanter) ในแต่ละบ่อเติมอากาศของ SBR แบบ CASS™ จะมีชุดรินน้ำออก Vari-skim™ เครื่องดึงน้ำจะรินน้ำที่ผ่านการบำบัด ออกทิ้งสู่คลอง ซึ่งเครื่องดึงน้ำดังกล่าว จะใช้ไฟฟ้าน้อย ดูแลง่าย เครื่องรินน้ำออก จะให้การเพิ่มการทำงานที่ยืดหยุ่น โดยข้อดีของการสามารถรินน้ำได้ลึกและดึงน้ำออกได้ตามที่ต้องการ เครื่องดึงน้ำออก มีอุปกรณ์ขับเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งติดตั้งเหนือระดับน้ำ การทำงานอยู่ที่ใต้ระดับน้ำได้ หลังการทำงานน้ำใสจะลอดท่อนลอยผ่านเวียร์เข้ามาซึ่งท่อนลอยจะกันขยะไม่ให้เข้ามา การก่อสร้างสามารถใช้ สเตนเลส เกรด 304 ซึ่งอายุการใช้งานยาวนาน.

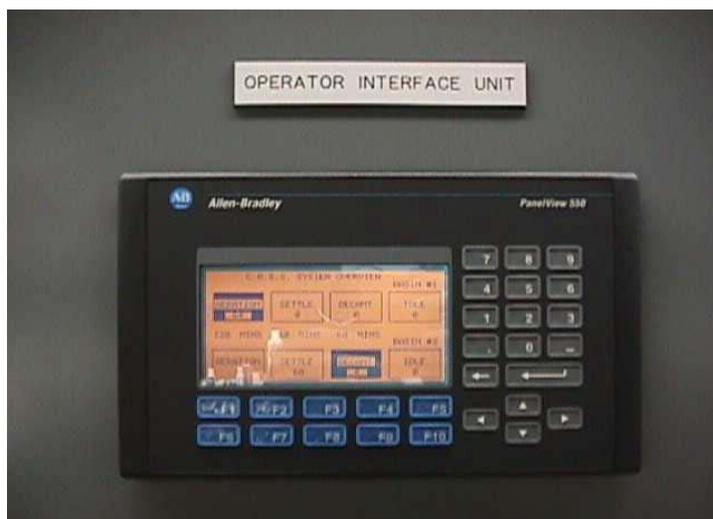


ภาพที่ 22 รูปแบบ Vari-skim™ Decanter



ภาพที่ 23 น้ำล้นข้ามเวียร์ของ Decanter

ข. ระบบการควบคุม (Controls) ในการควบคุมระบบจำเป็นต้องให้มีประสิทธิภาพใช้ไฟฟ้าและสารเคมีที่น้อยที่สุดการควบคุมระบบอัตโนมัติสามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในการควบคุมซึ่งศูนย์กลางการควบคุมจะเชื่อมต่อตู้อุปกรณ์ต่าง ๆ กับระบบโปรแกรมของควบคุมศูนย์โดยอัตโนมัติ (PLC) มีการแจ้งเตือนการขัดข้องของระบบและบอกสถานะแสดงที่ตู้



**ภาพที่ 24** Operator Interface Screen



**ภาพที่ 25** SCADA Monitoring System

ค. ระบบการเติมอากาศ (Aeration System) อากาศถูกจ่ายไปตามท่อที่กระจายอยู่ในบ่อบนพื้นบ่อ และออกทางหัวกระจายอากาศ (Flexible membrane diffusers) จะทำงานการใช้หัวกระจายอากาศสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย และรวดเร็ว เครื่องเป่าอากาศ Blowers ใช้แบบ Positive displacement ซึ่งเหมาะสำหรับที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ทำให้ปริมาณอากาศที่จ่ายคงที่ สำหรับจำนวน 4 บ่อ การทำงานจะทำพร้อมกัน 2 บ่อและอีก 2 บ่ออยู่ในช่วงการตกตะกอนรินน้ำออก ซึ่งแต่ละบ่อจะมีวาล์วควบคุมปิดเปิดอัตโนมัติ SBR แบบ CASS™ จะติดตั้ง Probe วัดออกซิเจนเพื่อตรวจปริมาณออกซิเจนในบ่อให้เหมาะสม การประหยัดค่าไฟในการเดินเครื่องอัดอากาศ และใช้ตรวจสอบสถานะของระบบ



ภาพที่ 26 Typical Fine Bubble Membrane



**ภาพที่ 27** Typical PD Blower Package

ง. ระบบ กำจัดตะกอนออก (Waste Sludge) ตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะมีน้อย และค่อนข้างเสถียรภาพ รูปแบบนี้ จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดตะกอน โดยปกติตะกอนที่ทิ้งจะมีความเข้มข้นประมาณ 0.5-0.7 kg/ kg of BOD ตะกอนที่ต้องระบายทิ้งจะเกิดขึ้น 1 ซม./บ่อ/วัน และเกิดระหว่างช่วง Idle และช่วงที่สิ้นสุด Decant ในบ่อจะมีเครื่องสูบตะกอนทิ้งและสูบตะกอนหมุนเวียน (Submersible pumps)



**ภาพที่ 28** การแบ่งเป็น โซนต่างๆ ในบ่อ SBR

#### 4.5.2 การกำจัดไนเตรดและฟอสฟอรัส (Nitrogen and Phosphate Removal)

รูปแบบต่างๆไปของระบบ SBR ของ CASS™ จะมีปริมาณน้ำที่ปล่อยออกเพียง 40% ของน้ำในบ่อไนเตรดรอบอีก 60% รวมทั้งตะกอนจะเก็บไว้ ดังนั้น 60% ของไนเตรดที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดของแอมโมเนียด้วยออกซิเจน

ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) สารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) , ไนไตรต์ (nitrite) และไนเตรด (nitrate) สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นแอมโมเนีย โดยอาศัยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ต่าง ๆ เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า ammonification แอมโมเนียถูกกำจัด 2 ทาง คือ ถูกใช้เป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ หรือถูกแบคทีเรียประเภทสร้างอาหารเองได้เปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนเตรด เรียกการกำจัดแบบนี้ว่า nitrification ไนไตรต์และไนเตรดถูกกำจัดออกจากน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่า denitrification ซึ่งจะเปลี่ยนไนไตรต์และไนเตรดให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนในสถานะที่ขาดอากาศ ในระบบ SBR แบบ CASS™ จะเกิด nitrification ร่วมกับการเกิด denitrification โดยประสิทธิภาพของการเกิด denitrification ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในขณะที่มีการเติมอากาศและอัตราการหายใจของชีวมวล ซึ่งรวมถึงการทะลุผ่านของออกซิเจนเข้าไปภายในชีวมวลนั้นด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิด nitrification ร่วมกับ denitrification และความเข้มข้นออกซิเจนลดลงจะเพิ่มอัตราการเติบโตของแบคทีเรียสร้างฟล็อกซึ่งจะทำให้มีการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในกรณีที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายอยู่สูงจะทำให้อัตราการเกิด denitrification ลดลงซึ่งสามารถอธิบายการเกิด nitrification ร่วมกับ denitrification โดยการทดลองของ Goronszy ในปี 1978 พบว่าภายในเม็คพ्लीออกจะมีสภาพ anoxic จึงทำหน้าที่เสมือนถึงปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ๆ ในการรีดักชันไนเตรด จึงทำให้เกิด denitrification ขึ้น ในขณะที่ภายนอกยังมีออกซิเจนละลายอยู่จึงเกิด nitrification ดังนั้นการกำจัดไนโตรเจนในระบบ CASS™ จึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย อัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และระยะเวลาในการเติมอากาศและพบว่าค่า ORP ที่สูงกว่า +250 mV จะทำให้ไม่เกิด denitrification ขึ้นการกำหนดค่าออกซิเจนละลายที่เหมาะสมจะไม่เท่ากันกันในน้ำเสียแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับ metabolic activity ของระบบแต่สำหรับน้ำเสียชุมชนค่า ออกซิเจนละลายที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1 มก/ล

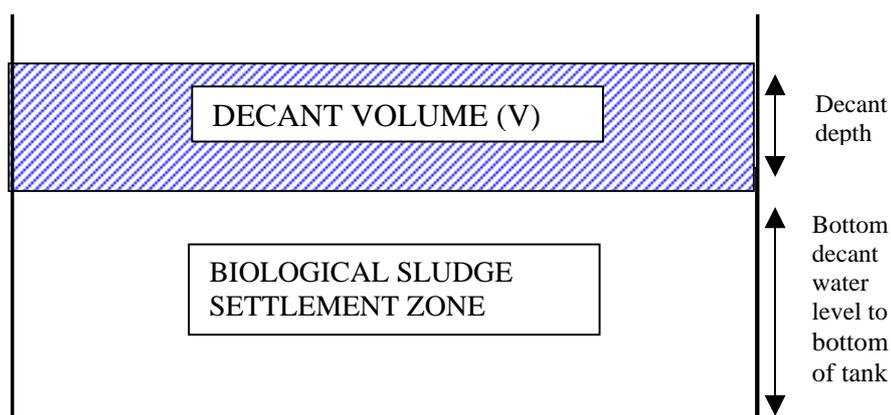
1.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัสเมื่อเปลี่ยนสภาพจากแอโรบิก (ค่า ORP เท่ากับ -150 mV) จะเกิดกระบวนการหมักทำให้ได้กรดไขมันโมเลกุลสั้น ๆ (VFA) แบคทีเรียชนิดพิเศษ ซึ่งได้แก่ Polt-P bacteria จะดูดซึม VFA เข้าไปภายในเซลล์และสะสมเป็นอาหารสำรองในรูป PHB

(polyhydroxybutyrate) แบคทีเรียต้องออกแรงในการสะสม PHB โดยการใช้พลังงาน ดังนั้นจึงมีการกำจัดบีโอดี พร้อมๆ กับการคาย P ในสถานะแอนแอโรบิก หลังจากนั้นแบคทีเรียจะเข้าสู่สถานะแอนโรบิก ทำให้มีพลังขึ้นมาอีกครั้งและทำการย่อย PHB เพื่อให้ได้เซลล์ใหม่จะมีการจับใช้ P เข้าไปในเซลล์ จึงเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสขึ้น

ในระบบ SBR แบบ CASS™ ขณะที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศและมีการเติมน้ำเสียเข้าโซนที่ 1 ในถึงปฏิกรณ์พบว่าเกิดการปลดปล่อย P ขึ้นที่ส่วนนี้ โดย VFA จะถูกใช้ไปจนอาจทำให้ขาดแคลนทำให้ขาดแคลนได้แต่ถ้ามีเวลากักเก็บในช่วงแอนโรบิกที่เพียงพอ คือประมาณ 40% ของเวลาทั้งหมดในแต่ละรอบการทำงาน พบว่าสามารถสร้าง VFA ขึ้นมาแทนที่ได้ โดยกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นภายในถึงปฏิกรณ์ทั้ง 3 โซน ในขณะที่ปิดเครื่องเติมอากาศ เมื่อเปิดเครื่องเติมอากาศส่วนที่ 2 จะมีสภาพ anoxic เพื่อป้องกันการเติบโตของแบคทีเรียเส้นใย โดยมีอัตราส่วนของ anaerobic mass ประมาณ 25% ในขณะที่โซนที่ 3 จะมีสภาพแอนโรบิกและมีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ โดยการเติมอากาศจะเกิดการกำจัดสารอาหารโดยจุลชีพพร้อม ๆ กับการกำจัดฟอสฟอรัสการกำจัดฟอสฟอรัสไม่ขึ้นกับอายุ (SRT) แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง COD:P ถ้า COD:P มากกว่า 35:1 จะเหลือค่าฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งน้อยกว่า 1 มก/ล.

#### 4..5.3 การออกแบบระบบ SBR แบบ CASS™ BMA 4

##### ก) การออกแบบทางชลศาสตร์ (Hydraulic Design Requirements)



ปริมาตรของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด/รอบ/ถัง หาได้จากสูตร

$$V = Q \div (n \times c)$$

เมื่อ:

V = ปริมาตรของการคังน้ำออก (ลบม.)

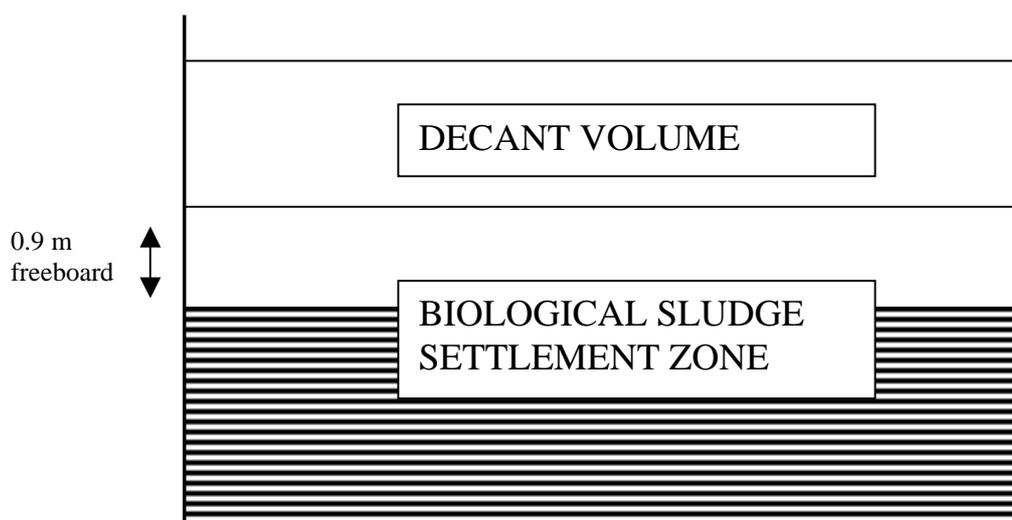
Q = ปริมาณน้ำ (ลบม./วัน)

n = จำนวนบ่อ

c = จำนวนรอบการทำงาน/วัน ซึ่ง  $c = 24 \div t$

เมื่อ t = จำนวนเวลาของรอบ (ชม.)

ข) การออกแบบทางด้านชีววิทยา(Biological Design requirements)



สมมุติความสามารถของการตกตะกอน SVI (sludge volume index) คือ 120 ml/g ที่สิ้นสุดรอบการตกตะกอนมีค่า SVI 80 มก./ล. เทียบกับค่าที่โรงบำบัดน้ำเสียนานาวาให้ระดับการตกตะกอนอยู่ใ้ระดับต่ำสุดที่คังน้ำออก 0.90ม.ที่สิ้นสุดในรอบการคังน้ำออก

ปริมาตรของมวล (biomass) ในบ่อคำนวณได้จาก

$$M = (\text{Sludge blanket volume} / 0.120)$$

มวลจุลินทรีย์ (F/M, kg BOD/ kg biomass. day)

อายุตะกอนจุลินทรีย์ (SRT) เฉลี่ย 10-12 วัน ที่ใช้ในการออกแบบ

**ตารางที่ 6** ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ CASS™

รายละเอียด	ช่วงฤดูแล้ง	ช่วงฤดูฝน
Wastewater Flows		
Average Dry Weather Flow (AWF) (m <sup>3</sup> /d)	150,000	225,000
Peak Rainy Season Flow (1.5*ADWF) (m <sup>3</sup> /d)	225,000	
Recycle Flow (m <sup>3</sup> /d)	3,790	
Decant Volume Requirement		
Cycle Time (Hours)	4	3
Number of Cycles per Day	6	8
Volume Require/Basin (m <sup>3</sup> )	14,280	16,380

**ตารางที่ 7** ขนาดของถังปฏิกรณ์แบบ CASS™

รายละเอียด	ขนาด
Length (m)	160
Width (m)	24
Top water Level (m)	5.0
Decant Range (m)	2.0
Bottom Water Level (m)	3.0
Freeboard Allowance (m)	0.6
Sludge Blanket depth (m <sup>3</sup> )	2.1
Reactor Volume(m <sup>3</sup> )	
Maximum	20,000
Decant volume	8,140
Minimum	16,000
Total Reactor Surface Area (m <sup>2</sup> ) 4 basin	16,280
Total Reactor Volume (m <sup>3</sup> ) 4 basin	80,000

**ตารางที่ 8** ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเดินระบบ CASS™

รายละเอียด	จำนวน
<b>Design Flows and Loadings</b>	
Influent BOD (mg/l)	150
Effluent BOD (mg/l)	20
BOD Removed (kg/day)	19,500
Waste Sludge Produced (kg/day)	21,130
<b>SBR Operating Variables</b>	
Sludge Volume Index (ml/g)	120
Sludge/solids Cons. (ml/l)	7,143
Minimum depth (m)	3.0
Freeboard Allowance (m)	0.5
Sludge Blanket Depth (m)	2.1
HRT (m)	11.6
Total Volume (m <sup>3</sup> )	20,350
Total Sludge Volume (m <sup>3</sup> )	8,547
MLSS Conc. (mg)	3,000
SOR (kgO <sub>2</sub> /h/basin)	2,060
Air flow per/basin (m <sup>3</sup> /hr)	34,800
F/M (kg BOD/kg MLVSS.d )	0.13
Volatil Content	75%
SRT(day)	13

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาการเริ่มเดินระบบ ของโรงบำบัดน้ำเสียรวม กทม. ระยะ ที่ 4 โรงควบคุมคุณภาพน้ำ (จตุจักร) ซึ่งจะทำการศึกษาในส่วนของระบบบำบัดแบบชีววิทยา (ขั้นที่สอง) เป็นระบบเอสบีอาร์ แบบ CASS™ จากประเทศอังกฤษ โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นค่า BOD, COD, SS, NH<sub>3</sub>, TN, TP, DO, T, PH, MLSS, MLVSS, SV<sub>30</sub> ช่วงตั้งแต่ก่อนเข้าระบบจนถึงออกจากระบบ SBR รวมถึงและองค์ประกอบต่างๆที่เหมาะสม เพื่อการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า

### 1. สถานที่ทำการวิจัย

การทดลองจะทำการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการโรงบำบัดน้ำเสียรวม ของ กทม.ระยะที่ 4 (โรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร) ซึ่งตั้งอยู่ที่บริเวณคลองบางซื่อ ซ. อินทราจร 35 ถนนสุขุมวิท แขวงดินแดง กรุงเทพฯ

### 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 เครื่องวัดออกซิเจน
- 2.2 เตาอบ
- 2.3 Imhoff cone
- 2.4 เครื่องวัด pH
- 2.5 เครื่องชั่งละเอียด
- 2.6 เครื่อง Reflux สำหรับวิเคราะห์ COD
- 2.7 เครื่อง Spectrophotometer
- 2.8 เครื่องวัดไนโตรเจน
- 2.9 อุปกรณ์สำหรับไตเตรท
- 2.10 Incubator
- 2.11 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ COD, BOD, Nitrogen Phosphorus และอื่น ๆ
- 2.12 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

### 3. วิธีการวิจัย

#### 3.1 การวัดและวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบ

3.1.1 pH, T, DO

3.1.2 ค่า COD

3.1.3 ค่า BOD

3.1.4 ปริมาณสารแขวนลอย (SS)

3.1.5 ค่า MLSS

3.1.6 ค่า MLVSS

3.1.7 ค่า SVI

3.1.8 ค่า TKN,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , TN

3.1.9 ค่า TP

#### 3.2 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

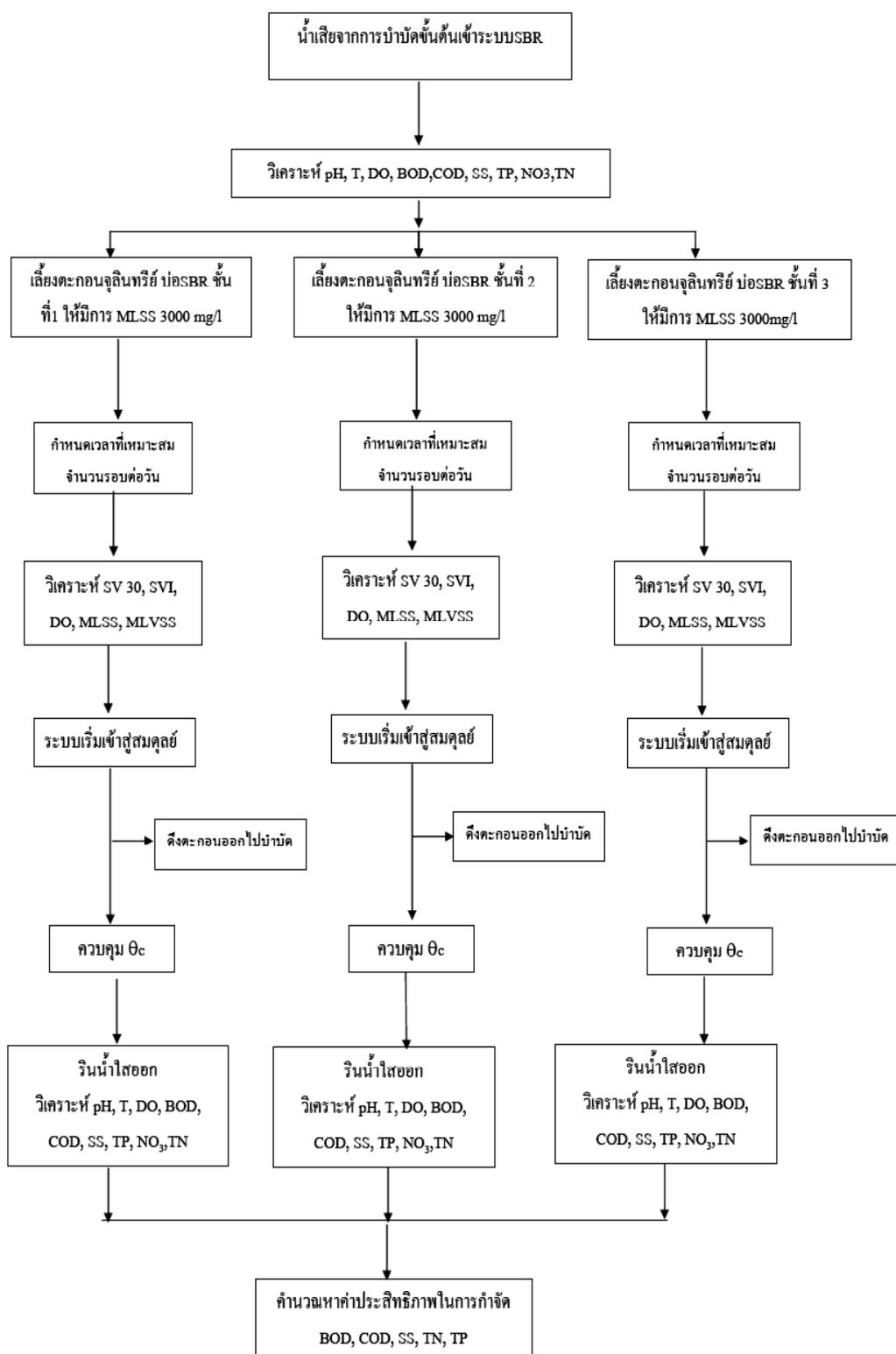
ในการวิจัยจะเริ่มทดสอบเดินระบบหลังจากได้ติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ แล้วเสร็จ และเริ่มปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยเปิดประตูน้ำจากบ่อรวบรวมน้ำเสียสุดท้ายให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำขั้นต้น(Preliminary treatment) ซึ่งได้แก่ผ่านตะแกรงและการตกตะกอนกรวดทรายหลังจากนั้น น้ำเสียจะเข้าบ่อสูบของระบบ SBR และสูบเข้า SBR ของแต่ละชั้นซึ่งจะมีอยู่ 4 ชั้นด้วยกัน โดยจะเริ่มทดสอบชั้นที่ 1 ก่อน ส่วนชั้นที่ 2 และ 3 จะเริ่มเมื่อมีปริมาณน้ำมากเพียงพอ ซึ่งชั้น 1 และ 2 ใช้เครื่องเป่าอากาศชุดเดียวกัน จึงต้องสลับกันทุก 4 ชม. สำหรับชั้นที่ 4 ไม่มีการทดสอบ เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่เข้ามาไม่เพียงพอ

3.2.1 การศึกษาวัฏจักรการทำงานของระบบ CASS<sup>TM</sup> จะหาค่าเวลาที่เหมาะสมในแต่ละวัฏจักรในการเติมน้ำเสีย, การเติมอากาศ, ตกตะกอนและรินน้ำออก เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่เข้าระบบในช่วงที่น้ำฝนเข้าระบบมากที่สุด

3.2.2 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ของน้ำเข้าระบบและหลังการบำบัดแล้วว่ามีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์แตกต่างกันอย่างไรเมื่อมีปริมาณน้ำเสียที่เข้ามามีปริมาณต่างกัน

3.2.3 การศึกษาตะกอนโดยตารางวัดค่าค่า  $SV_{30}$ , SVI, MLSS, MLVSS ในแต่ละบ่อในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อใช้ในการควบคุมค่า  $\theta_c$  และ F/M Ratio สำหรับหาค่าความสมดุลของระบบ

3.2.4 การศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดค่า BOD, COD, SS,  $NH_3$ , TN, TP ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ขั้นตอนทำการศึกษาวิจัย



**ขั้นที่ 4** เดินระบบ SBR แบบ 6 ชม./รอบการทำงาน วันที่ 10-12

Time (h)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
SBR-1	F/A	F/A	F/A	F/A	S	D
SBR-2	F/A	F/A	S	D	F/A	F/A
SBR-3	F/A	F/A	F/A	F/A	S	D

**ขั้นที่ 5** เดินระบบ SBR แบบ 4 ชม./รอบการทำงาน วันที่ 13-15

Time (h)	0-1	1-2	2-3	3-4
SBR-1	F/A	F/A	S	D
SBR-2	S	D	F/A	F/A
SBR-3	F/A	F/A	S	D

**หมายเหตุ** F เติมน้ำ, A เติมอากาศ, S ตกตะกอน และ D ค้างน้ำออก

**ขั้นที่ 6** เมื่อระบบเริ่มจะคงที่

Time (h)	0-1	1-2	2-3	3-4
SBR-1	F/A	F/A	F/S	D
SBR-2	F/S	D	F/A	F/A
SBR-3	F/A	F/A	F/S	D

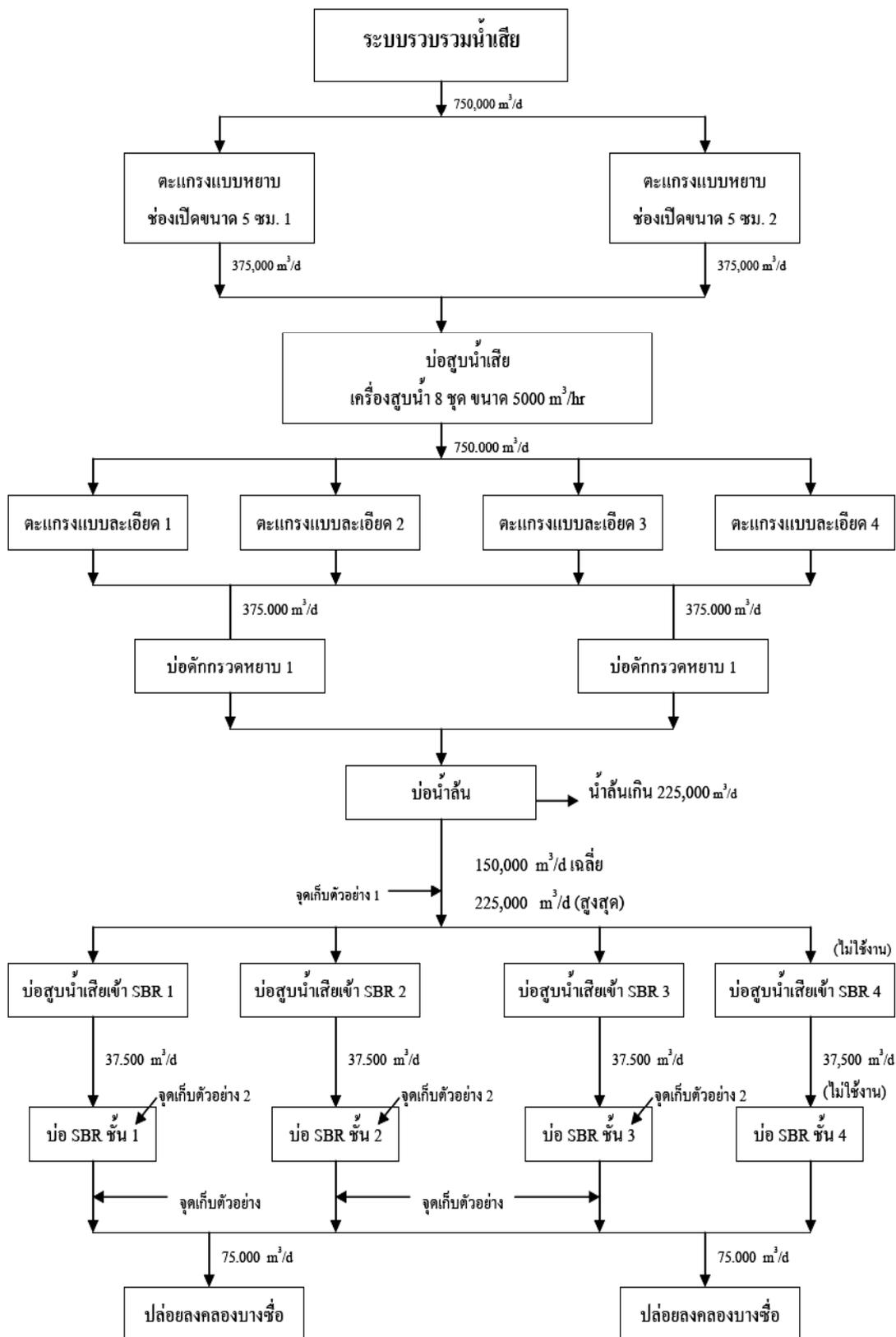
**หมายเหตุ** F เติมน้ำ, A เติมอากาศ, S ตกตะกอน และ D ค้างน้ำออก

**ตารางที่ 9** การเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ในช่วง 15 วันแรกของการเริ่มเดินระบบ

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่างของ SBR 1 และ SBR 2		
	น้ำเข้า SBR ความถี่ครั้งต่อวัน	ใน SBR ความถี่ครั้งต่อวัน	น้ำออก SBR ความถี่ครั้งต่อวัน
BOD	2	-	2
COD	2	-	2
SS	2	2	2
Total N	2	-	2
NH <sub>4</sub> -N	2	2	2
Total P	2	-	2
DO	2	ทุกรอบ	2
SV30	-	ทุกรอบ	-
pH	2	ทุกรอบ	2
Temp	2	ทุกรอบ	2
MLSS	-	2	-
MLVSS	-	2	-

**ตารางที่ 10** การเก็บตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ หลังจาก 15 วันหรือระบบเริ่มจะคงที่  
เป็นต้นไป

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง		
	น้ำเข้า SBR ความถี่ครั้งต่อวัน	ใน SBR ความถี่ครั้งต่อวัน	น้ำออก SBR ความถี่ครั้งต่อวัน
BOD	1	-	1
COD	1	-	1
SS	1	-	1
Total N	1	-	1
NH <sub>4</sub> -N	1	-	1
Total P	1	-	1
DO	2	2	2
SV30	2	2	-
pH	2	-	2
Temp	2	-	2
MLSS	-	1	-
MLVSS	-	1	-



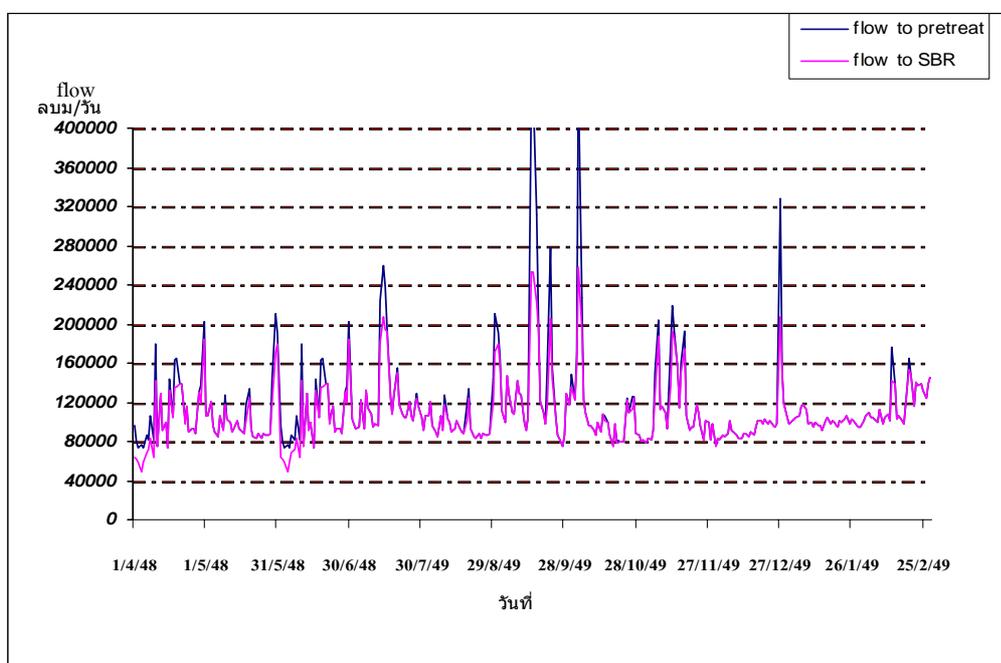
ภาพที่ 30 ผังการทำงานในช่วงการทดสอบการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย กทม. ระยะที่ 4

**ตารางที่ 11**

### ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาการทดสอบเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสีย SBR แบบ CASS™ โดยเริ่มนำน้ำเสียจริงเข้าระบบตั้งแต่เดือน เมษายน 2548 ในชั้นที่ 1, 2 และ 3 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่เข้าระบบ, ค่าตะกอน, คุณภาพน้ำหลังบำบัด, ประสิทธิภาพของการบำบัดและองค์ประกอบในการเดินระบบที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลอง ดังนี้

#### 1. การศึกษาอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

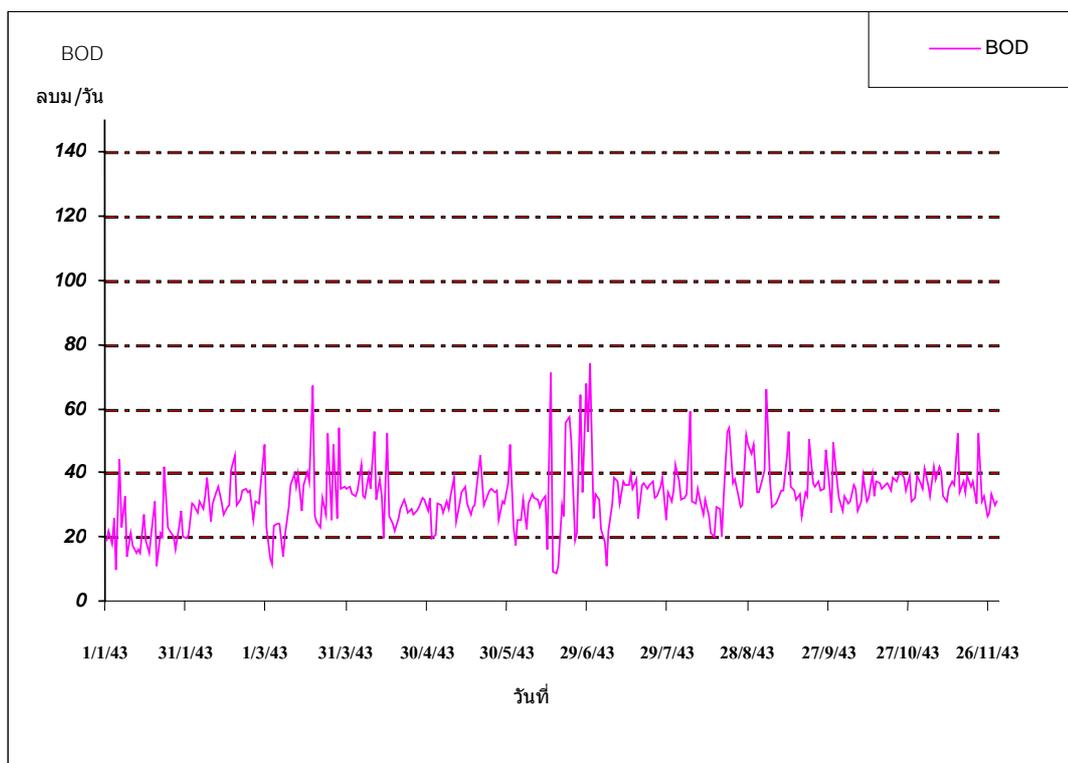


**ภาพที่ 31** อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

จากการศึกษาและวิจัย พบว่าอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบตั้งแต่ เดือนเมษายน 2548 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2549 มีปริมาณแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาก เนื่องจากบางวันมีฝนตกและบางวันปกติ จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าเดือน กันยายน 2548 และเดือนตุลาคม 2548 มีปริมาณน้ำฝนเข้าในระบบสูงสุดถึง 439,700 และ 448,200 ลบ.ม./วัน ตามลำดับ เนื่องจากการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียให้รองรับการระบายน้ำฝนลงสู่คลองบางซื่อในช่วงที่ฝนตกด้วยซึ่งสามารถสูบน้ำเสียเข้าระบบบำบัดขั้นต้นสูงสุดถึง 750,000 ลบ.ม./วัน และให้เข้าระบบ SBR ได้ 225,000 ลบ.ม./วัน ส่วนที่

เกิน 225,000 ลบ.ม./วัน จะถูกปล่อยลงสู่คลองบางซื่อ ดังนั้นน้ำเสียที่เข้าระบบเอสบีอาร์ หรือบำบัดทางชีววิทยาได้เพียง 225,000 ลบ.ม./วัน แต่เนื่องจากค่า BOD ที่เข้าระบบต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้ตามภาพที่ 32 จึงทำให้ระบบ SBR สามารถรับน้ำเสียได้มากกว่าค่าที่ออกแบบ ซึ่งเดือนกันยายน 2549 มีน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสูงถึง 253,000 ลบ.ม./วัน หรือ 84,300 ลบ.ม./วัน/บ่อ มากกว่าที่ออกแบบไว้ที่ 37,500 ลบ.ม./วัน คิดเป็น 225%ซึ่งการทำงานของระบบเอสบีอาร์ สามารถทำงานตามรูปแบบเติมน้ำ-เติมอากาศ, เติมน้ำ-ตกตะกอน และ เติมน้ำ-รินน้ำออก หรือมีการเติมน้ำตลอดเวลาในช่วงที่มีฝนตกซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วคุณภาพผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้ง จากภาพที่ 31 อัตราการไหลเฉลี่ยในช่วงเดือน เมษายน 2548 – 28 กุมภาพันธ์ 2549 มีค่าสูงสุดที่ผ่านการบำบัดขึ้นต้น 436,600 ลบ.ม./วัน และเข้าระบบ SBR สูงสุด 253,000 ลบ.ม./วัน ค่าเฉลี่ย 108,473 ลบ.ม./วัน ต่ำสุด 74,000 ลบ.ม./วัน

## 2. ค่า BOD ของน้ำเสียเข้าระบบ



ภาพที่ 32 แสดงค่า BOD ของน้ำเสียเข้าระบบในแต่ละวัน

จากภาพที่ 32 ค่า BOD ที่เข้ามาในระบบ เอสบีอาร์มีค่าเฉลี่ย 32.56 mg/l ซึ่งต่ำกว่าค่าออกแบบไว้คือ 150 mg/l เนื่องมาจากน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่ผ่านการบำบัดโดยถังเซปติกจากบ้านเรือน และมีการย่อยสลายขณะอยู่ในระบบท่อรวบและมีการเจือจางจากน้ำฝน, น้ำใต้ดินหรือน้ำคลองที่ล้น จึงทำให้ค่า BOD ที่เข้ามาในระบบต่ำ จากภาพที่ 31 และ ภาพที่ 32 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำเสียเข้าระบบกับค่า BOD ของน้ำเสียจากรูปภาพ ดังกล่าวในวันที่มีปริมาณน้ำเข้ามาสูงสุดหรือช่วงฝนตกควรจะมีค่า BOD ต่ำ เพราะมีการเจือจางของน้ำฝน แต่ค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกันเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย เข้าระบบกับเวลาในการวัดปริมาณน้ำเสียไม่ตรง การเก็บตัวอย่างจะเก็บในเวลา 07:00 น. ของทุกวันแบบผสม (Composit Sampling) แต่ปริมาณน้ำจะบันทึกค่าในเวลา 24:00 น. ทุกวัน ซึ่งจากผลต่างของเวลาและวิธีการเก็บตัวอย่างรวมถึงปริมาณฝนที่ตกจะใช้เวลาไม่นานเกิน 2-3 ชม. อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากความเร็วของน้ำในเส้นท่อชะล้างความสกปรกออกมา (Flushing) ในช่วงที่ฝนตกหนักสาเหตุเหล่านี้ทำให้ได้ค่า BOD ของน้ำเสียเข้าระบบจึง ไม่สอดคล้อง

3. การศึกษาขั้นตอนการเริ่มเดินระบบเอสบีอาร์ แบบ CASS™ จากการศึกษาวิจัยพบว่าการทำงานของ SBRของการเริ่มเดินระบบโดยทั่วไป จำเป็นต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์ (Seed) มาเติมในระบบเพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น หรือเพื่อเพิ่มจำนวน MLSS ของระบบ แต่เนื่องจากระบบดังกล่าว มีขนาดใหญ่ ซึ่งการใช้เชื้อจำนวนมาก ๆ ทำได้ยากและเนื่องจากน้ำเสียมีค่า BOD ต่ำอาหารไม่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ จึงไม่มีการนำเชื้อจุลินทรีย์มาเติมลงในบ่อ ซึ่งมีวิธีการเริ่มเดินระบบดังนี้

หลักจากที่ได้เริ่มนำน้ำเข้าระบบ เอสบีอาร์ บ่อ ชั้นที่ 1, 2, และ 3 โดยเริ่มจากบ่อชั้นที่ 1 ก่อนซึ่ง หลักการทำงาน ชั้นที่ 1และที่ 3 จะทำงานสลับกันโดยใช้เครื่องอัดอากาศชุดเดียวกัน เช่นเดียวกันกับชั้นที่ 2 และ 4 แต่เนื่องจากมีปริมาณน้ำเสียเข้าไม่เพียงพอ ชั้นที่ 4 จึงไม่ได้ทำงาน ดังนั้นชั้นที่ 1 และ 3 จึงทำงานพร้อมกัน วัฏจักรเหมือนกันซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เริ่มเดินระบบ วันที่ 1-3 จำนวนการทำงาน 1 รอบ/วัน มีรายละเอียดดังนี้

เติมน้ำ (F) + เต็มอากาศ (A)	2 ชม.
เต็มอากาศ (A) ต่อ	19 ชม.
ตกตะกอน (S)	2 ชม.
รินน้ำออก (D)	1 ชม.
รวม	24 ชม.

3.2 เดินระบบ วันที่ 4-6 จำนวนการทำงาน 2 รอบ/วัน มีรายละเอียดดังนี้

เติมน้ำ (F) + เต็มอากาศ (A)	2 ชม.
เต็มอากาศ (A) ต่อ	7 ชม.
ตกตะกอน (S)	2 ชม.
รินน้ำออก (D)	1 ชม.
รวม	12 ชม.

3.3 เดินระบบ วันที่ 7-9 จำนวน 3 รอบ/วัน มีรายละเอียดดังนี้

เติมน้ำ (F) + เต็มอากาศ (A)	2 ชม.
เต็มอากาศ (A) ต่อ	4 ชม.
ตกตะกอน (S)	1 ชม.
รินน้ำออก (D)	1 ชม.
รวม	8 ชม.

3.4 เดินระบบ วันที่ 10-12 จำนวนการทำงาน 4 รอบ/วัน มีรายละเอียดดังนี้

เติมน้ำ (F) + เติมอากาศ (A)	2 ชม.
เติมอากาศ (A) ต่อ	2 ชม.
ตกตะกอน (S)	1 ชม.
รินน้ำออก (D)	1 ชม.
รวม	6 ชม.

3.5 เดินระบบ วันที่ 13-15 จำนวนการทำงาน 6 รอบ/วัน มีรายละเอียดดังนี้

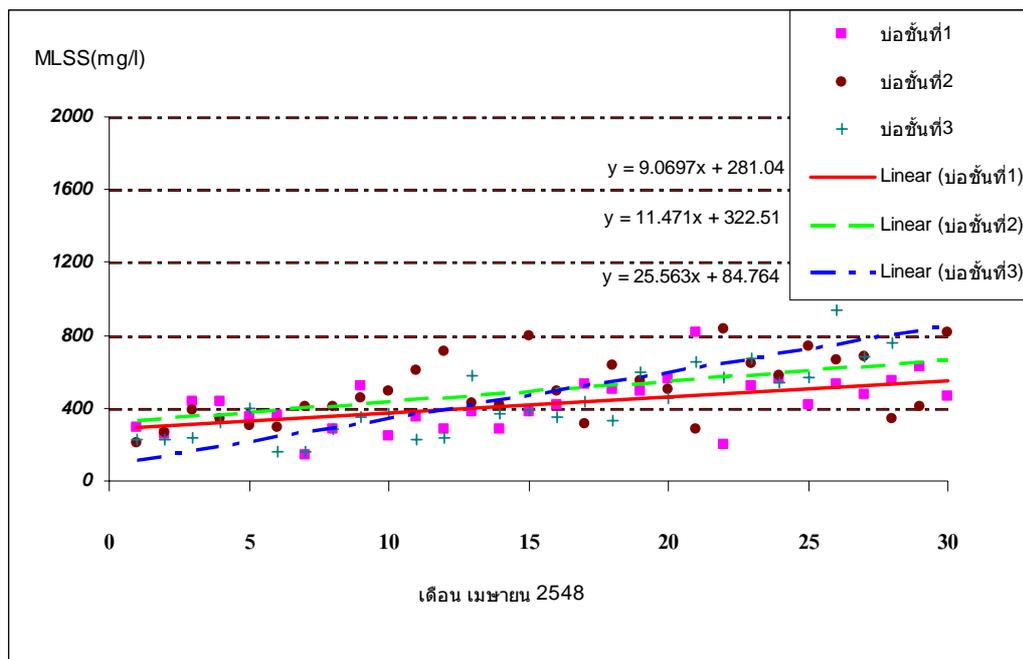
เติมน้ำ (F) + เติมอากาศ (A)	2 ชม.
ตกตะกอน (S)	1 ชม.
รินน้ำออก (D)	1 ชม.
รวม	4 ชม.

3.6 เดินระบบตั้งแต่วันที่ 16 เป็นต้นไป

เติมน้ำ (F) + เติมอากาศ (A)	2 ชม.
เติมน้ำ (F) + ตกตะกอน (S)	1 ชม.
รินน้ำออก (D)	1 ชม.
รวม	4 ชม.

**ตารางที่ 12** การเริ่มเดินระบบเอสปีอาร์ ในแต่ละชั้น

ขั้นตอน	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลอง					
วัฏจักรการทำงาน (ชม/รอบ)	24	12	8	6	4	4
เติมน้ำ + เติมอากาศ (ชม.)	2	2	2	2	2	2
เติมอากาศ ต่อ	19	7	4	2	-	1
ตกตะกอน (ชม.)	2	2	1	1	1	1
ปล่อยน้ำออก (ชม.)	1	1	1	1	1	1
วัฏจักรการทำงาน (รอบ / วัน)	1	2	3	4	6	6
ช่วงเวลา (วัน)	3	3	3	3	3	-
ใช้ปริมาณน้ำเสียเข้าบ่อ ลบม/วัน	3140	16280	24420	32560	48840	8840
ค่า MLSS (มก./ล) ที่ต้องการ	330	570	1000	1500	2000	3000
ค่า MLSS (มก./ล) ที่ ได้เฉลี่ย ทั้ง 3 บ่อ	278	370	508	693	924	-



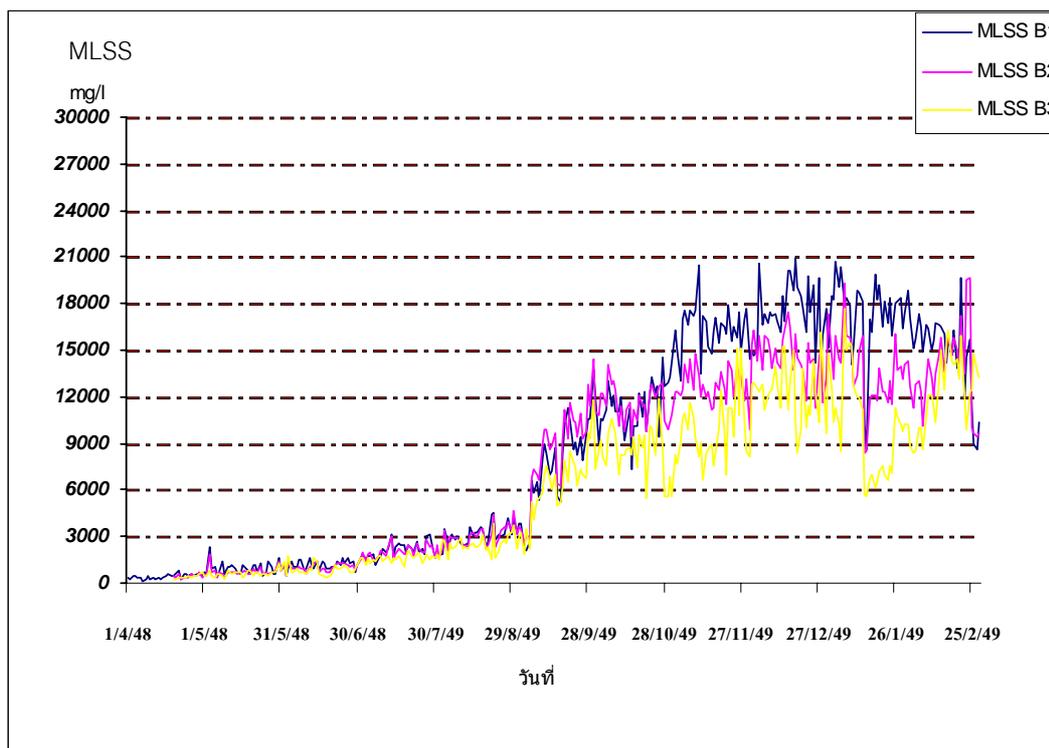
**ภาพที่ 33** ค่า MLSS ในช่วงการเริ่มเดินระบบ 30 วัน

จากตารางที่ 33 ค่า MLSS เพิ่มจำนวนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาซึ่งปริมาณ MLSS ที่ 30 วัน ของบ่อ ชั้นที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 551 mg/l , 666 mg/l และ 850 mg/l ตามลำดับ ซึ่ง มีค่า MLSS ที่ควรเป็น 2000 mg/l แต่ค่า MLSS ที่ได้มีค่าน้อยกว่าเนื่องจากค่า BOD ที่เข้าระบบ ช่วงเดือน เมษายน 2549 มีค่าเป็น 21.5 mg/l ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับที่ให้ออกแบบ คือ 150 mg/l

ตารางที่ 13

#### 4. การศึกษาค่าตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ SBR แบบ CASS™ ช่วงเดือน เมษายน 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549

จากการเริ่มทดสอบเดินระบบสามารถแบ่งเป็นช่วงต่าง ๆ ดังนี้



**ภาพที่ 34** ค่า MLSS ช่วงเดือนเมษายน 2548 – เดือนกุมภาพันธ์ 2549

ช่วงที่ 1 ตั้งแต่เริ่มเดินระบบเดือน เมษายน 2548 ไปจนถึงเดือน สิงหาคม 2549 จะมีการเติมอากาศเฉพาะเวลากลางวันและหยุดเติมอากาศตอนกลางคืน ซึ่งมีค่า MLSS บ่อชั้นที่ 1 บ่อชั้นที่ 2 และ บ่อชั้นที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3,104 mg/l, 3,032 mg/l และ 2,487 mg/l ตามลำดับ ซึ่งการทำงานของระบบ SBR ในช่วงกลางวันใช้เวลา 4 ชม./รอบโดยมีการเติมน้ำเสียและเติมอากาศ 2 ชม. เติมน้ำเสียและตกตะกอน 1 ชม. รินน้ำออก 1 ชม. และในช่วงกลางคืนตั้งแต่เวลา 22:00 ถึง 06:00 น. จะไม่มีการเติมอากาศโดยจะรินน้ำออกพร้อมกันทั้ง 3 บ่อ เหตุผลเนื่องจาก ปริมาณน้ำที่เข้ามามีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 ลบ.ม./ชม. และค่า BOD ที่เข้าระบบอยู่ในระดับ 20-30 mg/l ซึ่งมีปริมาณต่ำและอีกประการหนึ่งระบบป้องกันเสียงดังของเครื่องอัดอากาศและท่อจ่ายอากาศภายนอกอาคารยังไม่แล้วเสร็จ ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงดังออกไปรบกวนบ้านข้างเคียงช่วงเวลากลางคืนได้

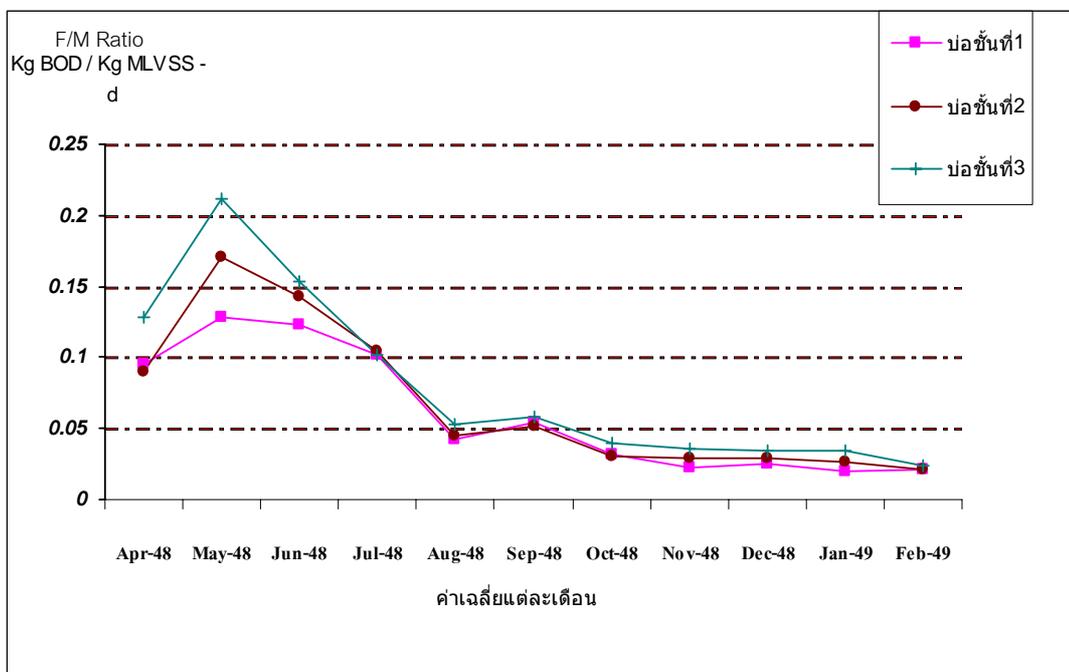
ช่วงที่ 2 ตั้งแต่เดือน กันยายน 2548 ถึง เดือน พฤศจิกายน 2548 มีการเติมอากาศทุก ๆ 2 ชม. ตลอด 24 ชม. ซึ่งค่า MLSS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้ง 3 บ่อจากภาพที่ 34 บ่อชั้นที่ 1 ค่า MLSS เพิ่มขึ้นจาก 7,519 mg/l เป็น 16,369 mg/l ค่า MLVSS เพิ่มจาก 2,464 mg/l เป็น 3,741mg/l บ่อชั้นที่ 2 ค่า MLVSS เพิ่มขึ้น จาก 8,385 mg/l เป็น 12,696 mg/l ค่า MLVSS เพิ่มจาก 2,464 mg/l เป็น 3,741mg/l บ่อชั้นที่ 3 ค่า MLSS เพิ่มจาก 6,219 mg/l เป็น 9,786 mg/l ค่า MLVSS เพิ่มจาก 2,550 mg/l เป็น 3,760 mg/l ค่า MLSS เพิ่มขึ้นมากแต่ ค่า MLVSS เพิ่มขึ้นป็นปกติ ซึ่งในทางทฤษฎีอัตราส่วน MLVSS/MLSS ควรมีค่า 0.7-0.8 ซึ่งค่าที่ออกแบบคือ 0.75 แต่อัตราส่วนที่พบบ่อที่ 1 MLVSS/MLSS เดือน พฤศจิกายน มีค่าเป็น 0.29 บ่อที่ 2 ค่า MLVSS/ MLSS เดือน พฤศจิกายน มีค่าเป็น 0.29 และบ่อที่ 3 MLVSS/ MLSS เดือน พฤศจิกายน มีค่าเป็น 0.31 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ออกแบบทั้ง 3 บ่อ เหตุผลเนื่องจากสารแขวนลอยขนาดเล็ก เช่น พวกตะกอนดินขนาดเล็ก ที่ค้างอยู่ในท่อรวบรวม น้ำเสียถูกพัดมาช่วงฝนตกมีปริมาณน้ำในท่อรวบรวมมาก ๆ หรือน้ำจากคลองที่เข้ามาในช่วงหน้าฝน ปัจจัยที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง คือ ระบบเอสปีอาร์ ไม่ได้มีการระบายตะกอนออกจากระบบตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนถึงเดือน พฤศจิกายน 2548 จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (Inert) ถูกสะสมอยู่ในบ่อ SBR สาเหตุที่ไม่ระบายตะกอนทิ้งตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนถึง เดือน พฤศจิกายน 2548 เนื่องมาจากระบบบำบัดตะกอนยังอยู่ในระหว่างการทดสอบ

ช่วงที่ 3 มีการระบายตะกอนส่วนเกินออกจากระบบ ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2548 เป็นต้นไป ซึ่งเครื่องรีดตะกอนได้เริ่มใช้งานได้ และในเดือน ดังกล่าวสามารถสูบตะกอนไปบำบัดได้ 240 ลบม./ชม./บ่อ การระบายตะกอนออกซึ่งถูกจำกัดด้วยเครื่องรีดตะกอน ซึ่งสามารถคำนวณค่า  $\theta_c$  จากการระบายตะกอนออกดังกล่าว ดังนี้

$$\begin{aligned}\theta_c &= \text{มวลจุลชีพในบ่อ} / \text{มวลจุลชีพที่ระบายออกจากระบบ} \\ \theta_c &= Mt/Mw = XV/Qw \\ &= (14,000 \text{ mg/l} \times 20,350 \text{ ลบ.ม.}) / (240 \text{ ลบ.ม.} \times 23,000 \text{ mg/l}) \\ &= 50 \text{ วัน}\end{aligned}$$

ค่า  $\theta_c$  ที่ใช้ออกแบบ คือ 13 วัน ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ออกแบบซึ่งสามารถลดค่า  $\theta_c$  ลงได้อีกแต่ขณะนี้ยังไม่สามารถทำได้ เนื่องจากถังย่อยตะกอนของระบบบำบัดตะกอนยังอยู่ในระหว่างการทดสอบ จึงถูกจำกัดเรื่องของการระบายตะกอนออกจากระบบ ดังนั้นทำให้ไม่

สามารถหาค่า  $\theta_c$  อื่น ๆ รวมถึงค่า Kinetic Coefficient ซึ่งการหาค่าต่าง ๆ สามารถทำได้ หลังจากมีการลดค่าอายุตะกอนลงและถังย่อยตะกอนไร้อากาศ (Sludge digester) สามารถใช้งานได้ปกติ



**ภาพที่ 35** FM Ratio แต่ละบ่อ

การศึกษาค่า FM Ratio หรือค่า ปริมาณสารอินทรีย์ต่อมวลจุลินทรีย์ จากภาพที่ 34 ค่า FM Ratio มีค่าลดลงตั้งแต่เริ่มเดินระบบ ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2549 มีค่าเฉลี่ย 0.07 kg BOD/kg MLVSS.d แสดงให้เห็นว่ามีมวลของ จุลินทรีย์ เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือน สาเหตุที่ค่า F/M Ratio มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้ออกแบบ คือ  $0.13 \text{ วัน}^{-1}$  เนื่องจากความเข้มข้นสารอินทรีย์หรือค่า BOD เข้าระบบมีค่าต่ำ

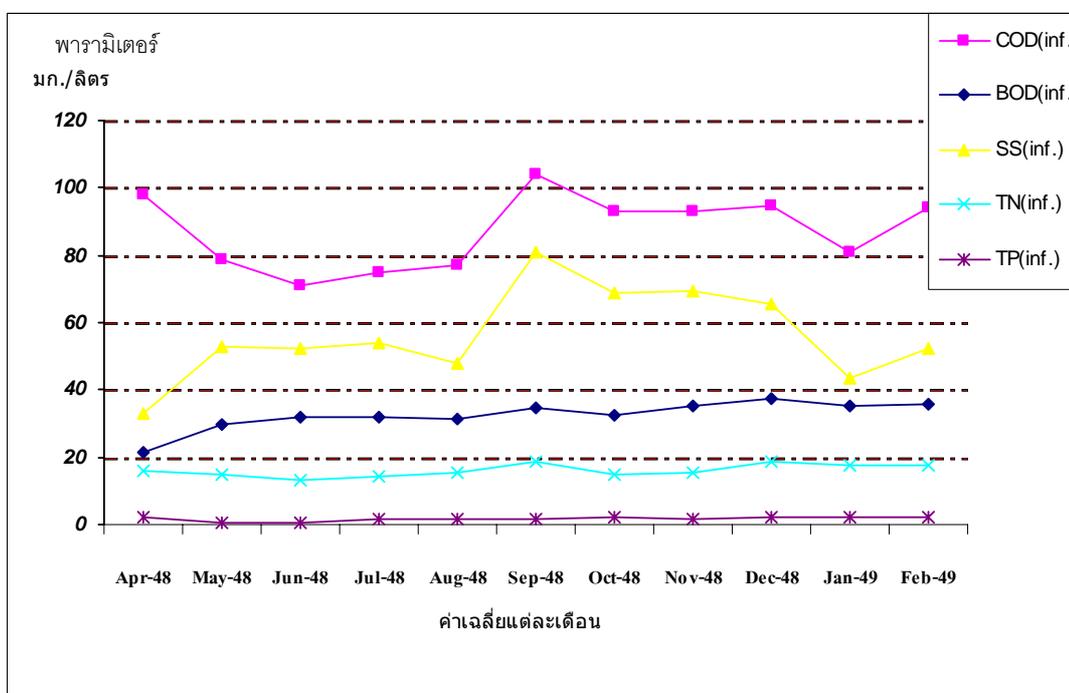
ตารางที่ 14 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละเดือน

ตะกอน	เม.ย.-48	พ.ค.-48	มิ.ย.-48	ก.ค.-48	ส.ค.-48	ก.ย.-48	ต.ค.-48	พ.ย.-48	ธ.ค.-48	ม.ค.-49	ก.พ.-49	ค่าเฉลี่ย
บ่อชั้นที่ 1												
MLSS (mg/l)	422	949	1164	2095	3104	7519	11423	16369	17445	17371	14861	8,429.25
MLVSS (mg/l)	292	681	856	1089	2156	2342	3126	4773	5267	5447	5085	2,828.46
SV30 (ml/l)	16	43	66	68	84	189	299	456	645	763	708	303.22
SVI (ml/g)	44	49	59	34	27	27	27	28	38	45	51	38.99
F/M ratio(kg BOD/kg MLVSS)	0.095	0.128	0.123	0.102	0.043	0.054	0.032	0.022	0.025	0.020	0.021	0.06
$\theta_c$ (d)												
บ่อชั้นที่ 2												
MLSS (mg/l)	443	744	1024	2024	3032	8385	11488	12696	14715	13544	13608	7,427.44
MLVSS (mg/l)	309	510	733	1067	2070	2464	3375	3741	4439	4239	4840	2,526.05
SV30 (ml/l)	16	33	57	66	81	183	292	436	571	655	687	279.66
SVI (ml/g)	42	48	59	34	27	23	27	39	42	52	52	40.35
F/M ratio(kg BOD/kg MLVSS)	0.090	0.171	0.143	0.104	0.045	0.051	0.030	0.029	0.029	0.026	0.022	0.07
$\theta_c$ (d)												
บ่อชั้นที่ 3												
MLSS (mg/l)	407	620	872	1601	2487	6219	8466	9786	12444	9913	12258	5,915.58
MLVSS (mg/l)	217	413	681	1098	1768	2150	2548	3001	3762	3209	4453	2,118.12
SV30 (ml/l)	14	25	49	56	72	149	249	402	505	529	630	243.59
SVI (ml/g)	37	49	60	35	30	28	32	44	43	58	53	42.72
F/M ratio(kg BOD/kg MLVSS)	0.128	0.211	0.154	0.101	0.052	0.059	0.040	0.036	0.034	0.034	0.023	0.08
$\theta_c$ (d)												
												50

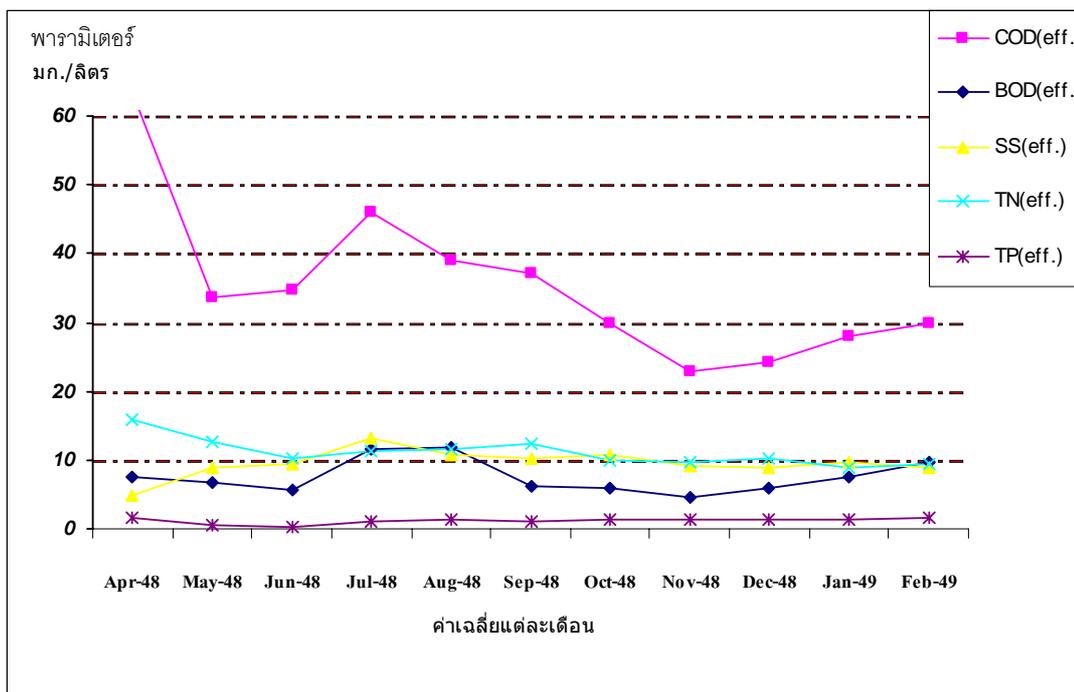
**ตารางที่ 15** คุณภาพน้ำเข้าระบบบำบัดและออกจากระบบของแต่ละเดือน

พาราเมเตอร์																	
เดือน	T (int.)	T (Eff.)	DO (int.)	DO (Eff.)	pH (int.)	pH (Eff.)	BOD (inf.)	BOD (Eff.)	COD (int.)	COD (Eff.)	SS (int.)	SS (Eff.)	NH <sub>3</sub> -N (int.)	NH <sub>3</sub> -N (Eff.)	TN (int.)	TN (Eff.)	TP (int.)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
เม.ย.-48	29.10	28.30	2.35	5.84	7.31	7.15	21.50	7.60	98.00	63.60	32.90	4.90	13.00	3.55	15.88	15.85	2.11
พ.ค.-48	28.60	27.40	2.63	6.43	7.09	7.22	29.54	6.80	78.58	33.67	52.90	8.80	10.43	4.25	14.73	12.68	0.69
มิ.ย.-48	27.80	28.90	2.35	5.90	6.98	7.14	32.20	5.67	70.80	34.74	52.10	9.50	8.96	4.41	13.03	10.18	0.60
ก.ค.-48	29.00	29.80	3.32	6.28	7.18	7.03	32.20	11.62	75.00	46.00	53.80	13.30	9.46	3.61	14.20	11.38	1.54
ธ.ค.-48	29.70	29.90	2.82	6.07	7.14	7.03	31.65	11.89	77.00	39.00	47.90	10.84	10.81	3.97	15.45	11.47	1.78
ก.ย.-48	29.20	29.60	2.59	6.53	7.00	6.98	34.58	6.17	104.0	37.00	80.77	10.20	7.03	1.02	18.96	12.48	1.51
ต.ค.-48	29.50	29.70	3.04	6.13	7.04	6.91	32.57	6.05	93.00	30.00	68.55	10.65	9.80	1.32	15.04	9.96	2.17
พ.ย.-48	29.00	29.10	3.16	6.05	7.09	6.91	35.43	4.66	93.00	23.00	69.47	9.27	10.31	1.06	15.51	9.57	1.64
ธ.ค.-48	29.70	28.60	3.39	5.72	7.05	6.82	37.45	6.03	94.50	24.30	65.26	8.87	12.55	2.03	18.83	10.18	1.99
ม.ค.-49	28.30	28.80	3.32	5.87	7.10	7.00	35.00	7.64	81.00	28.00	43.48	9.77	12.59	2.36	17.76	8.77	1.97
ก.พ.-49	29.10	29.10	2.05	6.34	7.17	7.02	35.99	9.78	94.00	30.00	52.39	8.89	12.01	3.31	17.45	9.38	1.94
ค่าเฉลี่ย	29.00	29.02	2.82	6.11	7.10	7.02	32.56	7.63	87.17	35.39	56.32	9.54	10.63	2.81	16.08	11.08	1.63

4. การศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียเข้าระบบและที่ออกจากระบบ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียเข้าระบบที่ได้ออกแบบมี ดังนี้ ค่า BOD 150 mg/l ค่า SS 150 mg/l ค่า TN 30 mg/l ค่า TP 10 mg/l จากตารางที่ 16 และภาพที่ 35 น้ำเสียเข้าระบบในช่วงตั้งแต่เดือนเมษายน 2548 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ 2549 พบว่ามีค่า เฉลี่ยของ BOD, COD, SS, TN และ TP มีค่าเฉลี่ยเป็น 32.56 mg/l, 87.17 mg/l, 56.32 mg/l, 16 mg/l และ 1.63 mg/l ตามลำดับ สำหรับค่า DO ของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 2.82 mg/l สาเหตุที่ค่า DO มีค่าสูงเนื่องจาก น้ำเสียมีค่า BOD ต่ำและมีการสัมผัสกับอากาศขณะสูบขึ้นมาบำบัดขึ้นต้นก่อนเข้า SBR และพบว่าค่า DO ในบ่อ SBR มีค่า 1-5 mg/l ซึ่งจากการเดินระบบได้ใช้เครื่องอัดอากาศ จำนวน 2 ตัว ปริมาณการจ่ายอากาศ 14,400 ลบ.ม./ชม หรือ 0.71 ลบ.ม./ลบ.ม.น้ำ/ชม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้ คือ 34,800 ลบ.ม./ชม./บ่อ หรือ 1.70 ลบ.ม./ลบ.ม.น้ำ/ชม. แต่ค่า DO ในบ่อมีค่าสูงสาเหตุ เนื่องจากค่า BOD ที่เข้าระบบมีค่าต่ำและเชื้อจุลินทรีย์น้อยจึงใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลง ดังนั้นสามารถที่จะลดการจ่ายอากาศลงได้อีกเพื่อการคุม DO ให้อยู่ในช่วง 1-2 mg/l แต่จากการลดจำนวนเครื่องจ่ายอากาศลงเหลือ 1 ตัว ตะกอนจะถูกกวานไม่สมบูรณ์ เนื่องจากฟองอากาศน้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องเป่าอากาศอย่างน้อย 2 ตัว ในการเดินระบบเพื่อให้เกิดการกวานที่สมบูรณ์



ภาพที่ 36 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ SBR



**ภาพที่ 37** ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ออกจากระบบ SBR

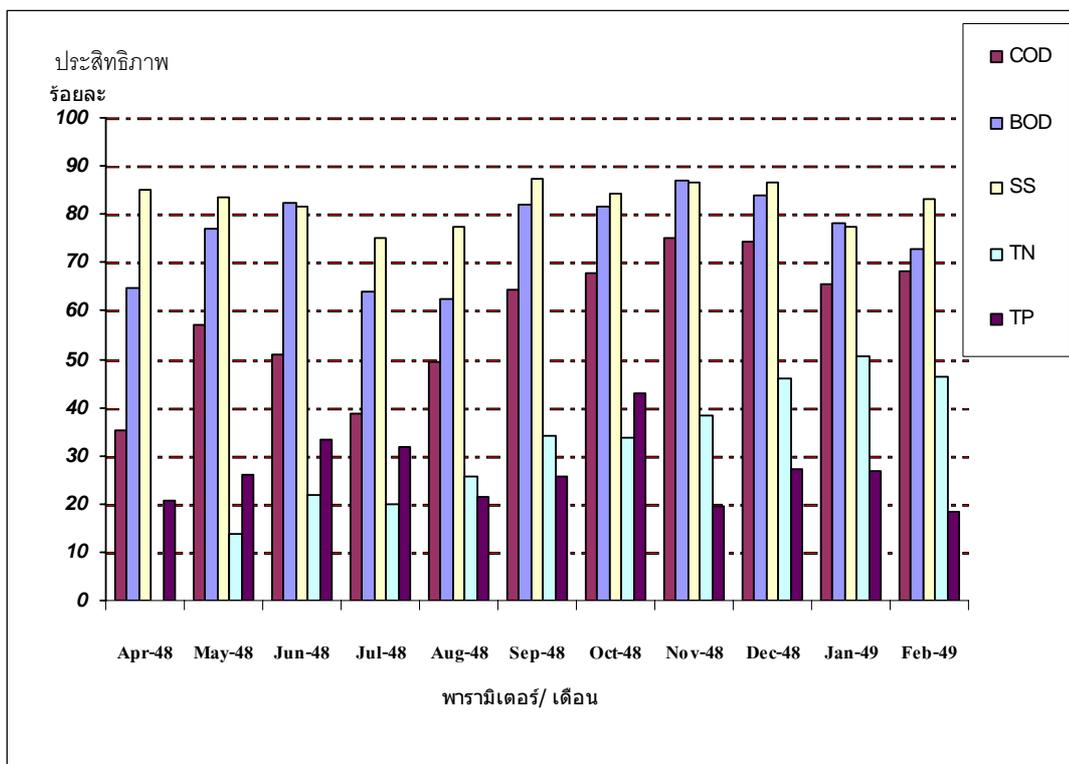
จากการศึกษาของ SBR แบบ CASS<sup>TM</sup> ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH อยู่ในช่วง 5-9 ค่า DO ไม่ต่ำกว่า 2 mg/l, ค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l ค่า SS ไม่เกิน 30 mg/l, ค่า TN ไม่เกิน 10 mg/l และ ค่า TP ไม่เกิน 2mg/l

จากผลการบำบัดแบบ SBR พบว่าค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ผ่านตามาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังนี้ ค่า BOD, COD, SS, TN และ TP เฉลี่ย 7.63 mg/l, 35.39 mg/l, 9.54 mg/l, 11.08 mg/l และ 1.20 mg/l ตามลำดับ ซึ่งค่า TN สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในช่วง 2 เดือนแรกของการเริ่มเดินระบบโดยมีค่าเฉลี่ยในเดือน เมษายน 2548 และ พฤษภาคม 2548 เป็น 15.85 mg/l และ 12.68 mg/l ตามลำดับเกินค่ามาตรฐาน เนื่องจากขณะเริ่มเดินระบบจุลินทรีย์จำพวกที่ทำให้เกิดขบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน โดยการเปลี่ยนไนเตรต, ไนไตรต์ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและต้องมีแหล่งคาร์บอนที่เพียงพอ แต่เนื่องจากค่า BOD มีค่าต่ำซึ่งอัตราส่วนคาร์บอน BOD/TN ที่พบคือ 2 เท่าซึ่งมีค่าน้อยกว่า 4 เท่า จึงทำให้การกำจัดค่า TN ในระบบได้ต่ำ และช่วงตั้งแต่มิถุนายน 2548 เป็นต้นไปความสามารถบำบัดค่า TN ได้ต่ำกว่า 10 mg/l ซึ่งผ่านตามาตรฐาน

## 4. การศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัด

**ตารางที่ 16** ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพ ของการบำบัด (ร้อยละ)					
	BOD	COD	SS	NH3-N	TN	TP
เม.ย.-48	64.65	35.10	85.11	72.69	0.19	20.85
พ.ค.-48	76.98	57.15	83.36	59.25	13.92	26.09
มิ.ย.-48	82.39	50.93	81.77	50.78	21.87	33.33
ก.ค.-48	63.91	38.67	75.28	61.84	19.86	31.82
ส.ค.-48	62.43	49.35	77.37	63.27	25.76	21.35
ก.ย.-48	82.15	64.42	87.37	85.49	34.18	25.83
ต.ค.-48	81.42	67.74	84.46	86.53	33.78	42.86
พ.ย.-48	86.85	75.27	86.66	89.72	38.30	19.91
ธ.ค.-48	83.90	74.29	86.41	83.82	45.94	27.14
ม.ค.-49	78.17	65.43	77.53	81.25	50.62	26.90
ก.พ.-49	72.83	68.09	83.03	72.44	46.25	18.56
ค่าเฉลี่ย	<b>75.97</b>	<b>58.77</b>	<b>82.58</b>	<b>73.37</b>	<b>30.06</b>	<b>26.75</b>

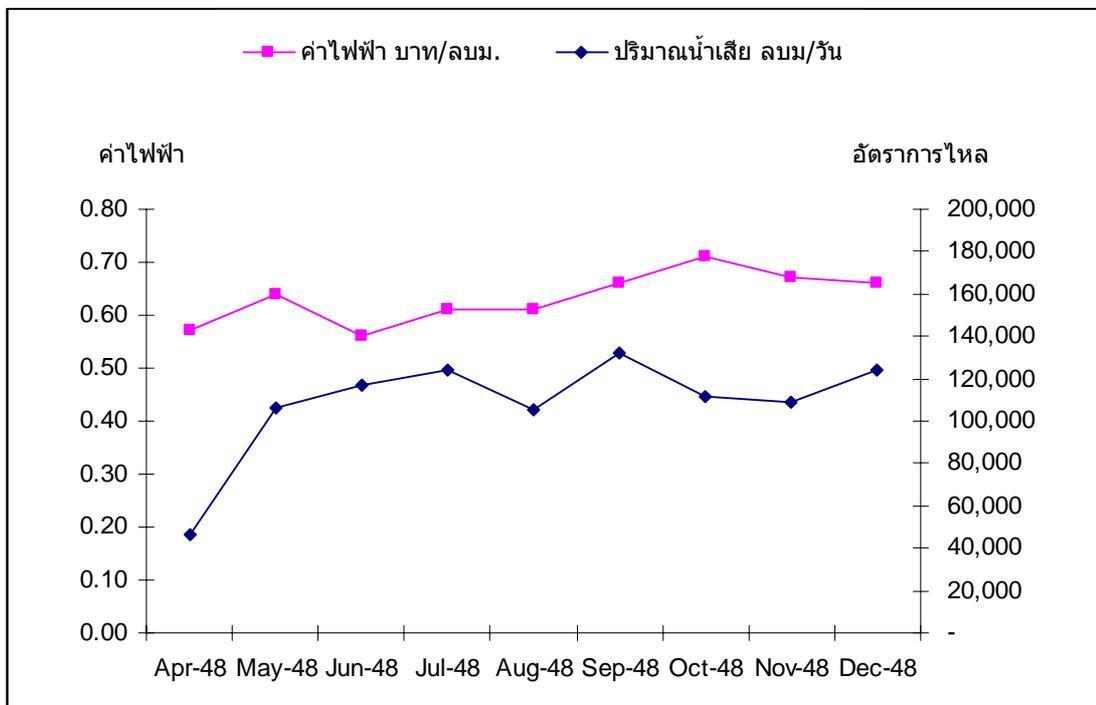


**ภาพที่ 38** ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

จากรูปที่ 38 และตารางที่ 17 พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดพบวาระบบ SBR แบบ CASS<sup>TM</sup> สามารถกำจัดค่า BOD, COD, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN และ TP เป็นร้อยละ 79.97, 58.77, 82.58, 73.37, 30.06 และ 26.75 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้ เนื่องจาก ค่า BOD ที่เข้าระบบ เอสบีอาร์ มีค่าต่ำ ประสิทธิภาพในการกำจัด SS สูงกว่าค่าที่ออกแบบ ประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนียมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบ ประสิทธิภาพในการกำจัด TN มีค่าต่ำกว่า เนื่องจาก BOD มีค่าต่ำ ประสิทธิภาพในการกำจัด TP มีค่าต่ำเนื่องจากค่า TP ที่เข้าระบบ จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี ช่วยกำจัด ซึ่งระบบได้ออกแบบโดยใช้สารส้ม หรือ เฟอร์ริกคลอไรด์ กำจัดฟอสฟอรัสในขบวนการ ตกตะกอนตัว

## 5. การศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระบบ



**ภาพที่ 39** ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและปริมาณอัตราการไหลของน้ำเสียเข้า

จากภาพที่ 39 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด สถานีสูบน้ำเสียระบบรวบรวมน้ำเสียมีค่าการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 0.66 บาท/ลบม. นำจากกราฟจะเห็นได้ว่า ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบไม่ได้เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนกับปริมาณน้ำเสียที่ไหลระบบ เนื่องจากการคิดค่าไฟฟ้า มีค่าแตกต่างกันตามช่วงเวลาที่ใช้งานหรือช่วงวันหยุด

6. การศึกษาลักษณะและชนิดของจุลชีพที่อยู่ในบ่อ SBR



Epistylis SP

**ภาพที่ 40** กลุ่ม Stalked Cillates ตกตะกอนได้ดี



Euchilanis

**ภาพที่ 41** กลุ่มจุลชีพพวก Rotifera



Philodina

**ภาพที่ 42** กลุ่มจุลชีพพวก Rotifera

จากภาพที่ 40, 41 และ 42 จากการนำตะกอนในบ่อ SBR มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปภาพจุลินทรีย์ซึ่งพบเชื้อ จัฟวก Rotifer และ Free Swimming และ Stalked Cillates ซึ่งจุลชีพดังกล่าวทำให้น้ำใสและตะกอนตกได้ดีแต่ไม่พบจุลชีพจำพวกเส้นใยที่เป็นสาเหตุในการตกตะกอนได้ยาก ซึ่งตรงตาม ทฤษฎีของระบบ SBR ที่มีความสามารถในการกำจัดจุลชีพจำพวกเส้นใยได้ดี



**ภาพที่ 43** ลักษณะการจมตัวของตะกอนจุลินทรีย์

จากภาพที่ 43 จะเห็นได้ว่าตะกอนมีการแยกชั้นน้ำใส กับชั้นตะกอนอย่างชัดเจน เนื่องจากตะกอนมีการจมตัวได้ดี และพบว่าตะกอนมีปริมาณมากและมีสีดำ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการสะสมของตะกอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้และไม่มีการดึงออกจากระบบเป็นระยะเวลา 8 เดือน ตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนถึงเดือนพฤศจิกายน 2548

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสียของ โรงระบบบำบัดน้ำเสียรวม กรุงเทพมหานครระยะที่ 4 ในช่วง 11 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2548 ถึง วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2549 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ SBR ในช่วงการเริ่มต้นระบบผลของการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ระยะเวลาในการเดินระบบ SBR แบบ CASS<sup>TM</sup> ใช้เวลา 4 ชม./รอบ หรือ 6 รอบ/วันซึ่งประกอบไปด้วย เติมน้ำและเติมอากาศ 2 ชม. เติมน้ำและตกตะกอน 1 ชม. และรินน้ำออก 1 ชม. ในช่วงเวลาที่ปกติ สำหรับ ช่วงที่มีน้ำฝนเข้ามาในระบบจะมีการทำงานโดยเติมน้ำ และเติมอากาศ 2 ชม. เติมน้ำและตกตะกอน 1 ชม. และเติมน้ำและรินน้ำออก เนื่องจากการทำงาน ดังกล่าว ทำให้ระบบรับน้ำเสียได้เพิ่มขึ้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในช่วงที่มีการเติมน้ำและตกตะกอน

2. ในการเริ่มเดินระบบจนระบบเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลซึ่งมีค่า MLVSS เพิ่มขึ้นจาก 300 mg/l เป็น 3,000 mg/l ใช้ระยะเวลา 7 เดือน

3. ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมระบบ ค่า  $\theta_c$  หรืออายุตะกอนในช่วงเดือน ธันวาคม 2548 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2549 มีค่าเฉลี่ย 50 วัน และค่า FM Ratio มีค่าเฉลี่ย 0.07 วัน<sup>-1</sup>

4. น้ำเสียที่เข้ามาในระบบมีปริมาณอัตราการไหลเฉลี่ย 108,473 ลบม./วันและมีค่าพารามิเตอร์ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าระบบ SBR ดังนี้ ค่า BOD, COD, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN และ TP มีค่าเฉลี่ย 32.56, 87.17, 56.32, 16.08 ,10.63 และ 1.63 มก./ลิตร ตามลำดับและคุณภาพน้ำผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD, COD, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN และ TP มีค่าเฉลี่ย 7.63, 35.39, 9.54, 11.08 , 2.81 และ 1.20 มก./ลิตร ตามลำดับ

5. ประสิทธิภาพของระบบ SBR ในการกำจัดค่า BOD, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN และ TP คิดเป็นร้อยละ 75.97, 58.77, 82.58, 30.06, 73.37 และ 26.75 ตามลำดับ

6. ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 0.66 บาท/ลบ.ม.น้ำ ซึ่งไม่รวมในส่วนบำบัดตะกอนและสถานีสูบน้ำเสียของระบบที่รวบรวม สำหรับสารเคมีที่ใช้ในระบบสำหรับกำจัดฟอสฟอรัสยังไม่มีการใช้งาน เนื่องจากค่าฟอสฟอรัสเข้ามาในระบบมีปริมาณน้อย

7. สรุปการเริ่มเดินระบบ เอสบีอาร์ แบบ CASS™ ซึ่งในขบวนการทำงานใช้เวลาที่เหมาะสมในการเดินระบบเป็นไปตามที่ออกแบบไว้คือ 4 ชม. สำหรับการหาค่า  $Y$ ,  $K_s$ ,  $k_d$  และ  $\mu_{max}$  ยังไม่สามารถหาได้เนื่องจากระบบดังกล่าวมีขนาดใหญ่เกินไปและระบบกำจัดตะกอนยังอยู่ในระหว่างการทดสอบ ดังนั้นการหาค่า  $\theta_c$  ที่อื่นๆ จึงไม่สามารถทำได้ ซึ่งสามารถศึกษาและวิจัยได้หลังจากระบบ เอสบีอาร์ เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว รวมถึงระบบกำจัดตะกอนมีความพร้อมสมบูรณ์ในการรับตะกอนส่วนเกินไปบำบัดได้เพิ่มขึ้นต่อไป

#### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาโลหะหนัก, ตะกอนดินหรือ  $H_2S$  ในระบบรวบรวมน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ SBR ในช่วงฤดูฝน
2. ศึกษาหาค่า Kinetic coefficient  $\theta_c$ ,  $Y$ ,  $K_s$ ,  $k_d$  และ  $\mu_{max}$  เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล (Steady State)
3. ศึกษาการแยก ของแข็งแขวนลอย (SS) ในระบบบำบัดขั้นต้นก่อนที่จะเข้ามายังระบบ SBR

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กองควบคุมคุณภาพน้ำ, 2545. เอกสารประชาสัมพันธ์ แผนการก่อสร้างการบำบัดน้ำเสีย กรุงเทพมหานคร.
- กองควบคุมคุณภาพน้ำ, 2545. เอกสารการออกแบบโครงการบำบัดน้ำเสียระยะที่ 4 กรุงเทพมหานคร.
- บริษัท ไทโก้ เอิร์ธ เทค (ประเทศไทย) จำกัด, 2545. เอกสารการออกแบบระบบ SBR แบบ CASS™
- ปจรรย์ ทองสนิท. 2539. การพัฒนาระบบเอสบีบีอาร์สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- มงคล ดำรงค์ศรี. 2545. กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2535. การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กด้วยระบบ เอสบีอาร์. สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ 95 น.
- มีชัย เลื่องชัยคม. 2545. ผลของการกวนในช่วง แอนน็อกซิก ของเอสบีอาร์ต่อการกำจัดไนโตรเจน วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สุชาติ เหลืองประเสริฐ. 2538. การศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยระบบเอสบีอาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สุรพล สายพานิช. 2538. พื้นฐานการควบคุมการทำงานของขบวนการตะกอนเร่ง. เอกสารประกอบการอบรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ 91 น.

อัครา จันทร์อารีย์. 2538. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกริยาแบบเท วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อนันต์ สหัสกุล. 2531. กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบต่าง ๆ. น.2.1-2.11. ใน คู่มืออย่างง่าย  
สำหรับการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย พ.ศ. 2531 สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่ง  
ชาติ. กรุงเทพฯ.

อุษากร นิยม. 2535. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมโดยระบบ  
เกิดเวตเต็ดสลัดจ์และระบบฟิกส์เบดแอรชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เอกสารการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโครงการบำบัดน้ำเสีย กทม. ระยะ ที่ 4

Arora, M.L., E.F. Barth and M.B. Umphres. 1985. Technology evaluation of sequencing batch  
reactors. **J.WPCF**. 57 : 867-875

Belia, E. and P.G. Smith. 1997. **The bioaugmentation of sequencing batch reactor sludge for  
biological phosphorus removal.** *Water Science and Technology* 35(1) : 19-26

Brito, A.G., A.C. Rodrigues and L.F. Melo. 1997” Feasibility of a pulsed sequencing batch  
reactor with anaerobic aggregated biomass for the treatment of low strength wastewater.  
**Water Science and Technology** 35(1) : 193-198

Cassidy, D.P. and R.L. Irvine. 1997. Biological treatment of a soil contaminated with diesel fuel  
using periodically operated slurry and solids phase reactor. **Water Science and  
Technology** 35(1) : 185-192

Cybis, L.F.A. and N.J. Horan. 1997. Protozoan and metazoan populations in sequencing batch  
reactorsoperated for nitrification and/or denitrification. **Water Science and Technology**  
35(1) : 81-86

- Davis, M.L. and D.A. Cornwell. 1991. **Introduction to Environmental Engineering**. 2d ed., McGraw-Hill, Book Company Inc., Singapore. 822 p.
- Dennis, R.W. and R.L. Irvine. 1979. Effect of fill : **react ratio to sequencing batch biological reactors**. *J.WPCF* 51(2) : 255-263
- Hirl, P.J. and R.L. Irvine. 1997. Reductive dechlorination fo perchloroethylene using anaerobic sequencing batch biofilm reactors (AnSBBR). **Water Science and Technology** 35(1) : 49-56
- Hoover, S.R., et al. 1951. **Assimilation of diary waste by activated sludge**. *Sew. And Ind. Waste*. 23(2) : 167-173
- Irvine, D.A., J.P. Earley, D.P. Cassidy and S.P. Harvey. 1997. Biodegradation of sulfur mustard hydrolysate in the sequencing batch reactor. **Water Science and Technology** 35(1) : 67-74
- Irvine. R.L., P.A. Wilderer and H.C. Flemming. 1997. Controlled unsteady stage process and technology-an overview. **Water Science and Technology** 35(1) : 1-10
- Ketchum, L.H., Jr. 1997. Design and physical feature of sequencing batch reactor. **Water Science and Technology** 35(1) : 11-18
- Kolb, F.R. and P.A. Wilderer. 1997. Activated carbon sequencing batch biofilm reactor to treat industrial wastewater. **Water Science and Technology** 35(1) : 169-176
- Loosdrecht, M.C.M. 1997. Importance of bacterial storage polymers in bioprocess. **Water Science and Technology** 35(1) : 41-47

Metcalf & Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse**. 3d ed., McGraw-Hill, Book Company Inc., Singapore. 1334 p.

Nakhla, G.F., A.M. Ahmed and S.Farooq. 1997. Modelling of sequencing batch reactors treating inhibitory and noninhibitory wastewaters. **Water Environmental Research** 69(1) : 6-13

S.Kirt Wood 2003. **Sequencing batch reactor ,SBR CASS™ Technology. BMA4 Process Design** Earthtech Engineering England. CASS™

Tasli, R., N. Artan and D. Orhon. 1997. The influent of different substrates on enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor. **Water Science and Technology** 35(1) : 75-80

Umble, A.K. and L.H. Ketchum. 1997. A strategy for coupling municipal wastewater treatment using the sequencing batch reactor with effluent ment recovery though aquaculture. **Water Science and Technology** 35(1) : 177-184

Woolard, C.R. 1997. The advantage of periodically operated biofilm reactor for the treatment of the highly variable wastewater. **Water Science and Technology** 35(1) : 199-206

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของโรงบำบัดน้ำเสียรวม กรุงเทพมหานคร ระยะที่ 4