



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพถังยูเอเอสบีกับถังโปรยกรองใช้อากาศ  
เพื่อบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น

**Comparative efficiency of UASB and aerobic bio filters for treatment  
meatball factory**

โดย

นายพงศ์พันธุ์ กาญจการุณ

31 มกราคม 2554

สัญญาเลขที่ CORE5320019

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพถังยูเอเอสบีกับถังโปรยกรองใช้อากาศ  
เพื่อบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น

**Comparative efficiency of UASB and aerobic bio filters for treatment  
meatball factory**

นายพงศ์พันธุ์ กาญจการุณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย

ชุดโครงการ สหกิจวิจัยและพัฒนา ณ สถานประกอบการ

**Industrial Co-operative Research & Development (In CoRe)**

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปย่อผู้บริหาร

การจัดการน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาของอุตสาหกรรมอาหารให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับของสากล ปัญหาโดยทั่วไปของการจัดการน้ำเสีย คือ ขาดเงินทุน ขาดพื้นที่ ขาดความเข้าใจ และไม่ให้ความสำคัญกับปัญหาที่เกิดขึ้น

โรงงานผลิตลูกชิ้นป้าศรีเป็นหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ประสบปัญหาในการจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ประกอบด้วยน้ำเสียจากกระบวนการล้างวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตลูกชิ้น น้ำเสียที่ใช้ในการทำลูกชิ้นให้สุกและน้ำเสียใช้ในการต้มลูกชิ้นเพื่อฆ่าเชื้อโรค ในช่วงปกติ โรงงานจะมีอัตราการผลิตลูกชิ้น 300 – 400 กิโลกรัมต่อวัน ใช้น้ำในการผลิต 2 – 3 ลบ.ม. ต่อวัน น้ำเสียที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานจะถูกปล่อยทิ้งลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของโรงงานประกอบด้วย ตะแกรงกรองเศษ ถังตกตะกอน ถังบำบัดแบบไร้อากาศขนาด 2 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง และถังพักน้ำ ผลการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ พบว่าไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทันก่อนปล่อยลงสู่คลองระบายน้ำ อีกทั้งในช่วงที่มีงานเทศกาลในแต่ละครั้ง การผลิตจะสูงขึ้นเป็น 700 - 800 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 4 – 5 ลบ.ม. ต่อวัน ทำให้ปริมาณน้ำเสียที่ลงสู่ระบบมีมากขึ้น อีกทั้งน้ำเสียที่ทิ้งลงบ่อบำบัดจะมีอุณหภูมิสูงอยู่ที่ 70 – 80 องศาเซลเซียส และไม่มีการปรับเสถียรภาพก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังบำบัด นอกจากนี้ถังบำบัดแบบไร้อากาศทั่วไปยังต้องการระยะเวลาและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้จุลินทรีย์กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แต่สภาพอันจำกัดของพื้นที่โรงงานทำให้ไม่สามารถติดตั้งถังไร้อากาศไว้เพียงพอต่อการบำบัดได้

โครงการนี้จึงได้นำการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยระบบยูเอเอสบีเพื่อมาแทนที่ระบบบำบัดเดิม โดยระบบยูเอเอสบีเป็นระบบไร้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ประหยัดค่าใช้จ่ายกับตัวกลางในการยิดเกาะของจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม โดยปกติน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศยังคงมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ในระดับหนึ่ง การกำจัดสารอินทรีย์ด้วยการใช้ระบบไร้อากาศเพียงระบบเดียวจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 80 ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำ ในทางตรงกันข้ามสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จะมีค่าสูงกว่า แต่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของระบบอาจมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบยูเอเอสบีเพียงอย่างเดียวกับการใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบใช้อากาศแบบโปรยกรอง โดยศึกษาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บกักที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีร้อยละ 80 ขึ้นไป นอกจากนี้ยังทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างตัวกลางไบโอบอลและตัวกลางพลาสติกในระบบโปรยกรองอีกด้วย

ผลที่ได้จากโครงการวิจัยบ่งชี้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง ให้ผลดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 90 ขึ้นไปสำหรับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้า 2 และ 4 ลบ.ม.ต่อวัน แต่น้ำทิ้งที่ได้จากระบบยูเอเอสบีเพียงอย่างเดียวยังไม่ผ่านมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องผ่านระบบโปรยกรองโดยมีประสิทธิภาพในการจัดการน้ำเสีย

ของระบบซึ่งมีตัวกลางเป็นไบโอบอลและตัวกลางพลาสติกร้อยละ 80 และ 74 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากราคาของตัวกลาง จะเห็นว่าถึงแม้ว่าตัวกลางพลาสติกจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่ำกว่าแต่ก็ไม่มาก แต่ราคาและการจัดทำตัวกลางพลาสติกประหยัดและสะดวก อีกทั้งน้ำทิ้งที่ได้ยังผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมทั้งคู่ ดังนั้นหากมีการประยุกต์ใช้กับระบบขนาดใหญ่ อาจใช้ตัวกลางพลาสติกทดแทนได้

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการทำให้สถานประกอบการโรงงานลูกชิ้นมีการจัดการของเสียและน้ำเสียอย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมภายในชุมชน สามารถใช้เป็นกรณีตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าคุณสมบัติน้ำเสียที่ใกล้เคียงกันกับสถานประกอบการอื่น หรือ ชุมชนอื่นได้ เพื่อสร้างความเข้มแข็งให้สถานประกอบการและอุตสาหกรรมไทยต่อไป

คณะผู้วิจัยฯ

## บทคัดย่อ

โครงการนี้จึงได้นำการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยระบบยูเอเอสบีเพื่อมาแทนที่ระบบบำบัดเดิม โดยระบบยูเอเอสบีเป็นระบบไร้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ประหยัดค่าใช้จ่ายกับตัวกลางในการยิดเกาะของจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม โดยปกติน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศยังคงมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ในระดับหนึ่ง การกำจัดสารอินทรีย์ด้วยการใช้ระบบไร้อากาศเพียงระบบเดียวจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 80 ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำ ในทางตรงกันข้ามสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จะมีค่าสูงกว่า แต่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของระบบอาจมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบยูเอเอสบีเพียงอย่างเดียวกับการใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบใช้อากาศแบบโปรยกรอง โดยศึกษาที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 12 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บกักที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีร้อยละ 80 ขึ้นไป นอกจากนี้ยังทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างตัวกลางไบโอบอลและตัวกลางพลาสติกในระบบโปรยกรองอีกด้วย

**คำสำคัญ :** จุลินทรีย์ไร้อากาศ, บ่อปรับเสถียร, ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ, ตัวกลางพลาสติก, คุณภาพน้ำ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยการสนับสนุนของทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการอุตสาหกรรมและวิจัย สำหรับปริญญาดรี ประจำปี 2553 และโรงงานลูกชิ้นป้าศรี ที่ให้ความสะดวกในการทำการวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด ทางผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

## สารบัญ

|                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------|------|
| บทสรุปย่อผู้บริหาร                                               | ก    |
| บทคัดย่อ                                                         | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ                                                  | ง    |
| สารบัญตาราง                                                      | ช    |
| สารบัญภาพ                                                        | ซ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                     | 1    |
| 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา                              | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                                      | 3    |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                    | 4    |
| 1.4 ขอบเขตของโครงการ                                             | 4    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                            | 5    |
| 2.1 ประเภทของน้ำเสีย                                             | 5    |
| 2.2 ระบบยูเอเอสบี                                                | 7    |
| 2.3 ระบบโปรยกรอง                                                 | 14   |
| 2.4 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง                                     | 16   |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน                                         | 19   |
| 3.1 การเก็บและรวบรวมข้อมูล                                       | 19   |
| 3.2 การประเมินศักยภาพของระบบบำบัดเดิม                            | 24   |
| 3.3 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย                                    | 25   |
| 3.4 ขั้นตอนการก่อสร้างและจัดทำระบบ                               | 25   |
| 3.5 การทดสอบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี                        | 29   |
| 3.6 การทดสอบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบีร่วมกับโปรยกรอง         | 29   |
| 3.7 อุปสรรคที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา                        | 32   |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน                                           | 35   |
| 4.1 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางไอโอบอล | 35   |
| 4.2 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติก | 37   |
| 4.3 อภิปรายผลการศึกษา                                            | 39   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                            | หน้า |
|----------------------------|------|
| บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน | 41   |
| 5.1 สรุป                   | 41   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ             | 43   |
| บรรณานุกรม                 | 44   |
| ภาคผนวก ก.                 |      |
| ภาคผนวก ข.                 |      |
| ภาคผนวก ค.                 |      |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                      | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.1 ผลการทดสอบน้ำเสีย                                                                         | 22   |
| 4.1 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอล<br>อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน | 36   |
| 4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอล<br>อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน | 36   |
| 4.3 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติก<br>อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน | 38   |
| 4.4 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติก<br>อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน | 39   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                               | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ลักษณะเศษชิ้นส่วนของเสี้ยนที่ไหลเข้าระบบน้ำเสียในถังบำบัดเดิม                                                    | 2    |
| 2.2 ลักษณะทั่วไปของถัง UASB                                                                                          | 8    |
| 2.3 โครงสร้างตะกอนเมื่อด                                                                                             | 10   |
| 2.4 ลักษณะการลอยขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นตอนการเกิดตะกอน                                             | 11   |
| 2.5 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์ในถัง UASB | 12   |
| 3.1 แสดงลักษณะของน้ำเสียรวม น้ำเสียเข้มข้น และน้ำเสียเจือจาง                                                         | 20   |
| 3.2 แสดงลักษณะของน้ำเสียล้าง (ซ้าย) และน้ำเสียต้มลูกชิ้น (ขวา)                                                       | 20   |
| 3.3 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบผสมรวม                                                                            | 21   |
| 3.4 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำต้มลูกชิ้น                                                                               | 21   |
| 3.5 แผนที่สัปดาห์บ้านและโรงงาน                                                                                       | 23   |
| 3.6 น้ำเสียในกระบวนการบำบัดต่างๆ ในสภาพปัจจุบัน                                                                      | 24   |
| 3.7 ผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเดิมในโรงงานลูกชิ้นป่าศรี                                                          | 24   |
| 3.8 การวางตำแหน่งของระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบขึ้นมาใหม่                                                              | 26   |
| 3.9 รื้อถอนระบบเก่า                                                                                                  | 27   |
| 3.10 ก่อสร้างระบบใหม่                                                                                                | 27   |
| 3.11 ท่อระบายน้ำเสียชั่วคราว                                                                                         | 27   |
| 3.12 ระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อก่อสร้างและปรับสภาพบ่อแล้วเสร็จ                                                            | 28   |
| 3.13 การเดินระบบบำบัดในโรงงาน                                                                                        | 28   |
| 3.14 แผนผังการทดสอบระบบบำบัดน้ำเสีย                                                                                  | 30   |
| 3.15 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นตะกอนเริ่มต้นในโครงการ                                         | 31   |
| 3.16 ลักษณะตัวกลาง bioball ที่ใช้ในการศึกษา                                                                          | 31   |
| 3.17 ลักษณะตัวกลางพลาสติกที่จัดทำขึ้นเองที่ใช้ในการศึกษา                                                             | 31   |
| 3.18 การรื้อซึมที่เกิดขึ้นหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ 2 สัปดาห์                                                         | 32   |
| 3.19 การอุดรูรั่วภายในด้วย water plug cement                                                                         | 33   |
| 3.20 สภาพถังภายนอกที่ฉาบแล้วเสร็จ                                                                                    | 33   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรม รายได้จากภาคอุตสาหกรรมได้ทำรายได้ให้กับประเทศมากกว่าภาคเกษตรกรรมอย่างน้อย 2 เท่า ในขณะที่เศรษฐกิจของประเทศมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปัญหาสิ่งแวดล้อมก็ได้เพิ่มมากขึ้น ปัญหามลพิษน้ำไม่ได้หยุดที่ความสกปรกในรูปบีโอดี เพียงอย่างเดียว ได้ขยายครอบคลุมไปถึงโลหะหนัก สารพิษ สารอันตรายอื่น ๆ เป็นผลจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมลสารเหล่านี้ยากที่จะทำลาย สาเหตุส่วนใหญ่ที่เกิดปัญหาคือ ขาดเงินทุน ขาดพื้นที่ ขาดความเข้าใจ และไม่ให้ความสำคัญกับปัญหาที่เกิดขึ้น

โรงงานผลิตลูกชิ้นป้าศรี ก็เป็นอีกโรงงานหนึ่งที่มีปัญหา ในการจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยมีวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู เป็นต้น รวมทั้งยังมี ส่วนผสมอื่นจำพวกแป้ง สารปรุงรส ในช่วงปกติ โรงงานจะมีอัตราการผลิตลูกชิ้น 300 – 400 กิโลกรัมต่อวัน ใช้น้ำในการผลิต 2 – 3 ลบ.ม. ต่อวัน น้ำเสียที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานจะถูกปล่อยทิ้งลงสู่ตะแกรงกรองเศษ ถึงตกตะกอน ถึงบำบัดแบบไร้อากาศขนาด 2 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง และถึงพักน้ำ ผลการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ พบว่าไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทันก่อนปล่อยลงสู่คลองระบายน้ำ อีกทั้งในช่วงที่มิงานเทศกาลในแต่ละครั้ง การผลิตจะสูงขึ้นเป็น 700 - 800 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 4 – 5 ลบ.ม. ต่อวัน ทำให้ปริมาณน้ำเสียที่ลงสู่ระบบมีมากขึ้น (ศุภกร, 2552) ซึ่งจากการสำรวจแหล่งที่มาและปัญหาของระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นพบว่า น้ำเสียจากการผลิตส่วนใหญ่มาจากการล้างเนื้อ และน้ำต้มในกระบวนการทำเนื้อให้สุก โดยน้ำเสียที่ทิ้งลงบ่อบำบัดจะมีอุณหภูมิสูงอยู่ที่ 70 – 80 องศาเซลเซียส และไม่มีการปรับเสถียรภาพก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด อีกทั้งระบบบำบัดที่มีอยู่เดิมไม่เหมาะสมกับระบบอุตสาหกรรมทำให้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากบ่อบำบัดแบบไร้อากาศต้องการระยะเวลาและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้จุลินทรีย์กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และส่วนใหญ่การบำบัดแบบไร้อากาศทั่วไปไม่สามารถบำบัดให้ผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมได้ จึงต้องทำการปรับสภาพน้ำเสียก่อนจะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำทั่วไปอีกที ซึ่งผลจากการตรวจสอบสภาพน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งเบื้องต้น พบว่ามีสีดำ สกปรกเหม็น และมีเศษตะกอนเล็กๆ ปะปนอยู่ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลักษณะเศษชิ้นส่วนของเสียที่ไหลเข้าระบบและน้ำเสียในถังบำบัดเดิม

แนวทางในการจัดการบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น จะพิจารณาจากวิธีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งได้เป็น 5 กระบวนการดังต่อไปนี้ 1) กระบวนการทางกายภาพได้แก่ ตะแกรงดักขยะ (Screening) ระบบทำให้ของแข็งลอย (Flotation) ระบบกวาดของแข็งที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ (Skimming) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกของแข็งด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) การกรอง (Filtration) 2) กระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบเติมอากาศ เช่น ระบบเอเอส (Activated Sludge) ระบบ Aerobic Filter ระบบหมัก เช่น ระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ระบบ ABR (Anaerobic Baffle Reactor) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) 3) กระบวนการทางเคมี ได้แก่ ระบบตกตะกอนผลึก (Precipitation) ระบบ Coagulation and Flocculation ระบบ Oxidation and Reduction ระบบฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) 4) กระบวนการทางกายภาพเคมี ได้แก่ ระบบดูดซับ (Adsorption) ระบบดูดซึม (Sorption) ระบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) ระบบ Reverse Osmosis 5) กระบวนการทางธรรมชาติ ได้แก่ บ่อธรรมชาติ เช่น Stabilization Pond, Aerobic Pond, บ่อผักตบชวา, ระบบบำบัดด้วยพื้นดิน, ระบบบึง (Wetland System)

จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ การบำบัดทางกายภาพเหมาะสมในส่วนของการตกตะกอน (Sedimentation) การกรอง (Filtration) ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและไม่ต้องการผู้ที่มีความรู้ดูแลระบบมากนัก กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางกายภาพเคมียังไม่เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณน้ำเสียโรงงานลูกชิ้นป้าศรี โดยให้เหตุผลเพราะเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งต้องมีการตรวจสอบระบบอย่างต่อเนื่อง ต้องมีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านควบคุมดูแล ส่วนกระบวนการทางธรรมชาตินั้น มีข้อดีในด้านการลดใช้พลังงานดูแลรักษาระบบง่าย แต่ข้อด้อยคือใช้พื้นที่ในการบำบัดค่อนข้างสูงไม่เหมาะกับโรงงานลูกชิ้นป้าศรี เนื่องจากโรงงานตั้งอยู่ในชุมชนเมืองจึงไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดทางธรรมชาติได้ แนวทางการบำบัดจึงเลือกกระบวนการทางชีวภาพแบบไร้อากาศ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน และเกิดตะกอนส่วนเกินขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบใช้

อากาศ ทำให้ไม่ต้องมีระบบกำจัดตะกอนส่วนเกินที่ยุงยากเหมือนระบบใช้ออกซิเจนทั่วไปอีก ทั้งระบบใช้อากาศยังต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบพอสมควร ต้องดูแลเครื่องจักรเติมอากาศตลอดเวลาพร้อมทั้งคนที่ดูแลระบบใช้อากาศต้องมีความรู้พอสมควร ระบบใช้อากาศสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง การย่อยสลายในสภาพไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เป็นขบวนการที่ใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้นอกจากนี้ยังให้ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ซึ่งนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ส่วนหนึ่ง แต่ทั้งนี้ระบบไร้อากาศทั่วไป ยังต้องการการเวลาในการย่อยสลายที่นาน ทำให้ต้องมีถังเก็บกักน้ำเสียมาก แต่ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบไร้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ประหยัดค่าใช้จ่ายกับตัวกลางในการยัดเกาะของจุลินทรีย์ จึงถูกเลือกมาเพื่อใช้ในการบำบัดแทนระบบไร้อากาศเดิม

แต่อย่างไรก็ตาม โดยปกติน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศยังคงมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ในระดับหนึ่ง การกำจัดบีโอดีด้วยการใช้ระบบแอนแอโรบิกเพียงระบบเดียวจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 80 ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำ ในทางตรงกันข้ามสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีจะมีค่าสูงกว่า แต่ความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำทิ้งของระบบอาจมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบยูเอเอสบีเพียงอย่างเดียวกับการใช้ระบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบใช้อากาศแบบโปรยกรอง โดยศึกษาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บกักที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีร้อยละ 84-98 (ปิยะพันธ์ นุชท่าโพ, 2546)

ผลที่ได้จากโครงการวิจัยจะช่วยลดปัญหาในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานลูกชิ้น อีกทั้งยังทำให้สถานประกอบการมีการจัดการของเสียและน้ำเสียอย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมภายในชุมชน สามารถใช้เป็นกรณีตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าคุณสมบัติ น้ำเสียที่ใกล้เคียงกันกับสถานประกอบการอื่น หรือ ชุมชนอื่นได้ เพื่อสร้างความเข้มแข็งให้สถานประกอบการและอุตสาหกรรมไทยต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี และระบบโปรยกรอง

1.2.2 หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดังนี้

- ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี
- ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบบำบัดแบบโปรยกรอง

1.2.3 หาเวลาเก็บกักน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time, HRT) ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกริยา 12,24 ชั่วโมง ดังนี้

- ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี

- ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีร่วมกับระบบบำบัดแบบโปรยกรอง

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

#### 1.3.1 ประโยชน์ทางตรง

- 1.3.1.1 ได้ระบบถังยูเอเอสบี และระบบถังกรองใช้อากาศเพื่อบำบัดน้ำเสีย
- 1.3.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ของถังยูเอเอสและถังโปรยกรองใช้อากาศ
- 1.3.1.3 เวลาเก็บกากที่ดีที่สุดสำหรับถังยูเอเอสบี และถังโปรยกรองใช้อากาศ

#### 1.3.2 ประโยชน์ทางอ้อม

- 1.3.2.1 สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในชุมชนเมือง
- 1.3.2.2 ผู้ประกอบการเห็นความสำคัญถึงปัญหา สาเหตุในการบำบัดน้ำเสีย ปลูกจิตสำนึกที่ดีให้สถานประกอบการอื่นเห็นเป็นตัวอย่าง
- 1.3.2.3 นักศึกษาได้นำวิชาวิศวกรรมประปาและสุขาภิบาล และวิศวกรรมชลศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับการทำงาน
- 1.3.2.4 สร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสถานประกอบการกับสถาบันการศึกษา

### 1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 น้ำเสียที่ใช้ในการออกแบบเป็นน้ำเสียรวมของโรงงานลูกชิ้นป้าศรี ในช่วงการผลิตปกติเท่านั้น
- 1.4.2 ใช้ค่า COD เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัด
- 1.4.3 น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดจะผ่านมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อมีการใช้งานและดูแลระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในโครงการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียโดยทั่วไปแล้วแบ่งแหล่งกำเนิดของน้ำเสียได้ 3 แหล่ง คือ น้ำเสียจากชุมชน (Domestic Wastewater) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) และน้ำเสียจากการเกษตร (Agricultural Wastewater)

##### 2.1.1 น้ำเสียจากชุมชน (Domestic Wastewater)

น้ำเสียจากชุมชน คือเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากอาคารบ้านเรือน ร้านค้าพาณิชยกรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียนห้างสรรพสินค้า เป็นต้นส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการธรรมชาติ น้ำเสียจากชุมชนยังเริ่มจากน้ำสีเทาขุ่น ประกอบด้วยสารขนาดใหญ่ ขนาดเล็ก และขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองดูด้วยสายตาคนเราได้ มีกลิ่นไม่เหม็นมากนักแต่สภาพไม่น่าดู มีพิษค่อนข้างรุนแรงซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์นำเชื้อโรคหลายชนิด น้ำเสียเกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

##### 1. สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตองพืชผัก ซึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

##### 2. สารอนินทรีย์

ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้แก่ คลอไรด์, ซัลเฟต เป็นต้น

##### 3. โลหะหนักและสารพิษ

โลหะหนักและสารพิษอาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ หรือ อนินทรีย์และ สามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหารเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และ สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และ น้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

#### 4. น้ำมันและสารแขวนลอย

น้ำมันและสารแขวนลอยต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

#### 5. สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอง

ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

#### 6. ธาตุอาหาร

ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ

### 2.1.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม น้ำเสียอุตสาหกรรมบางแห่งอาจปนเปื้อนโลหะหนัก หรือสารประกอบที่ต้องอาศัยกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อนกว่าน้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากกิจกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งน้ำหล่อเย็นที่มี ความร้อนสูง และน้ำเสียจากห้องน้ำ ห้องส้วมของคณาด้วย ความเน่าเสียของคูคลองเกิดจากน้ำเสียประเภทนี้ประมาณ 25% แม้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่สิ่งสกปรกในน้ำเสียจะเป็นพวกสารเคมีที่เป็นพิษและพวกโลหะหนักต่างๆ รวมทั้งพวก สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูงด้วย

### 2.1.3 น้ำเสียจากการเกษตร (Agricultural Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ทั้งในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำ การไถพรวน และสารเคมีต่างๆ ถ้าหากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูก จะพบสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียม และสารพิษต่างๆ ในปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจการการเลี้ยงสัตว์ จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

## 2.2 ระบบยูเอเอสบี

ระบบกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งแบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายแบบเช่น บ่อเกรอะ (Septic Tank), บ่อหมัก (Anaerobic Lagoons), ถังหมักธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion), ระบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact หรือ Anaerobic Activated Sludge), ระบบถังหมักสองเฟส (Two-Phase Anaerobic Digestion), ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน Anaerobic Filter), ระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB) และ Anaerobic Attached Film Expanded Bed (AAFEB), ระบบ Upflow Anaerobic sludge Blanket (UASB), ระบบจานชีว-หมุนแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Rotating Biological Contactor), ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor) เป็นต้น ซึ่งแต่ละระบบมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกันจากการศึกษาและทดลอง โดยส่วนใหญ่พบว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน มักจะประสบปัญหาบางประการในการออกแบบและควบคุมการทำงาน เช่น

- ความล้มเหลวในการแยกตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำออก (Effluent)
- ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (Hydraulic Retention Time) นานกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้มีความพยายามที่จะพัฒนาแก้ไขปัญหาดังกล่าวของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนกันอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดรูปแบบต่างๆของระบบไร้ออกซิเจน เช่น

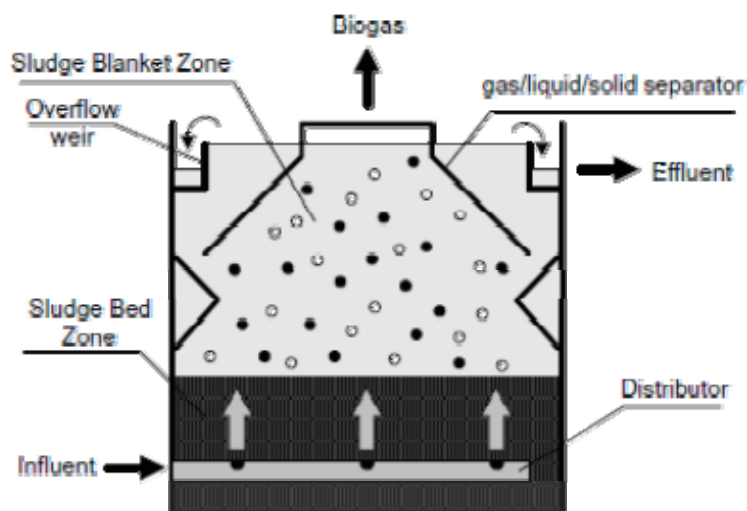
- ระบบถังหมักแบบผสม เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งและนำกลับเข้าสู่ถังใหม่
- ระบบถังหมักแบบสองเฟส แยกถังหมักออกเป็นสองส่วน ตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ ทำให้ง่ายต่อการควบคุมสภาวะแวดล้อม
- ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ใส่ตัวกลางในถังหมัก เพื่อช่วยกระจายการไหลของน้ำ และเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ทำให้มีระยะเวลาเก็บตะกอนจุลินทรีย์สูง เป็นต้น

Standard (1966) ได้ค้นพบว่า การเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอยู่ในถังหมักเป็นจำนวนมากโดยการติดตั้งถังตกตะกอนไว้ตอนบนของถังหมักจะทำให้สามารถลดระยะเวลาในการบำบัดให้สั้นลง และยังสามารถรับปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ระบบได้มากขึ้นด้วยต่อมาระบบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นตามลำดับ

ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดย Lettinga และคณะ (1980) โดยการพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถแยกน้ำเสียตะกอนจุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพ (Gas-solid separator device , GSS device) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นระบบดังกล่าวคือระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket , UASB)

### 2.2.1 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ลักษณะทั่วไปของถังยูเอเอสบี เป็นถังปัดรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงกระบอกก็ได้ ถังยูเอเอสบีจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของถัง UASB

- ส่วนแรกเป็นถังหมักพร้อมด้วยระบบป้อนน้ำเสีย (Feed inlet system) อยู่ด้านล่างของถัง
- ส่วนที่สองเป็นถังตกตะกอนอยู่ด้านบนของถัง ประกอบด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุมประมาณ  $45^\circ - 60^\circ$  โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ทำหน้าที่แยกของเหลว ก๊าซ และตะกอนจุลินทรีย์ออกจากกัน และยังทำหน้าที่ป้องกันการหลุดออกมาของตะกอนจุลินทรีย์

การทำงานของระบบยูเอเอสบี จะต้องมีการเติมเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่ถังยูเอเอสบีก่อนและรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น  $40-100 \text{ kg.VSS/m}^3$  ขึ้นที่ก้นถังหรือชั้นตะกอนล่าง (Sludge bed) ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะมีความหนาแน่นและมีลักษณะเป็นเม็ดหรือเกล็ด (granular or pellet) มีความเร็วในการจมตัวสูง (high setting velocity) การรวมตัวเป็นเม็ดของตะกอนจุลินทรีย์ ขึ้นกับลักษณะของน้ำเสียที่มาบำบัด และเชื้อแบคทีเรียที่เราใช้ครั้งแรก ด้านบนของชั้นตะกอนล่างเป็นชั้นของตะกอนลอย (sludge blanket) ที่มีความเร็วในการจมตัวต่ำ (low setting velocity) และมีความเข้มข้นประมาณ  $15-30 \text{ kg.VSS/m}^3$  น้ำเสียถูกป้อนเข้าทางตอนล่างของถังเพื่อให้สัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ในถังอย่างทั่วถึง น้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนล่างย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดเซลล์ของจุลินทรีย์และก๊าซต่างๆ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะเกาะอยู่ตามตะกอนจุลินทรีย์ ความเร็วของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะไหลขึ้น และพาเอาตะกอน

จุลินทรีย์ขึ้นสู่ด้านบน ทำให้มีการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับตะกอนที่แขวนลอย ที่มีปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่าชั้นตะกอนล่าง ระหว่างที่น้ำเสียไหลขึ้นสู่ส่วนที่เป็นถังตกตะกอนด้านบน สารอินทรีย์ในน้ำเสียยังคงถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนลอย เมื่อน้ำเสียไหลสู่ส่วนบนของถัง ซึ่งเป็นอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย น้ำเสียจะปะทะกับแผ่นกั้น ซึ่งเอียงทำมุม  $45^{\circ} - 60^{\circ}$  ซึ่งทำหน้าที่แยกก๊าซที่เกิดขึ้นให้หลุดออกจากกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกเก็บกักในส่วนบน แล้วไหลออกไปตามท่อสู่ที่เก็บกักเมื่อแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงดันของน้ำที่เก็บกัก น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะแยกตัวจากตะกอนจุลินทรีย์และไหลออกทางด้านบนของถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จะตกสู่ก้นถังตกตะกอน และจมลงสู่ด้านล่างของถังยูเอเอสบีต่อไป

ในระบบนี้ ปัจจัยสำคัญของระบบคือการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้รวมตัวกันเป็นเม็ดหรือเกล็ด ตะกอนจนกระทั่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจนสามารถตกตะกอนได้ดี เพราะถ้าไม่สามารถสร้างตะกอนจุลินทรีย์ให้มีลักษณะดังกล่าวได้ ข้อดีของระบบนี้จะกลายเป็นข้อเสียของระบบ กล่าวคือ จะเกิดปัญหาการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบด้อยลงและอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ในที่สุด

## 2.2.2 สภาพจุลชีวะของการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนในถังปฏิกริยาเยอเอสบี

จากการที่สามารถเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้หลุดออกไปจากถังปฏิกริยาได้ดี ก่อให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ในรูปของเม็ดตะกอน ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ โดยที่ตะกอนจุลินทรีย์เกาะยึดกันไว้เป็นก้อนเม็ดอย่างเห็นได้ชัด มีขนาดตั้งแต่ 0.5 – 5.0 มม. ซึ่งมีค่า Methanogenic Activity สูง ลักษณะของตะกอนเม็ดที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาเยอเอสบี จะขึ้นกับชนิดตะกอนหัวเชื้อ (Seed Sludge) ส่วนประกอบของน้ำเสีย และวิธีการเริ่มต้นกระบวนการหมักตลอดจนถึงแวลวล้อมขณะเริ่มต้นกระบวนการหมัก โดยที่เม็ดตะกอนอาจมีหลายชนิดดังต่อไปนี้

### 2.2.2.1 Sorcina Granular

เป็นชนิดที่มีจุลินทรีย์รูปร่างกลมเกาะกันเป็นกลุ่มเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนเม็ดชนิดนี้สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก มากกว่า 1,000 มก./ล. ซึ่งมีขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.5 มม.) จึงถูกชะล้างออกจากถังปฏิกริยาได้ง่าย นอกจากนี้ยังเป็นตะกอนเม็ดชนิดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียต่ำ ดังนั้นเพื่อควบคุมประสิทธิภาพการทำงานของระบบจึงต้องมีความเร็วของน้ำไหลขึ้น (Upflow Liquid Velocity) ที่พอเหมาะต่อการชะล้างตะกอนชนิดนี้ให้หลุดออกจากระบบ

### 2.2.2.2 Spinky Granular

เป็นตะกอนเม็ดที่มีความยาวมากกว่า 1 มม. มีความหนาน้อยกว่า 0.5 มม. ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต( $\text{CaCO}_3$ )มากกว่าร้อยละ 60 และเป็นชนิดที่สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งข้าวโพด

### 2.2.2.3 Filamentous

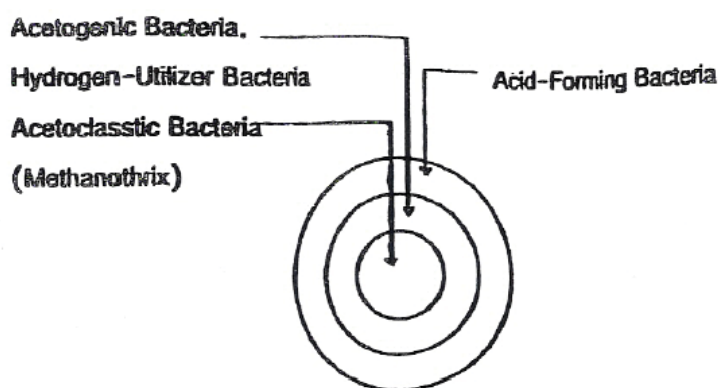
เป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะรูปร่างเป็นแท่งต่อกันเป็นสาย ประกอบด้วย Methanothrix ชนิดที่เป็นเส้น สร้างขึ้นมาจากน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย (Volatile Fatty Acid, VFA)

### 2.2.2.4 Rod

มีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ประกอบด้วย Methanothrix ชนิดเป็นเส้นสั้น รวมกันประมาณ 5 เซล พบในถังหมักที่ใช้บำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมันและโรงงานน้ำตาล

Lettinga และคณะ (1985) ได้พบว่าตะกอนเม็ดส่วนใหญ่สร้างจาก Methanothrix-like Bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่มีรูปร่างต่อกันเป็นเส้นสาย โดยตะกอนเม็ดชนิดนี้สร้างขึ้นจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำ และความเข้มข้นของอะซิเตท (Acetate) ต่ำกว่า 1,000 มก./ล. ซึ่งยอมรับกันว่าตะกอนเม็ดชนิดนี้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบในน้ำเสีย

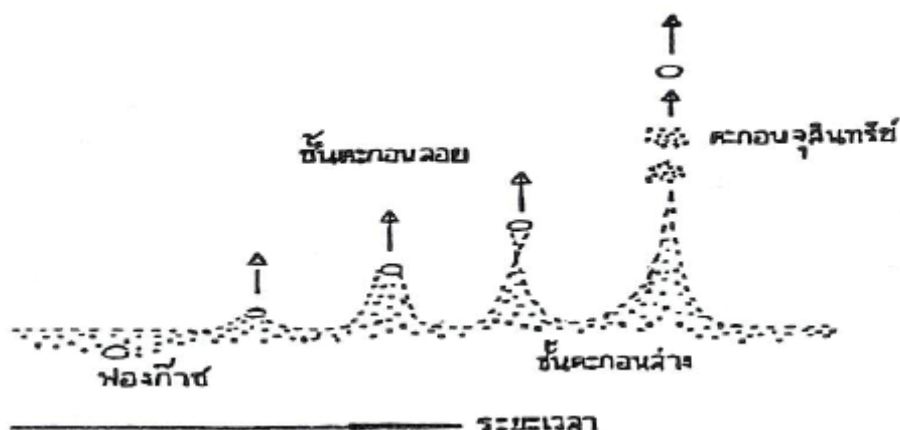
McLeod และคณะ (1990) ได้ศึกษาโครงสร้างของตะกอนเม็ด พบว่ามี 3 ชั้น ประกอบด้วย Methanothrix Aggregates Rod เป็นแกนกลาง และล้อมรอบด้วย Methanothrix ที่เป็นสายล้อมรอบเป็นตะกอนเม็ดจะจับตัวเป็นชั้นตามปฏิกิริยา โดยมีการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่ภายใน ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์แบบและรวดเร็ว มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในทางปฏิบัติน้ำเสียบางชนิดอาจเกิดเม็ดตะกอนได้เร็ว ขณะที่น้ำเสียบางกลุ่มอาจไม่เกิดเลย คงมีลักษณะฟล็อก (Floc) เท่านั้น แต่ก็ยังบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.3 โครงสร้างตะกอนเม็ด

### 2.2.3 กลไกการสร้างตะกอนเม็ดหรือเกล็ดตะกอนจุลินทรีย์

Hulshoff Pol และคณะ (1983) ได้ศึกษาการเกิดตะกอนเม็ดจุลินทรีย์ โดยสังเกตจากพฤติกรรมในการคงอยู่ หรือการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการลอยขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นในชั้นตะกอนล่าง

จากการทดลอง Hulshoff Pol และคณะ (1983) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการเกิดตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์ไว้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 (อัตราการสารอินทรีย์น้อยกว่า 2 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรก เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบีแล้ว ชั้นตะกอนล่าง (Sludge bed) จะเกิดการขยายตัว เนื่องจากน้ำเสียที่เราป้อนเข้าไป และการเริ่มเกิดก๊าซในระบบ รวมทั้งเกิดจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (filamentous organism) ในระบบซึ่งทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้น้อยลง

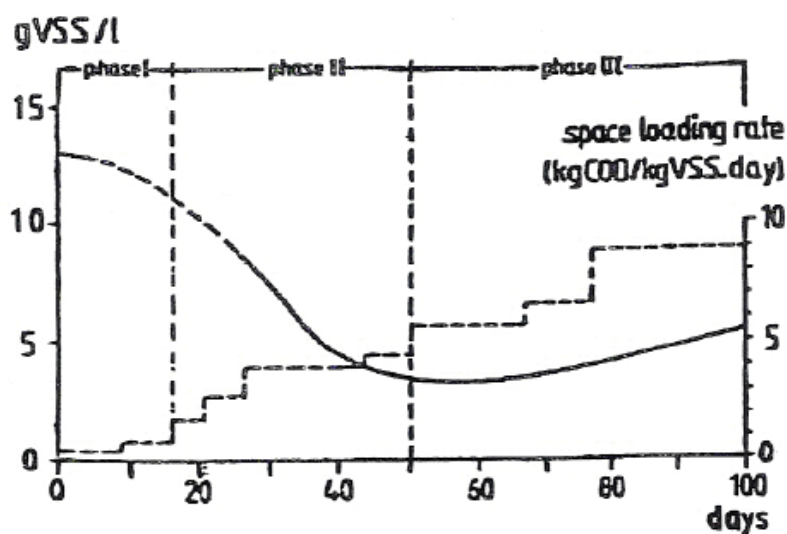
ขั้นตอนที่ 2 (อัตราการสารอินทรีย์ 2-5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)

ในขั้นตอนนี้จะมีอัตราการสูญเสียตะกอนแขวนลอยสูงมาก เนื่องจากการเพิ่มอัตราการสารอินทรีย์เป็นผลให้เกิดการผลิตก๊าซมากขึ้น ทำให้มีการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กๆ ออกนอกถัง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่และหนักจะสามารถคงอยู่ในถังได้ ซึ่งเป็นการคัดเลือกของระบบที่มีการสร้างจุลินทรีย์ และมีการรวมตัวกันของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้มีลักษณะเป็นตะกอนเม็ดจมอยู่ในส่วนล่างของถัง (sludge bed) ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น พบว่ามีขนาดถึง 5 มม.

ขั้นตอนที่ 3 (อัตราการสารอินทรีย์สูงกว่า 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่อัตราการเกิดตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์มีมากกว่าการหลุดออกนอกถังของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อหลังจากระบบได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว ระบบจะสามารถรับอัตราการสารอินทรีย์ได้มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระบบจะสามารถรับได้ ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมามีอัตราสูงสุดถึง 50 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ลักษณะการเกิดตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์ในขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอน แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งใช้เส้นกราฟความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (gVSS/l) ตามความสูงของถัง แสดงถึงขั้นตอนทั้ง 3 ดังกล่าว



รูปที่ 2.5 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และการะบรทุกสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดตะกอนเมื่อดจุลินทรีย์ในถัง UASB

#### 2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนชนิดหนึ่ง ซึ่งต้องอาศัยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย Acidogenic Bacteria, Acetogenic Bacteria และ Methanogenic Bacteria ซึ่งจะต้องทำงานอย่างต่อเนื่องและอยู่ในสภาพที่สมดุลกัน ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของระบบ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์ ได้แก่ อุณหภูมิ, พีเอช, โออาร์พี, กรดไขมันระเหย, สภาพความเป็นด่าง, อาหารเสริม, สารพิษ เป็นต้น ส่วนปัจจัยอีกประเภทหนึ่ง คือ ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ เช่น การะบรทุกสารอินทรีย์ การกระจายน้ำเสียเข้าอย่างทั่วถึง การรักษามวลจุลินทรีย์ในระบบ เป็นต้น

#### 2.2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนแต่ละชนิดจะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และกลไกการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระบวนการนั้นๆ สำหรับกระบวนการยูเอเอสบี น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะต้องปราศจากสารพิษ และต้องปรับสภาพของน้ำเสียให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ในระบบ เช่น ค่าพีเอช สภาพความเป็นกรด-ด่าง อาหารเสริม เป็นต้น ส่วนกลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ นอกจากจะรักษา

สภาพสมมูลของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน แล้วยังต้องรักษาจำนวนจุลินทรีย์ในระบบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ พารามิเตอร์ที่เป็นตัวควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาคือความสามารถในการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge Settleability) ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) และอัตราภาระบรรทุกปริมาณน้ำ (Hydraulic Loading Rate) ดังนั้นพารามิเตอร์หลักที่ใช้ควบคุมการทำงานของกระบวนการยูเอเอสบี คือ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์และอัตราภาระบรรทุกปริมาณน้ำ

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนของจุลินทรีย์และการเกิดก๊าซในถังปฏิกริยา น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องมีอัตราภาระต่ำกว่าอัตราสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ Lettinga และคณะ (1982) พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนล่างจะขยายตัวเสมอที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ ซึ่งเกิดจากก๊าซที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาส่วนใหญ่จะถูกค้ำอยู่ชั้นตะกอนล่าง โดยน้ำหนักและความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ แต่ชั้นตะกอนล่างจะหดตัวลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงเพิ่มขึ้น (การเกิดก๊าซจะเพิ่มขึ้นด้วย) ปรากฏว่าที่เกิดขึ้นเหล่านี้ยังไม่มีผลการทดลอง ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่าใดจึงจะทำให้ชั้นตะกอนล่างเกิดการขยายหรือหดตัวขึ้น การเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ทำให้ก๊าซเพิ่มขึ้น การสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นมาก ก๊าซที่ถูกค้ำอยู่ในชั้นตะกอนล่างเกิดน้อยลง ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนล่างเกิดเพิ่มขึ้น ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์บริเวณพื้นที่รอยต่อของชั้นตะกอนล่าง และชั้นตะกอนลอยมีขนาดเล็กลง เนื่องจากแรงที่เกิดจากการลอยขึ้นอย่างรวดเร็วของก๊าซ

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อการกักตะกอนจุลินทรีย์ คือ อัตราภาระบรรทุกปริมาณน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของการกวน (Agitation intensity) ในชั้นตะกอนล่าง จากการทดลองกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบีขนาดห้องปฏิบัติการและการกวนในถังปฏิกริยาให้เกิดขึ้นโดยก๊าซที่เกิดขึ้นเองในถังปฏิกริยาเพียงอย่างเดียว พบว่าน้ำเสียจะไหลผ่านช่องว่างที่เกิดขึ้นจากรอยแตกของตะกอนจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนล่าง ซึ่งเป็นการไหลลัดวงจร (Short circuit) ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการกระจายทางน้ำเข้า (Feed inlet distribution) ให้สม่ำเสมอตลอดพื้นที่ด้านล่างของถังปฏิกริยา สำหรับโรงบำบัดน้ำเสียจริง จุดน้ำเข้าหนึ่งจุดจะครอบคลุมพื้นที่ 5 ถึง 10 ตารางเมตร และถังปฏิกริยาต้นแบบขนาดใหญ่ (Large Pilot Plant) จุดน้ำเข้าหนึ่งจุดจะครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 1 ถึง 2 ตารางเมตร ถ้าระบบกระจายน้ำเข้าสามารถกระจายน้ำเสียได้ทั่วตลอดพื้นที่ก้นถัง จะทำให้ระบบรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง เช่น การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ถึง 30 กก. ซีโอดี/(ม.<sup>3</sup>-วัน) ถ้าหากการกวนในถังปฏิกริยาเกิดจากการใช้เครื่องกล (Mechanical Mixing) จะทำให้ขนาดของตะกอน

จุลินทรีย์เล็กลง และเมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกปริมาณน้ำ จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กเหล่านี้หลุดออกไปกับน้ำออก ซึ่งแก้ไขได้โดยติดตั้งถังเพื่อแยกก๊าซ ตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำใส (Gas-Solids-Liquid Separator)

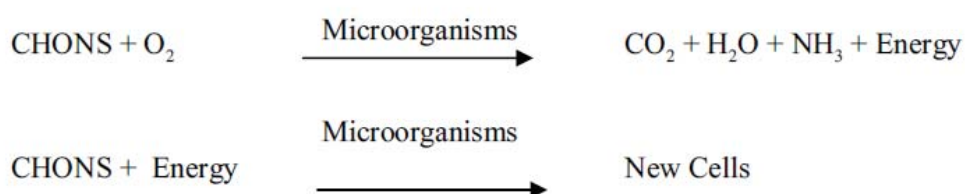
## 2.3 ระบบโปรยกรอง

### 2.3.1 หลักการเบื้องต้นของระบบโปรยกรอง

ระบบโปรยกรองเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีการนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศอังกฤษตั้งแต่ปี ค.ศ. 1893 ระบบโปรยกรองประกอบด้วยหอโปรยกรองและถังตกตะกอน ภายในหอโปรยกรองจะบรรจุตัวกลางเช่น ก้อนหิน พลาสติก จุลินทรีย์จะถูกเลี้ยงให้เกาะเป็นเมือกหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร รอบตัวกลาง เมือกที่เกิดขึ้นจะมีจุลินทรีย์ต่างๆ มากมายเช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว และรา

หลักการเบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบโปรยกรองเริ่มจาก น้ำเสียจะถูกโปรยลงบนผิวหน้าของถังปฏิกรณ์และจะไหลหยดผ่านตัวกลางลงสู่ก้นถัง ในขณะที่น้ำเสียไหลผ่านเมือกของจุลินทรีย์ของตัวกลาง จุลินทรีย์จะดูดซึมสารอินทรีย์ต่างๆ เข้าไป ในขณะที่เดียวกันก็ทำลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน เมื่อกจุลินทรีย์จะเติบโตหนาขึ้นจนในที่สุดจุลินทรีย์ชั้นในที่เกาะติดกับตัวกลางจะตายเนื่องจากขาดอาหาร จึงทำให้เมือกจุลินทรีย์หลุดจากตัวกลางปะปนไปกับน้ำเสีย น้ำเสียที่ระบายออกจากถังปฏิกรณ์จะผ่านไปเข้าถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอน เมื่อกจุลินทรีย์ออก ตะกอนที่แยกออกมาต้องนำไปกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปเช่น ระบบตะกอนเร่ง จะใช้จุลินทรีย์ในลักษณะตะกอนแขวนลอย แต่สำหรับระบบโปรยกรองจุลินทรีย์จะถูกเลี้ยงให้เกาะอยู่ที่ตัวกลาง การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยระบบโปรยกรองอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นพลังงานในการเจริญเติบโต และสร้างเซลล์ใหม่ ดังแสดงในสมการ



### 2.3.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการออกแบบระบบโปรยกรอง

#### 2.3.2.1 เมื่อกจุลินทรีย์

เมื่อกจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นฟิล์มคล้ายเมือกเกาะอยู่บนวัสดุตัวกลาง เรียกว่า “filter slime” สารอินทรีย์เคลื่อนที่ผ่านฟิล์มชีวภาพโดยการแพร่ (diffusion) ไปยังจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในเพื่อใช้เป็นอาหาร ผลปฏิกิริยาที่เป็นของเสียและผลผลิตอื่นๆ ของ

กระบวนการเมตาบอลิซึมจะถูกส่งออกไปจากฟิล์มชีวภาพผลผลิตเหล่านี้ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ สารโพลีเมอร์ต่างๆ และ เอนไซม์ เป็นต้น ออกซิเจนถูกขนส่งจากบรรยากาศภายนอกเข้าไปในน้ำและส่งต่อไปยังฟิล์มชีวภาพเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการหายใจ การบริโภค สับสเตรท และการเติบโตเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มชีวภาพ เพราะความเข้มข้นของ สับสเตรท และออกซิเจนซึ่งส่งเข้าไปในฟิล์มจะมีน้อย หลังจากฟิล์มก่อตัวได้หนาถึงระดับหนึ่ง ฟิล์มส่วนที่อยู่ด้านในจะขาดออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์ตายและหลุดออกมา ดังนั้นมวลของฟิล์มชีวภาพที่ active เพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีความสำคัญในการกำจัดสับสเตรท อัตราเร็วของการกำจัด สับสเตรทจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความหนาของฟิล์ม จนกระทั่งได้อัตราเร็วสูงสุด การเพิ่ม ความหนาของฟิล์มอีกจะไม่มีผลต่ออัตราเร็วของการกำจัดสับสเตรทอีกเลย จึงไม่มีเหตุผลที่จะทำ ให้ฟิล์มชีวภาพมีความหนาเกินความจำเป็น (มันสัน, 2542)

#### 2.3.2.2 ลักษณะองค์ประกอบของน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นคุณภาพ และชนิดของสารอินทรีย์จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำงานของระบบโปรยกรอง การเพิ่มหรือลด ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งมี ผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด เพราะฉะนั้นลักษณะและคุณภาพของน้ำเสียที่เข้าระบบจะมีผลต่อ คุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบ ถ้าคุณลักษณะของน้ำเสียที่เข้ามาในระบบมีค่าคงที่ตลอดเวลา การ ควบคุมระบบก็จะง่ายขึ้น

#### 2.3.2.3 อุณหภูมิ

เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบโปรยกรอง เพราะอุณหภูมิมีผลต่อการ ทำงานของจุลินทรีย์ และอัตราการกำจัดค่าบีโอดี การทำงานของระบบโปรยกรองขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยที่การลดลงของอุณหภูมิจะมีผลทำให้ลดอัตราการหายใจและอัตรา การแพร่ออกซิเจน แต่จะมีผลให้ค่าออกซิเจนอิ่มตัวเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าอุณหภูมามีผลต่อ การทำงานของจุลินทรีย์ในระบบนี้

#### 2.3.2.4 การหมุนเวียนน้ำเสีย

ในระบบโปรยกรองมักจะมีการหมุนเวียนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเข้าสู่ระบบ อีกครั้งเพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดเป็นการเพิ่มภาระชด ชาติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของมวลจุลินทรีย์บนตัวกลาง อันเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันและเป็นการทำให้ตัวกลางเปียกชื้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีประโยชน์ต่อพวกจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บน ผิวของตัวกลาง เป็นการลดระยะเวลาในการสัมผัสในถังตกตะกอนขั้นต้นในช่วงเวลาที่น้ำเสียมี ปริมาณน้อย ทำให้ไม่เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นการนำสารอินทรีย์ที่เหลือ ออกจากระบบโดยไม่ถูกย่อยสลายกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง เป็นการควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลง ต่างๆ และเป็นการเพิ่มการกระจายน้ำในระบบโปรยกรองให้มากขึ้น

### 2.3.2.5 ชนิด ขนาด ความสูงของตัวกลางและระยะเวลาในการสัมผัส

Sarner (1980) ได้เสนอว่าตัวกลางที่ดีควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก ราคาถูก อายุการใช้งานนาน และไม่เกิดการอุดตันง่าย วัสดุที่นิยมใช้มากคือหิน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25-75 มิลลิเมตร วัสดุอื่นๆ ได้แก่ โลหะ ถ่าน และถ่านหิน หินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร จะมีช่องว่างน้อยทำให้เกิดการอุดตันง่าย ถ้าใช้หินที่มีขนาดใหญ่จะแก้ปัญหการอุดตันได้ แต่พื้นที่ผิวจะน้อย ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกวัสดุที่มีขนาดใหญ่เกินไป เพราะจะทำให้มีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เกาะได้น้อย

### 2.3.2.6 การระบายอากาศ

การถ่ายเทอากาศ (ventilation) ที่เพียงพอมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการโปรยกรองเป็นอย่างมาก หากระบบระบายน้ำก้นถังมีขนาดใหญ่พอ จะทำให้มีอากาศไหลผ่านตัวกลางมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศและน้ำเสีย การใช้เครื่องเป่าอากาศช่วยอาจมีความจำเป็นในบางกรณี เช่น ชั้นของตัวกลางมีความสูงมาก ระบบโปรยกรองก่อสร้างต่ำกว่าระดับดิน ระบบโปรยกรองรับสารอินทรีย์ในอัตราสูง และระบบโปรยกรองมีหลังคาคลุม เพื่อควบคุมอุณหภูมิหรือกลิ่นเหม็นเป็นต้น

### 2.3.2.7 ผลของอาหารเสริม

ในการกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ออกซิเจนโดยทั่วไปจุลินทรีย์จะต้องได้รับสารอาหารเสริมอย่างเพียงพอ จึงจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.4 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ณรงค์ ธิติธัญญานนท์ (2529) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีกากถั่วเหลือง และการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลือง โดยกระบวนการยูเอเอสพีถึงปฏิกริยามีปริมาตรรวม 250 ลิตร น้ำเสียมีความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ยประมาณ 13,784 , 28,898 และ 43,734 มก./ล. คิดเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.76 , 5.83 และ 8.74 กก. ซีโอดี/(ม3.วัน) สามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดได้ร้อยละ 58.4 – 95.0 มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 275.8 – 561.0 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 46.7 61.8

วิชัย ชำนาญณรงค์ศักดิ์ (2540) ได้ศึกษาการทำงานของระบบโปรยกรอง โดยทดลองกับน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจากน้ำนมและน้ำประปาให้มีค่า COD และ BOD เฉลี่ยเท่ากับ 620 และ 330 มก./ล. ตามลำดับ ตัวกลางที่ใช้ในระบบเป็นตัวกลางพลาสติกชนิดรังผึ้ง cross flow สูง 2.9 เมตร ทำจาก PVC มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 243 และ 102 ตร.ม./ลบ.ม. และควบคุมค่าภาระชลศาสตร์ (HLR) ระหว่าง 3.39-16.60 ลบ.ม./ตร.ม.วัน คิดเป็นภาระสารอินทรีย์ระหว่าง 0.82-2.73 กก.-COD/ลบ.ม.วัน ทดลองทั้งในสภาวะไม่มีน้ำหมุนเวียนและมีน้ำหมุนเวียน โดยผล

การทดลองบ่งชี้ว่า ในกรณีไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจะลดลงเมื่อเพิ่ม HLR และภาระสารอินทรีย์ จากการทดลองพบว่าที่ค่าภาระสารอินทรีย์ 0.82 กก.-COD/ลบ.ม.วัน และ HLR 3.39 ลบ.ม./ตร.ม.วัน ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดที่ร้อยละ 84.9 และ 78.9 เมื่อใช้กับตัวกลางพื้นที่ผิวจำเพาะ 243 และ 102 ตร.ม./ลบ.ม. ตามลำดับ และสำหรับกรณีมีการหมุนเวียนน้ำทั้ง ที่ค่า HLR เท่ากับ 16.60 ลบ.ม./ตร.ม.วัน จะให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดที่ร้อยละ 89.5 และ 87.5 เมื่อใช้กับตัวกลางพื้นที่ผิวจำเพาะ 243 และ 102 ตร.ม./ลบ.ม. ตามลำดับ

พงศกร เทียนสว่าง (2544) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการตกตะกอนมาแล้ว ซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 1,200 มก./ล. โดยใช้แบบจำลองถังปฏิกรณ์แบบ Upflow Anaerobic Hybrid Filter (UAHF) จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดใส่ตัวกลางลงไปร้อยละ 34 ของปริมาตรทั้งหมดที่ด้านบนของถัง อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลอง 24°C จากการวิเคราะห์ผล ณ สภาวะคงตัว ที่เวลาพักเก็บน้ำ 6.4-25.7 ชม. หรือที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.08-4.74 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 79-93 และ 91-97 เมื่อเทียบกับซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายน้ำตามลำดับ และจากการทำสมดุลซีโอดีภายในระบบ พบว่าประมาณร้อยละ 79 ของซีโอดีที่กำจัด ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปมีเทน ที่เหลือจะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลชีพหรือสะสมในระบบ และพบการหลุดลอยของเม็ดตะกอนจุลชีพตั้งแต่ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงกว่า 2.00 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) และยังพบว่าที่ภาระสารอินทรีย์ระหว่าง 1.08-2.00 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) การกำจัดซีโอดีจะเกิดขึ้นที่ชั้นตะกอนล่างเท่านั้นถึงร้อยละ 96 และหากภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงกว่า 2.00 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) บริเวณชั้นตัวกลางสามารถกำจัดซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 26 และพบว่าระบบล้มเหลวที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4.74 ก.ซีโอดี/(ล.ว.) เนื่องจากสูญเสียเม็ดตะกอนจุลชีพบริเวณชั้นตะกอนล่างทั้งหมด

ปิยะพันธ์ นุชทาโพ (2546) ศึกษาผลของการป้อนน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถนะของระบบยูเอเอสบีโดยการใส่ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีขนาดปริมาตร 5 ลิตรจำนวนสามถังถึงถังปฏิกรณ์หนึ่งและสองป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 3 ชั่วโมงต่อวันและ 12 ชั่วโมงต่อวันตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์สามป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 24 ชั่วโมงต่อวัน ถึงถังปฏิกรณ์ทั้งสามถังถูกป้อนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบหลักโดยรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่าง 3.47 – 15.77 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ดำเนินการทดลองภายใต้อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์หนึ่ง สองและสามมีค่าร้อยละ 76-97, 84-98 และ 86-98 ตามลำดับที่อัตราภาระบรรทุกในช่วงดังกล่าว ส่วนประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าร้อยละ 48-72, 50-74 และ 57-83 ในถังปฏิกรณ์หนึ่ง สองและสามตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าถังปฏิกรณ์สองและสามมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกันและมีประสิทธิภาพดีกว่าถังปฏิกรณ์หนึ่งที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15.77 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อย่างชัดเจน

Show และคณะ (2004) ได้ศึกษาการสร้างตะกอนเม็ดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นซีโอดี 5,000 มก./ล. โดยเติมโพลิเมอร์ประจุบวกช่วยในการสร้างตะกอนเม็ด โดยใช้เป็นตัวปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ ทำการทดสอบโดยใช้ถังปฏิกรณ์ 6 ถัง ถังแรกไม่เติมโพลิเมอร์ ถังใบที่ 2-6 ทำการเติมโพลิเมอร์ 20, 40, 80 และ 160 มก./ล. ตามลำดับ โดยทำการเติมโพลิเมอร์ครั้งเดียวพร้อมกับการใส่ตะกอนหัวเชื้อลงไปในถังปฏิกรณ์ พบว่าการเติมโพลิเมอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างตะกอนเม็ดและการเติมโพลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 80 มก./ล. จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบมากที่สุด ทั้งการตกตะกอน ความแข็งแรงของตะกอนเม็ด และการสร้างก๊าซมีเทน

ศศิธร จินตนาสุนทรศิริ (2549) ได้ใช้เส้นใยเห็ดนางรม *Pleurotus ostreatus* ที่ถูกตรึงด้วยตัวกลางพลาสติกมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม Pagoda Red No.9 ในระบบโปรยกรอง โดยการทำซ้ำ 12 รอบ รอบละ 24 ชั่วโมง พบว่าใน 8 รอบแรกมีประสิทธิภาพของการบำบัดสีย้อมสูง จากนั้นมีแนวโน้มลดลงจนถึงรอบที่ 12 ในขณะที่ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงตลอดทั้ง 12 รอบ โดยบำบัดได้มากกว่าร้อยละ 90 ทำการทดสอบการบำบัดที่อัตราการไหล 35, 50 และ 65 ลิตรต่อวัน พบว่าที่ 35 ลิตรต่อวันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมและลดค่าซีโอดีได้ดีที่สุด คือร้อยละ 61.91 และ 23.16 ตามลำดับ จากนั้นแปรค่าความสูงชั้นตัวกลางที่ 50, 60 และ 70 เซนติเมตร พบว่าความสูงที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมคือ 60 เซนติเมตร สามารถบำบัดสีย้อมและลดค่าซีโอดีลงได้ร้อยละ 59.88 และ 21.98 ตามลำดับ และเมื่อนำเชื่อดังกล่าวไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในขั้นตอนของการฟอกย้อมในระบบโปรยกรอง โดยการตรึงเส้นใยเห็ดนางรมด้วยตัวกลางพลาสติก พบว่าในช่วงของการ start-up ระบบโปรยกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมและซีโอดี  $18.76 \pm 0.00$  และ  $66.67 \pm 1.56$  เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อทำการบำบัดจริงด้วยระบบการบำบัดแบบไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ ระบบโปรยกรองสามารถบำบัดสีย้อมและซีโอดีได้  $12.36 \pm 5.67$  และ  $15.79 \pm 1.97$  เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถือได้ว่าประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองในการบำบัดน้ำเสียจริงจากขั้นตอนการฟอกย้อมของอุตสาหกรรมสิ่งทอค่อนข้างต่ำ เนื่องจากคุณลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ดังนั้นจึงอาจใช้วิธีการบำบัดอื่นๆ ร่วม

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงาน

#### 3.1 การเก็บและรวบรวมข้อมูล

เก็บตัวอย่างข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพระบบบำบัดน้ำเสียเดิม สำรวจพื้นที่โรงงาน การระบายน้ำเสียลงบ่อบำบัด กระบวนการเริ่มต้นจนถึงบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.1.1 ที่มาและปริมาณของน้ำเสีย

การทำงานของโรงงานจะเริ่มที่เวลา 7.00 น.-8.00 น. โดยเริ่มจากกระบวนการล้างเนื้อ ที่ใช้ให้สะอาด จากนั้นจะนำเนื้อที่ได้ไปผสมกับเครื่องปรุงและเข้าเครื่องบดผสม จากนั้นเนื้อที่ผ่านการบดผสมแล้วจะนำไปเข้าเครื่องปั่นเพื่อทำเป็นลูกชิ้นลงสู่บ่อลวก น้ำที่ใช้ในบ่อลวกจะมีอุณหภูมิ 60-70°C ลูกชิ้นจะถูกลวกในน้ำร้อนดังกล่าวเป็นเวลาประมาณ 5 นาทีและนำไปล้างก่อนที่จะนำไปลงสู่บ่อต้มลูกชิ้น น้ำในบ่อต้มลูกชิ้นจะมีอุณหภูมิ 80-90°C และจะดำเนินการต้มไปเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นลูกชิ้นที่ได้จะนำไปพักในถังน้ำเพื่อให้ความร้อนในลูกชิ้นคลายตัวลง และลูกชิ้นจะถูกล้างเป็นครั้งสุดท้ายก่อนจะนำไปผึ่งแห้ง หลังจากผลิตลูกชิ้นเสร็จในแต่ละวัน คนงานจะทำการล้างภาชนะและพื้นของโรงงานให้สะอาดก่อนกลับ โดยน้ำในกระบวนการต่างๆ จะไหลรวมกันไปตามรางระบายน้ำสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งจากกระบวนการทำงานทั้งหมดจะเห็นได้ว่า น้ำเสียจากกระบวนการผลิตลูกชิ้นสามารถแยกได้ 2 ส่วนหลักๆ ตามกระบวนการผลิตดังนี้

1. น้ำเสียจากกระบวนการล้าง อันประกอบด้วย น้ำที่ใช้ในการล้างอุปกรณ์และพื้นโรงงาน น้ำจากการล้างวัตถุดิบ และน้ำที่ใช้ล้างลูกชิ้นในกระบวนการต่างๆ โดยน้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้จะแปรผันไปตามปริมาณการผลิตลูกชิ้น สำหรับโรงงานลูกชิ้นป่าศรีจะมีปริมาณน้ำในขั้นตอนนี้ 1.10-4.00 ลบ.ม. (ช่วงการผลิตน้อยถึงช่วงการผลิตสูงสุด)

2. น้ำเสียจากกระบวนการต้ม ประกอบด้วย น้ำที่ใช้ในการลวกลูกชิ้นจากเครื่องปั่น น้ำจากการต้มลูกชิ้นหลังจากปั่นเสร็จและน้ำที่ใช้ในการพักลูกชิ้นหลังจากต้ม น้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้มักจะมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง โดยจะมีปริมาณคงที่ตามขนาดของภาชนะบรรจุ น้ำลวกและน้ำต้ม สำหรับโรงงานลูกชิ้นป่าศรีจะมีปริมาณน้ำในขั้นตอนนี้ 0.92-1.00 ลบ.ม.

##### 3.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จะเลือกเก็บตัวอย่างน้ำเสียในช่วงการผลิตปานกลางจนถึงการผลิตสูงสุดเพื่อนำมาประเมินคุณสมบัติน้ำเสียและใช้ในการออกแบบระบบต่อไป และเนื่องจาก

ลักษณะของการผลิตลูกชิ้นทำให้สามารถจำแนกน้ำเสียที่ควรเก็บได้ 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 คือ

1. น้ำเสีรวม คือ น้ำเสีรวมของโรงงานลูกชิ้นที่ไม่ผ่านถึงตกตะกอนขั้นต้น
2. น้ำเสียเข้มข้นและน้ำเสียเจือจาง คือ น้ำเสียที่แยกชั้นหลังผ่านถึงตกตะกอนในระบบบำบัดขั้นต้น)
3. น้ำเสียจากกระบวนการล้างและกระบวนการต้ม

โดยน้ำเสียในแบบที่ 1 และ 2 จะใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม จากบริเวณจุดปล่อยน้ำเสีรวมหลังโรงงาน ดังรูปที่ 3.3 และน้ำเสียแบบที่ 3 จะใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบจ้วงจากน้ำต้มลูกชิ้น ดังรูปที่ 3.4 และวิธีเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมสำหรับน้ำเสียกระบวนการล้าง



ก) น้ำเสีรวม



ข) น้ำเสียเข้มข้นและน้ำเสียเจือจาง

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของน้ำเสีรวม น้ำเสียเข้มข้น และน้ำเสียเจือจาง



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของน้ำเสีล้าง(ซ้าย) และน้ำเสีต้มลูกชิ้น(ขวา)



รูปที่ 3.3 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบผสมรวม



รูปที่ 3.4 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำต้มลูกชิ้น

### 3.1.3 คุณสมบัติของน้ำเสีย

สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำเสีย แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 โดยจะเห็นได้ว่าค่า pH ของระบบมีค่าไม่ต่างกัน จะอยู่ที่ประมาณ 5.5-6.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการออกแบบระบบบำบัดต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลางโดยปริมาณสารที่ใช้ในการปรับสภาพจะใกล้เคียงกันในน้ำเสียแต่ละชนิด สำหรับ  $BOD_5$  ของน้ำเสียเข้มข้นจะมีค่ามากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในช่วงการผลิตปานกลางของน้ำเสียรวมและช่วงการผลิตมากของน้ำเสียต้มและล้าง พบว่าค่าน้ำเสียรวมในช่วงการผลิตปานกลางจะมีค่ามากกว่าแต่ค่า COD กลับไม่แตกต่างกันมาก แสดงว่าปัจจัยการผลิตมากหรือปานกลางไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนสารอินทรีย์ในน้ำเสีย สำหรับ TKN และ TP ในน้ำเสียมีปริมาณมากเพียงพอ ส่งผลให้การบำบัดไม่ต้องเติมสารดังกล่าวลงไปเพิ่ม ผลการตรวจสำหรับไขมันและน้ำมันนั้นพบว่ามีความอยู่น้อย ซึ่งเมื่อลองให้ตกตะกอนแยกชั้น จะไม่เห็นน้ำมันลอยเกาะอยู่ผิวหน้าของน้ำ แสดงว่าระบบที่จะเกิดขึ้นอาจไม่จำเป็นต้องมีการดักไขมันก็ได้

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบน้ำเสีย

| พารามิเตอร์<br>น้ำเสีย        | น้ำเสียจากการผลิตลูกชิ้น<br>อัตราการผลิตปานกลาง |                                 |                             | น้ำเสียจากการผลิตลูกชิ้น<br>อัตราการผลิตมาก |                      | หน่วย          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------|----------------|
|                               | น้ำเสียรวม <sup>A</sup>                         | น้ำเสีย<br>เข้มข้น <sup>B</sup> | น้ำเสียเจือจาง <sup>C</sup> | น้ำต้ม <sup>D</sup>                         | น้ำล้าง <sup>E</sup> |                |
| pH                            | 5.57                                            | 5.80                            | 6.13                        | 6.03                                        | 5.75                 |                |
| BOD <sub>1</sub> <sup>F</sup> | -                                               | 1,342                           | 56                          | 390                                         | 910                  | mg/l           |
| BOD <sub>2</sub> <sup>G</sup> | -                                               | 2,410                           | 89                          | 975                                         | 1,165                | mg/l           |
| BOD <sub>5</sub>              | 2,340                                           | 3,550                           | 133                         | 1,620                                       | 2,010                | mg/l           |
| COD                           | 2,869                                           | 5,968                           | 309                         | 2,800                                       | 2,895                | mg/l           |
| TDS                           | 4,405                                           | 6,552                           | 434                         | 3,540                                       | 3,672                | mg/l           |
| TN                            | -                                               | 373                             | 29                          | 189                                         | 146                  | mg/l           |
| TKN                           | 214                                             | 373                             | 29                          | 189                                         | 146                  | mg/l           |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | -                                               | <0.05                           | <0.05                       | <0.05                                       | <0.05                | mg/l           |
| TSS                           | 72                                              | 1,240                           | 195                         | 1,314                                       | 585                  | mg/l           |
| สารแขวนลอย<br>ระเหยง่าย       | -                                               | -                               | -                           | 845                                         | 555                  | mg/l           |
| E.coli                        | -                                               | <1.8                            | <1.8                        | 330                                         | 79,000               | MPN/100<br>ml. |
| Grease and Oil                | -                                               | -                               | -                           | 18                                          | 209                  | mg/l           |
| TP                            | 208                                             | 1.2                             | 3.8                         | 62                                          | 114                  | mg/l           |
| Chlorine                      | -                                               | 0.6                             | 1.0                         | -                                           | -                    | mg/l           |
| Chloride                      | -                                               | 1,487 <sup>I</sup>              | 43 <sup>I</sup>             | 529                                         | 673                  | mg/l           |
| Turbidity                     | -                                               | -                               | -                           | 27                                          | 19                   | NTU            |
| Color                         | ขาวขุ่น                                         | ขาวขุ่น                         | ขาวขุ่น                     | ขาวขุ่น                                     | ขาวขุ่น              |                |

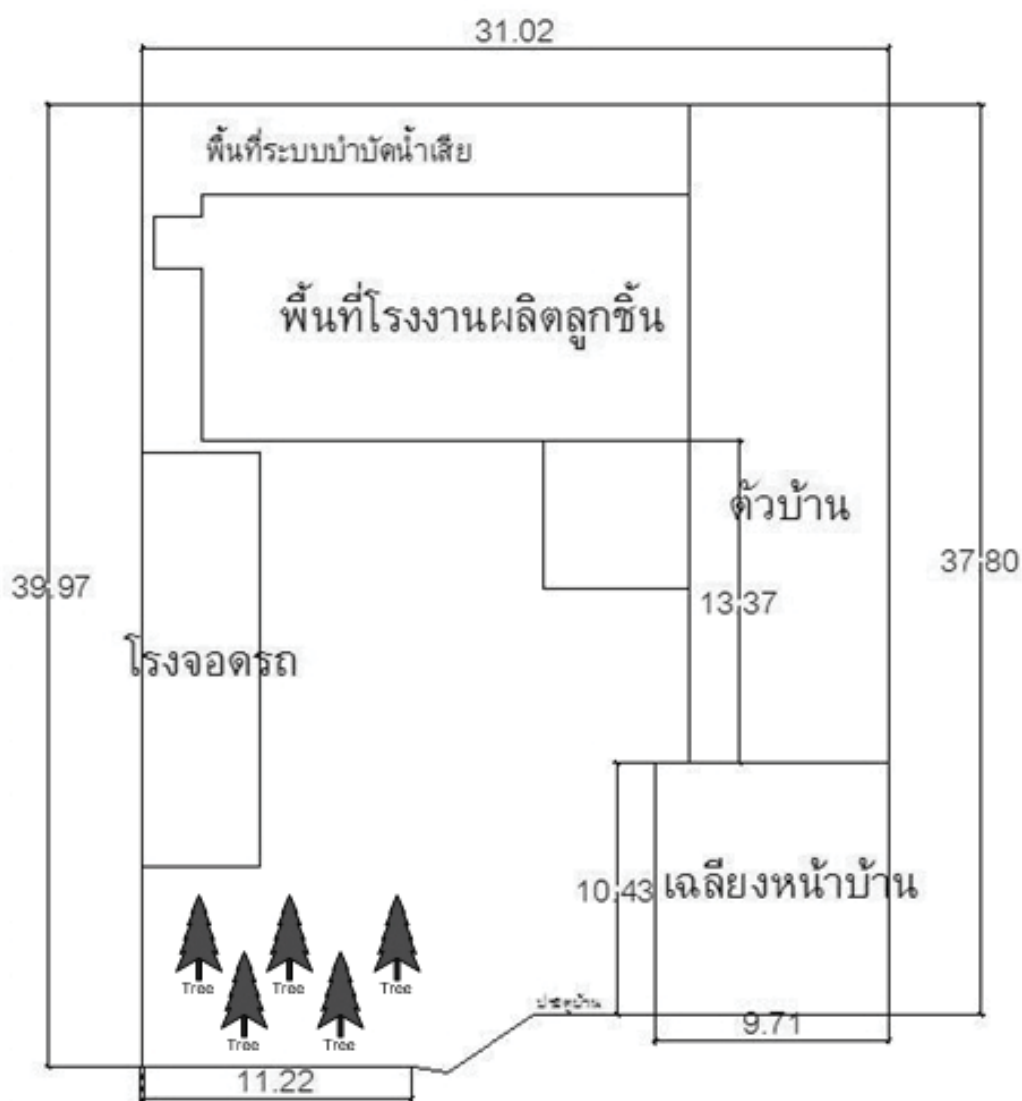
## หมายเหตุ

- <sup>A</sup> ปริมาณน้ำเสียรวม 2.8 ลบ.ม./วัน จากการผลิตลูกชิ้น 374 kg.
- <sup>B</sup> ปริมาณน้ำเสียรวม 2.4 ลบ.ม./วัน จากการผลิตลูกชิ้น 315 kg.
- <sup>C</sup> ปริมาณน้ำเสียรวม 2.4 ลบ.ม./วัน จากการผลิตลูกชิ้น 315 kg.
- <sup>D</sup> ปริมาณน้ำเสียรวม 4.9 ลบ.ม./วัน จากการผลิตลูกชิ้น 658 kg.
- <sup>E</sup> ปริมาณน้ำเสียรวม 4.9 ลบ.ม./วัน จากการผลิตลูกชิ้น 658 kg.

<sup>F</sup> BOD<sub>1</sub> = 1 day BOD<sup>G</sup> BOD<sub>2</sub> = 2 day BOD

### 3.1.4 การสำรวจและจัดทำแผนที่โรงงาน

เก็บข้อมูลพื้นที่และหาขนาดของพื้นที่ที่สามารถจัดทำระบบบำบัดน้ำเสียได้ ทำการจัดสร้างแผนที่ของโรงงานโดยสังเขป แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงถึงน้ำเสียในกระบวนการบำบัดต่างๆ ในสภาพปัจจุบัน



รูปที่ 3.5 แผนที่สังเขปบ้านและโรงงาน



ก) ตะกอนหนักของน้ำเสียโรงงาน



ข) ตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรง



ค) น้ำเสียในระบบบำบัดปัจจุบันขั้นต้น

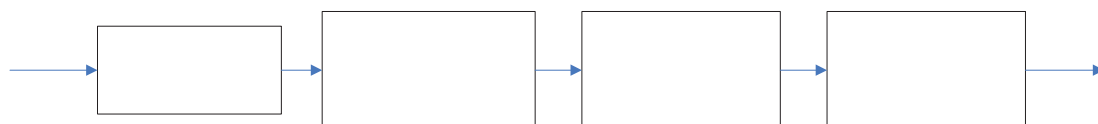


ง) น้ำเสียในระบบบำบัดปัจจุบันขั้นสุดท้าย

รูปที่ 3.6 น้ำเสียในกระบวนการบำบัดต่างๆ ในสภาพปัจจุบัน

### 3.2 การประเมินศักยภาพของระบบบำบัดเดิม

ระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของโครงการประกอบด้วยถังบำบัดแบบไร้อากาศแบบรวมถึงเกราะและกรองเข้าด้วยกัน ขนาด 1.6 ลบ.ม. จำนวน 1 ถัง น้ำที่ออกจากถังบำบัดจะถูกนำไปพักในบ่อทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. สูง 1.5 เมตร จำนวน 2 บ่อ จากนั้นจะถูกปล่อยทิ้งออกสู่ลำน้ำ โดยแผนผังการทำงานของระบบบำบัดเดิมแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเดิมในโรงงานลูกชิ้นป่าศรี

จากกระบวนการบำบัดจะเห็นว่า ปริมาณน้ำเสียของโรงงานลูกชิ้นในช่วงการผลิตปานกลาง (200-400 กก./วัน) มีค่าประมาณ 2.4-3.0 ลบ.ม./วัน ซึ่งเมื่อไหลเข้าสู่ถังบำบัดน้ำเสียรวมแบบไร้อากาศจะไม่สามารถกักไว้ได้เพียงพอ โดยค่ากำหนดของการกักเก็บในการควบคุมการบำบัดแบบไร้อากาศของถังบำบัดดังกล่าวควรอยู่ที่ 0.5-4 วันต่ออัตราภาระสารอินทรีย์ 4-16 กก.COD/ลบ.ม./วัน (Hall E.R., 1992) แต่อัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วงการผลิตปานกลางของโรงงานลูกชิ้นมีค่าประมาณ 6.9-8.6 กก.COD/ลบ.ม./วัน ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการกักเก็บประมาณ 2 วันขึ้นไป ส่งผลให้ถังบำบัดดังกล่าวต้องมีขนาดอย่างต่ำ 6 ลบ.ม. นอกจากนี้การบำบัดแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการได้สมบูรณ์ โดยมีค่าประสิทธิภาพการบำบัดส่วนใหญ่อยู่ที่ 70%-90% (METCALF&EDDY, 1991) ทำให้น้ำที่ผ่านระบบจะต้องนำไปบำบัดเพิ่มเติมอีกที่

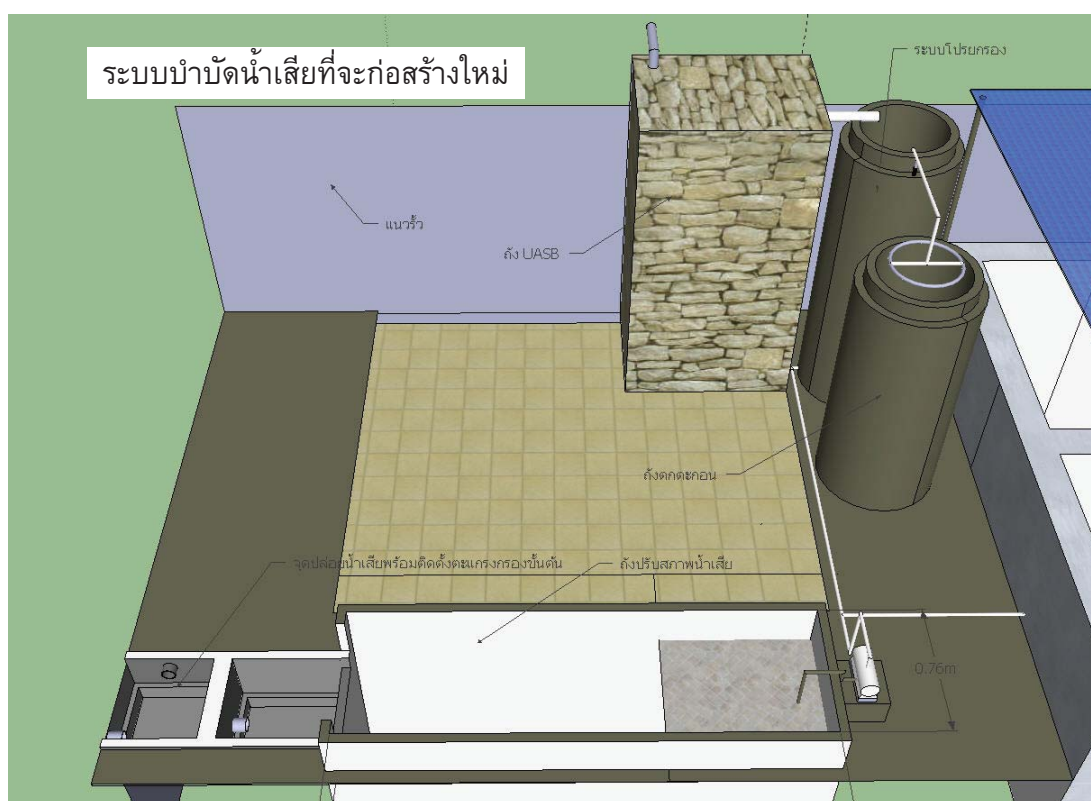
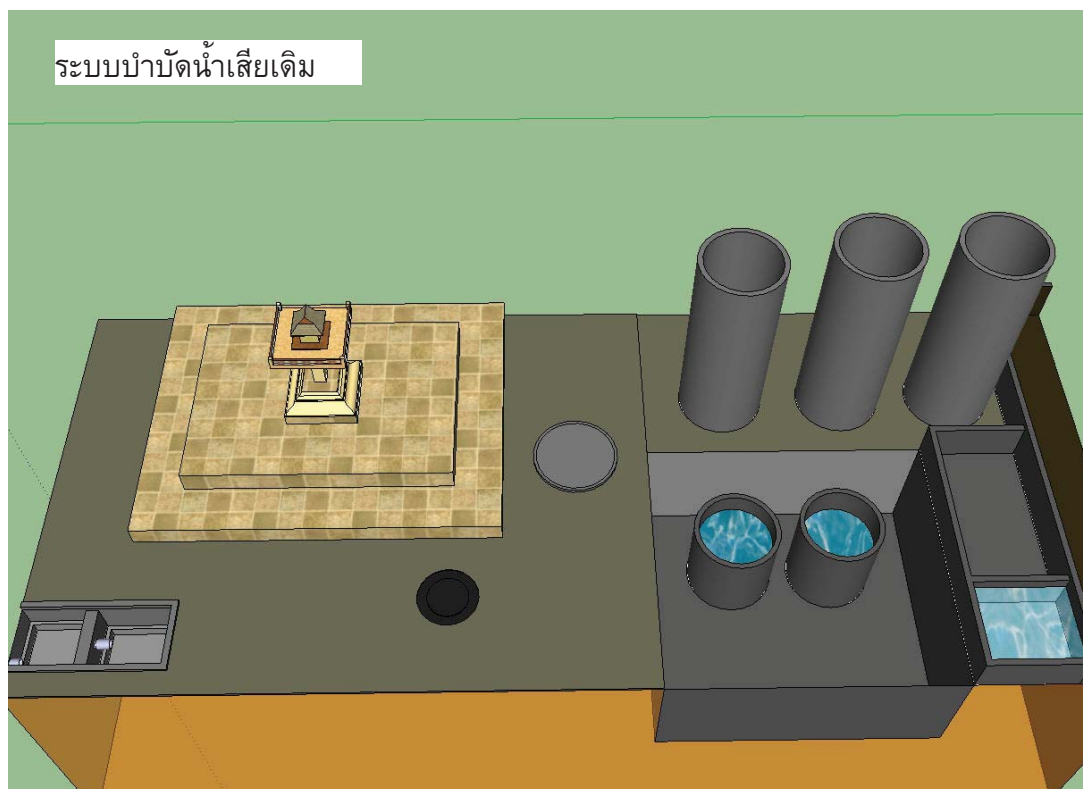
### 3.3 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

ทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีโดยใช้คุณสมบัติของน้ำเสียรวม เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสีย 4 ลบ.ม. และทำการออกแบบระบบโปรยกรองเพื่อรองรับน้ำทิ้งจากระบบยูเอเอสบีดังกล่าว โดยรายละเอียดการออกแบบอยู่ในภาคผนวก ข และรายละเอียดตำแหน่งของการติดตั้งระบบแสดงได้ในรูปที่ 3.8 โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ควบคุมและเครื่องมือที่ใช้แสดงได้ในภาคผนวก ก

### 3.4 ขั้นตอนการก่อสร้างและจัดทำระบบ

3.4.1 รื้อถอนระบบบำบัดน้ำเสียเดิม พร้อมก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียใหม่ โดยทำการปรับปรุงจากพื้นที่เดิมที่มีอยู่ เน้นใช้ของเดิมเป็นหลักเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แสดงดังรูปที่ 3.9-3.10 นอกจากนี้ในการรื้อถอนได้จัดทำทะเบียนน้ำเสียชั่วคราวให้ผู้ประกอบการใช้งานแทนก่อน แสดงดังรูปที่ 3.11

3.4.2 หลังจากทำการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียใหม่แล้ว ดังรูปที่ 3.12 จะเริ่มทำการหาความเหมาะสมของการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย โดยรูปที่ 3.13 แสดงถึงการเดินระบบบำบัดในโรงงาน



รูปที่ 3.8 การวางตำแหน่งของระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบขึ้นมาใหม่



รูปที่ 3.9 รื้อถอนระบบเก่า



รูปที่ 3.10 ก่อสร้างระบบใหม่



รูปที่ 3.11 ท่อระบายน้ำเสียชั่วคราว

ตัวกลางไบโอบอล



รูปที่ 3.12 ระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อก่อสร้างและปรับสภาพบ่อแล้วเสร็จ



รูปที่ 3.13 การเดินระบบบำบัดในโรงงาน

### 3.5 การทดสอบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี

3.5.1 การทดสอบน้ำเสียทำตามแผนผังการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 โดยก่อนทำการทดสอบจะเริ่มต้นน้ำตะกอนจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ มงคลฟาร์ม อ.พาน จ. เชียงราย ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.15 มาทำการปรับให้คุ้นเคยกับน้ำเสียของโรงงานก่อนโดยทำการนำตะกอนเริ่มต้นความเข้มข้นของตะกอน 10,200 มก./ล. เติมลงในถัง UASB จำนวน 1 ลบ.ม. และทำการเติมน้ำเจือจางจนได้ความเข้มข้นประมาณ 5,000 มก./ล. ทำการไหลเวียนน้ำในระบบถึงประมาณ 1 สัปดาห์ จากนั้นเริ่มทำการป้อนน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่ำๆ ก่อนเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจนได้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยประมาณ 10,000 มก./ล. ในขั้นตอนนี้ ทำการปล่อยน้ำเข้าด้วยความเร็ว 0.5 เมตรต่อชั่วโมง

3.5.2 เริ่มต้นทำการทดสอบบำบัดเต็มประสิทธิภาพที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม.ต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง ด้วยการปล่อยน้ำเข้าด้วยความเร็ว 1.10 เมตรต่อชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากถังบำบัด UASB เพื่อตรวจหาคุณสมบัติของ COD, TSS, pH และอุณหภูมิ โดยทำการเก็บตัวอย่างหลังจากดำเนินงานระบบ 30 วันและ 45 วัน

3.5.3 ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับข้อ 3.5.2 โดยการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักในระบบเป็น 24 ชั่วโมงแทน

3.5.4 ทำการทดสอบที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1-3.5.3

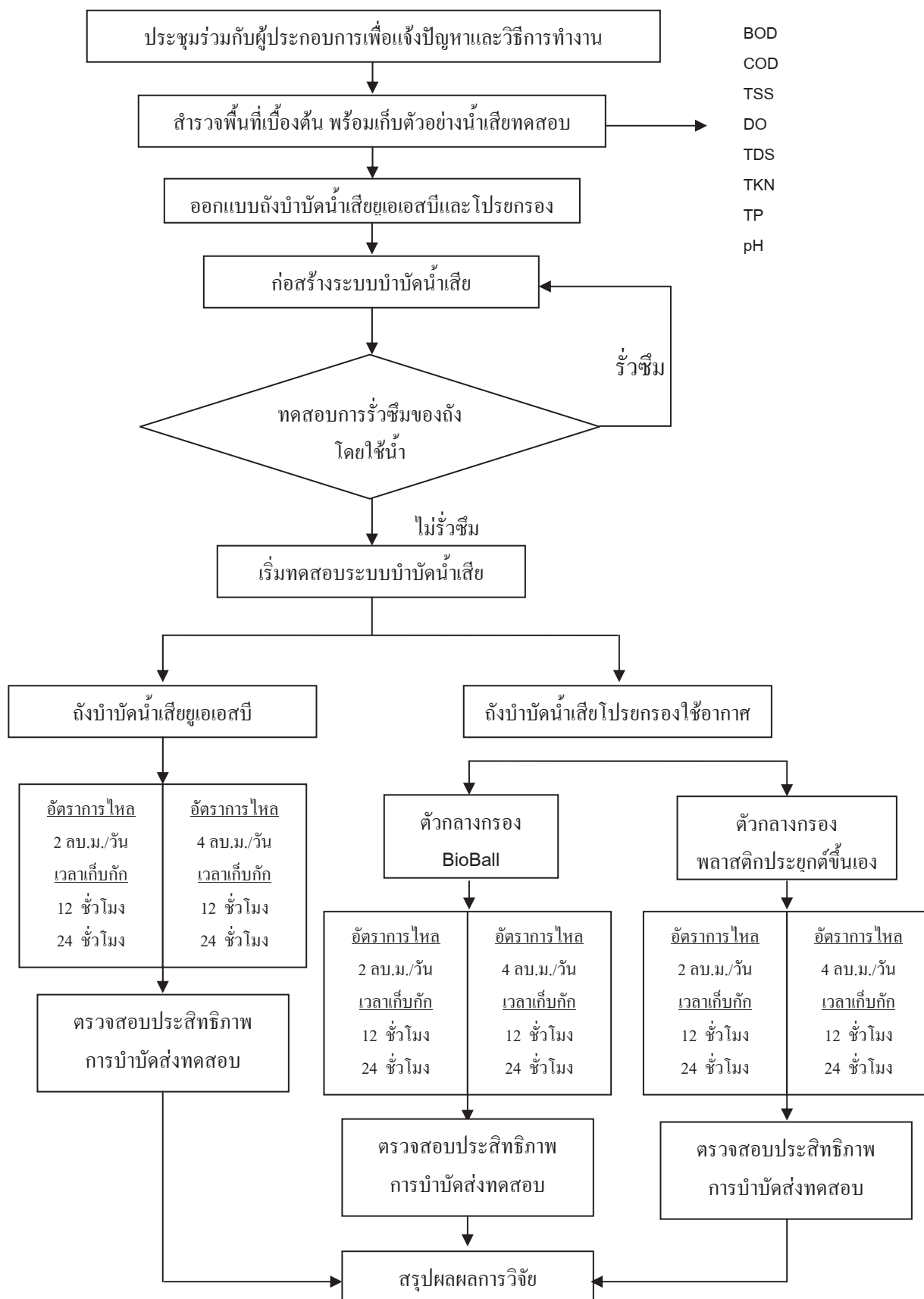
### 3.6 การทดสอบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบีพร้อมกับระบบโปรยกรอง

3.6.1 การทดสอบระบบยูเอเอสบีพร้อมกับระบบโปรยกรองจะดำเนินการไปพร้อมกับการทดสอบระบบยูเอเอสบีอย่างเดียว โดยปล่อยให้น้ำเสียจากระบบยูเอเอสบีลงสู่ระบบโปรยกรอง โดยในขั้นตอนแรกเลือกใช้ตัวกลาง bioball ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.16 ทำการใส่ตัวกลางในระบบหนา 1 เมตร และปล่อยให้น้ำจากระบบยูเอเอสบีระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง ไหลผ่านลงสู่ตัวกลางระบบโปรยกรองที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน ดำเนินการดังกล่าวเป็นเวลาประมาณ 30 วัน จึงตรวจสภาพของจุลินทรีย์ที่เกาะติดบนผิว bioball และค่า COD ของน้ำทิ้งในถังตกตะกอนจากระบบโปรยกรอง

3.6.2 ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับข้อ 3.6.1 โดยการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักในระบบเป็น 24 ชั่วโมงแทน และทำการปล่อยน้ำเข้าระบบหลังจากทดสอบในข้อ 3.6.1 เป็นเวลา 15 วัน ก่อนที่จะเก็บตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติน้ำทิ้ง

3.6.3 เปลี่ยนอัตราการไหลเข้าเป็น 4 ลบ.ม.ต่อวัน และทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 3.6.1-3.6.2

3.6.4 ทำการเปลี่ยนชนิดของตัวกลางที่ใช้เป็นตัวกลางพลาสติกทำเอง โดยใช้ขวดพลาสติกมาตัดให้เป็นวง มีลักษณะดังรูปที่ 3.17 จากนั้นเปลี่ยนเข้าไปแทนที่ bioball หลังจากทดสอบตัวกลาง bioball แล้วเสร็จ โดยขั้นตอนการทดสอบเหมือนข้อ 3.6.1-3.6.3



รูปที่ 3.14 แผนผังการทดสอบระบบบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 3.15 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้เป็นตะกอนเริ่มต้นในโครงการ



รูปที่ 3.16 ลักษณะตัวกลาง bioball ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 3.17 ลักษณะตัวกลางพลาสติกที่จัดทำขึ้นเองที่ใช้ในการศึกษา

### 3.7 อุปสรรคที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา

#### 3.7.1 ปัญหาด้านการก่อสร้างและแนวทางแก้ไข

เนื่องจากพื้นที่ส่วนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถนำรถขนาดใหญ่เข้าไปยังสถานที่ก่อสร้างได้ ส่งผลให้ต้องใช้ปูนผสมด้วยคนงานก่อสร้างแทนที่ปูนผสมเสร็จจากโรงงานปูนทำให้งานก่อสร้างล่าช้า เมื่อทำงานก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดทดสอบระบบไปประมาณ 2 สัปดาห์ น้ำเสียภายในถัง UASB เกิดการรั่วซึมออกมา ทำให้ต้องระบายน้ำออกและฉาบภายใน แต่เมื่อทำการเดินระบบอีกครั้ง ก็ยังพบปัญหาเกี่ยวกับน้ำรั่วซึมอยู่ จึงดำเนินการสกัดแนวรั่วซึมเพื่อตรวจสอบสาเหตุ พบว่าบางส่วนมีการเทปูนไม่ทั่วถึงทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำขึ้นมาได้ ดังนั้นจึงทำการอัด water plug cement ลงไปภายในและรอระยะเวลาแข็งตัว จากนั้นจึงทำการฉาบปิดด้านนอกของระบบอีกครั้ง

รูปที่ 3.18 แสดงให้เห็นการรั่วซึมก่อนแก้ไข โดยจะสังเกตเห็นว่า น้ำรั่วซึมออกมาเป็นจุดหลายตำแหน่ง รูปที่ 3.19 แสดงถึงการใช้ water plug cement อุดรูรั่วภายใน และรูปที่ 3.20 แสดงถึงงานฉาบปิดผนังภายนอกทำให้น้ำไม่เกิดการรั่วซึมออกมาอีก

ผลที่เกิดขึ้นของปัญหาในด้านนี้ ส่งผลกระทบต่องานทดสอบระบบ ทำให้ทำการทดสอบระบบล่าช้าเป็นเวลา 3 เดือน



รูปที่ 3.18 การรั่วซึมที่เกิดขึ้นหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ 2 สัปดาห์



รูปที่ 3.19 การอุดรูรั่วภายในด้วย water plug cement



รูปที่ 3.20 สภาพถังภายนอกที่ฉาบแล้วเสร็จ

### 3.7.2 ปัญหาด้านการควบคุมระบบและการแก้ไข

3.7.2.1 ด้านระบบควบคุม เนื่องจากในการออกแบบตอนแรก ไม่ได้ออกแบบระบบควบคุมน้ำเสียไว้ แต่ให้ทางโรงงานดำเนินการควบคุมระบบโดยพนักงานของโรงงาน และกำหนดช่วงเวลาและแนวทางการเดินระบบไว้ให้ ทำให้เมื่อเริ่มดำเนินการไป บางครั้งน้ำเสียไม่ถูกกักไว้ตามเวลาที่กำหนด ดำเนินการแก้ไขโดยติดตั้งระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ทำการสูบน้ำเข้าและออกตามเวลาที่กำหนด

3.7.2.2 ด้านกลิ่นที่เกิดขึ้นในช่วงแรก เนื่องจากในการดำเนินงานระบบช่วงแรก น้ำเสียที่ออกมาจากระบบ UASB มีกลิ่นเหม็นก๊าซไข่เน่าจากน้ำทิ้งที่ออกมา ทำให้ชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงเดือดร้อน ทำให้ทางโรงงานต้องปิดระบบเป็นระยะ ส่งผลให้การจ่ายน้ำเข้าไม่ต่อเนื่อง แก้ไขปัญหาโดยต่อท่อน้ำทิ้งที่ออกมาจากถัง UASB ให้ลงไปภายในถังโปรยกรอง (จากเดิมตอนแรก ต่อดังกล่าวอยู่เหนือระบบโปรยกรอง) และต่อผนังของระบบโปรยกรองให้สูงขึ้นเพื่อลดปัญหาการกระจายของน้ำทิ้งจากระบบ UASB

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอล

##### 4.1.1 การทดสอบที่อัตราน้ำเสียไหลเข้า 2 ลบ.ม.ต่อวัน

ผลการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 โดยทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมงในวันที่ 35 และระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงในวันที่ 51 หลังจากเริ่มดำเนินงานระบบ ทำการเก็บน้ำทิ้งจากระบบ UASB และระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอลเพื่อตรวจหาคุณสมบัติ น้ำเสียหลังการบำบัด พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง จะให้น้ำทิ้งจากระบบที่ดีที่สุดโดยมีค่า pH, COD และ TSS คือ 7.22, 78 มก./ล. และ 18 มก./ล.ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดี พบว่าประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบียังมีค่าต่ำในช่วงการเก็บกัก 12 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักเป็น 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดจะมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการเกิดขึ้นของตะกอนเมืงขึ้นกับระยะเวลาเก็บกักอย่างชัดเจน สำหรับระบบโปรยกรองยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าค่าออกแบบ อาจเป็นเพราะการเกาะตัวของจุลินทรีย์ใน ตัวกลางยังไม่เต็มที่

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติ น้ำทิ้งที่ได้กับค่ากำหนด น้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าค่าชีโอดีและ TSS ที่ระยะเวลาดำเนินงาน 35 วัน การเก็บกัก 12 ชั่วโมง ของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองยังไม่ผ่านมาตรฐาน น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักเป็น 24 ชั่วโมง คุณสมบัติที่ได้ของน้ำทิ้งระบบยูเอเอสบียังคงไม่ผ่านมาตรฐาน น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมแต่อยู่ในช่วงที่อนุโลมได้ แต่เมื่อน้ำทิ้งผ่านระบบโปรยกรองแล้ว ค่าน้ำทิ้งจากระบบโปรยกรองจะผ่านมาตรฐานทันที แสดงว่าในการใช้อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน จะต้องใช้งานทั้งสองระบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติ น้ำทิ้งที่ดีที่สุด

##### 4.1.2 การทดสอบที่อัตราน้ำเสียไหลเข้า 4 ลบ.ม.ต่อวัน

ผลการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 โดยทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมงในวันที่ 83 และระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงในวันที่ 98 หลังจากเริ่มดำเนินงานระบบ ทำการเก็บน้ำทิ้งจากระบบ UASB และระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอลเพื่อตรวจหาคุณสมบัติ น้ำเสียหลังการบำบัด พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง จะให้น้ำทิ้งจากระบบที่ดีที่สุดโดยมีค่า pH, COD และ TSS คือ 7.54, 92 มก./ล. และ 21 มก./ล.ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีของ

ตารางที่ 4.1 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอล  
อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน

| คุณสมบัติ                  | น้ำเสียเข้า <sup>1</sup> | น้ำทิ้งจากระบบ |                           |          |                                        | หน่วย | มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม |
|----------------------------|--------------------------|----------------|---------------------------|----------|----------------------------------------|-------|--------------------------------|
|                            |                          | UASB           | ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ | โปรยกรอง | ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ <sup>3</sup> |       |                                |
| ระยะเวลาพักเก็บ 12 ชั่วโมง |                          |                |                           |          |                                        |       |                                |
| pH                         | 5.61                     | 7.51           | -                         | 7.91     | -                                      |       | 5.5-9.0                        |
| COD                        | 2,184                    | 935            | 57.19                     | 268      | 71.34                                  | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>         |
| TSS                        | 824                      | 131            | 84.10                     | 79       | 39.69                                  | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>          |
| ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง |                          |                |                           |          |                                        |       |                                |
| pH                         | 5.61                     | 7.76           | -                         | 7.22     | -                                      |       | 5.5-9.0                        |
| COD                        | 2,184                    | 216            | 90.11                     | 78       | 63.89                                  | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>         |
| TSS                        | 824                      | 84             | 89.81                     | 18       | 78.57                                  | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>          |

หมายเหตุ

<sup>1</sup> ใช้คุณสมบัติน้ำเสียเข้าในวันเริ่มต้นดำเนินงานระบบเป็นตัวเปรียบเทียบ

<sup>2</sup> ค่าในวงเล็บคือค่ายอมรับได้สูงสุดของการบำบัดน้ำเสีย

<sup>3</sup> คัดเทียบกับน้ำทิ้งจากระบบยูเอสบี

ตารางที่ 4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอล  
อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน

| คุณสมบัติ                  | น้ำเสียเข้า <sup>1</sup> | น้ำทิ้งจากระบบ |                               |          |                                            | หน่วย | มาตรฐานน้ำทิ้ง<br>โรงงาน<br>อุตสาหกรรม |
|----------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|----------|--------------------------------------------|-------|----------------------------------------|
|                            |                          | UASB           | ประสิทธิภาพ<br>การบำบัดร้อยละ | โปรยกรอง | ประสิทธิภาพ<br>การบำบัดร้อยละ <sup>3</sup> |       |                                        |
| ระยะเวลาพักเก็บ 12 ชั่วโมง |                          |                |                               |          |                                            |       |                                        |
| pH                         | 5.61                     | 8.11           | -                             | 7.33     | -                                          |       | 5.5-9.0                                |
| COD                        | 2,184                    | 634            | 70.97                         | 172      | 72.87                                      | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>                 |
| TSS                        | 824                      | 127            | 84.59                         | 71       | 44.09                                      | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>                  |
| ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง |                          |                |                               |          |                                            |       |                                        |
| pH                         | 5.61                     | 7.72           | -                             | 7.54     | -                                          |       | 5.5-9.0                                |
| COD                        | 2,184                    | 348            | 84.07                         | 92       | 73.56                                      | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>                 |
| TSS                        | 824                      | 77             | 90.66                         | 21       | 72.72                                      | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>                  |

หมายเหตุ

<sup>1</sup> ใช้คุณสมบัติน้ำเสียเข้าในวันเริ่มต้นดำเนินงานระบบเป็นตัวเปรียบเทียบ

<sup>2</sup> ค่าในวงเล็บคือค่ายอมรับได้สูงสุดของการบำบัดน้ำเสีย

<sup>3</sup> คัดเทียบกับน้ำทิ้งจากระบบยูเอสบี

ระบบยูเอเอสบี พบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมง ยังคงมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ระยะเวลาเก็บ 12 ชั่วโมงอย่างชัดเจน

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำทิ้งที่ได้กับค่ากำหนดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าค่าซีโอดีและ TSS ที่ระยะเวลาดำเนินงาน 83 วัน การเก็บ 12 ชั่วโมง ของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บเป็น 24 ชั่วโมง คุณสมบัติที่ได้ของน้ำทิ้งระบบยูเอเอสบียังคงไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมแต่อยู่ในช่วงที่อนุโลมได้ แต่เมื่อน้ำทิ้งผ่านระบบโปรยกรองแล้ว ค่าน้ำทิ้งจากระบบโปรยกรองจะผ่านมาตรฐานทันที แสดงว่าในการใช้อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน จะต้องใช้งานทั้งสองระบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติน้ำทิ้งที่ดีที่สุด

## 4.2 การบำบัดน้ำเสียโดยระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติก

### 4.2.1 การทดสอบที่อัตราการไหลเข้า 2 ลบ.ม.ต่อวัน

ผลการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะเวลาเก็บ 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 โดยทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาเก็บ 12 ชั่วโมงในวันที่ 131 และระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมงในวันที่ 148 หลังจากเริ่มดำเนินงานระบบ ทำการเก็บน้ำทิ้งจากระบบ UASB และระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติกเพื่อตรวจหาคุณสมบัติน้ำเสียหลังการบำบัด พบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมง จะให้น้ำทิ้งจากระบบที่ดีที่สุดโดยมีค่า pH, COD และ TSS คือ 7.34, 113 มก./ล. และ 52 มก./ล.ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี พบว่าประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่ช่วงการเก็บ 24 ชั่วโมงจะดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากระบบโปรยกรองพบว่าที่ระยะเวลาเก็บ 12 ชั่วโมงให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ค่าซีโอดีสำหรับน้ำทิ้งที่ระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมงจะน้อยกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะระบบโปรยกรองดังกล่าวมีขีดความสามารถในการจัดการค่าซีโอดีที่สูง ซึ่งน้ำทิ้งจากระบบยูเอเอสบีที่ช่วงเวลาเก็บ 12 ชั่วโมงสูงกว่า 24 ชั่วโมงมาก ทำให้ระบบโปรยกรองสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มาก

พิจารณาที่ค่า TSS ของระบบโปรยกรอง พบว่าค่า TSS ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวกลางพลาสติกจะมีค่าสูงอาจเป็นเพราะการยึดจุลินทรีย์กับผิวของตัวกลางยังไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้อาจมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดไปจนถึงตกตะกอนได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำทิ้งที่ได้กับค่ากำหนดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าค่าซีโอดีและ TSS ที่ระยะเวลาดำเนินงาน 131 วัน การเก็บ 12 ชั่วโมง ของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บเป็น 24 ชั่วโมง ค่าซีโอดีที่ได้ของน้ำทิ้งทั้งสองระบบผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมแต่ค่าตะกอนแขวนลอยจะยังไม่ผ่าน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่ากำหนดมาก แสดงว่าในการใช้อัตรา

การไหล 2 ลบ.ม./วัน จะต้องใช้งานทั้งสองระบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติน้ำทิ้งที่ดีที่สุด และจะต้องระวังเรื่องตะกอนลอยในถังตกตะกอน

ตารางที่ 4.3 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติก อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน

| คุณสมบัติ                  | น้ำเสียเข้า <sup>1</sup> | น้ำทิ้งจากระบบ |                           |          |                                        | หน่วย | มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม |
|----------------------------|--------------------------|----------------|---------------------------|----------|----------------------------------------|-------|--------------------------------|
|                            |                          | UASB           | ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ | โปรยกรอง | ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ <sup>3</sup> |       |                                |
| ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง |                          |                |                           |          |                                        |       |                                |
| pH                         | 5.61                     | 7.67           | -                         | 7.42     | -                                      |       | 5.5-9.0                        |
| COD                        | 2,184                    | 684            | 68.68                     | 178      | 74.27                                  | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>         |
| TSS                        | 824                      | 112            | 86.41                     | 76       | 32.14                                  | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>          |
| ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง |                          |                |                           |          |                                        |       |                                |
| pH                         | 5.61                     | 7.54           | -                         | 7.34     | -                                      |       | 5.5-9.0                        |
| COD                        | 2,184                    | 199            | 90.89                     | 113      | 43.22                                  | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>         |
| TSS                        | 824                      | 74             | 91.02                     | 52       | 29.73                                  | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>          |

หมายเหตุ

<sup>1</sup> ใช้คุณสมบัติน้ำเสียเข้าในวันเริ่มต้นดำเนินงานระบบเป็นตัวเปรียบเทียบ

<sup>2</sup> ค่าในวงเล็บคือค่ายอมรับได้สูงสุดของการบำบัดน้ำเสีย

<sup>3</sup> คิดเทียบกับน้ำทิ้งจากระบบยูเอเอสบี

#### 4.2.2 การทดสอบที่อัตราน้ำเสียไหลเข้า 4 ลบ.ม.ต่อวัน

ผลการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงได้ดังตารางที่ 4.4 โดยทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมงในวันที่ 181 และระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงในวันที่ 199 หลังจากเริ่มดำเนินงานระบบ ทำการเก็บน้ำทิ้งจากระบบ UASB และระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติกเพื่อตรวจหาคุณสมบัติน้ำเสียหลังการบำบัด พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง จะให้น้ำทิ้งจากระบบที่ดีที่สุดโดยมีค่า pH, COD และ TSS คือ 7.66, 115 มก./ล. และ 41 มก./ล.ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดี พบว่าประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบียังมีค่าต่ำในช่วงการเก็บกัก 12 ชั่วโมง และดีที่สุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง พิจารณาประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองพบว่าที่ประสิทธิภาพการบำบัดค่าชีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมงจะมีค่าสูงกว่าที่ 24 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามค่าชีโอดีน้ำทิ้งที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงจะมีค่าต่ำกว่าระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำทิ้งที่ได้กับค่ากำหนดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าค่าชีโอดีและ TSS ที่ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง ของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองยังไม่

ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักเป็น 24 ชั่วโมง คุณสมบัติที่ได้ของน้ำทิ้งเมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองจะผ่านมาตรฐานทันที แสดงว่าในการใช้อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน จะต้องใช้งานทั้งสองระบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติน้ำทิ้งที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.4 ผลการบำบัดน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีและระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติก อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน

| คุณสมบัติ                  | น้ำเสียเข้า <sup>1</sup> | น้ำทิ้งจากระบบ |                           |          |                                        | หน่วย | มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม |
|----------------------------|--------------------------|----------------|---------------------------|----------|----------------------------------------|-------|--------------------------------|
|                            |                          | UASB           | ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ | โปรยกรอง | ประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ <sup>3</sup> |       |                                |
| ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง |                          |                |                           |          |                                        |       |                                |
| pH                         | 5.61                     | 7.77           | -                         | 7.19     | -                                      |       | 5.5-9.0                        |
| COD                        | 2,184                    | 577            | 73.58                     | 211      | 63.43                                  | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>         |
| TSS                        | 824                      | 185            | 86.41                     | 76       | 58.92                                  | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>          |
| ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง |                          |                |                           |          |                                        |       |                                |
| pH                         | 5.61                     | 8.04           | -                         | 7.66     | -                                      |       | 5.5-9.0                        |
| COD                        | 2,184                    | 217            | 90.06                     | 115      | 43.22                                  | mg/l  | 120 (400) <sup>2</sup>         |
| TSS                        | 824                      | 88             | 89.32                     | 41       | 53.41                                  | mg/l  | 50 (150) <sup>2</sup>          |

หมายเหตุ

<sup>1</sup> ใช้คุณสมบัติน้ำเสียเข้าในวันเริ่มต้นดำเนินงานระบบเป็นตัวเปรียบเทียบ

<sup>2</sup> ค่าในวงเล็บคือค่ายอมรับได้สูงสุดของการบำบัดน้ำเสีย

<sup>3</sup> คิดเทียบกับน้ำทิ้งจากระบบยูเอเอสบี

### 4.3 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1-4.4 พบว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบยูเอเอสบีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ค่าซีโอดีและตะกอนแขวนลอยผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งได้ โดยจะให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 90.89 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 2 ลบ.ม.ต่อวัน มีค่าซีโอดีหลังการบำบัดเท่ากับ 199 มก./ลิตร และค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยดีที่สุด คือ ร้อยละ 91.02 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 2 ลบ.ม.ต่อวัน มีค่าตะกอนแขวนลอยหลังการบำบัดเท่ากับ 74 มก./ลิตร

เมื่อพิจารณาระยะเวลาเก็บกักพบว่า ระยะเวลาเก็บกักที่ 24 ชั่วโมงให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง จุลินทรีย์มีโอกาสนำสารอาหารในถังปฏิกิริยานานกว่าทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาระบบโปรยกรองทั้ง 2 ตัวกลาง พบว่า ที่อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 2 ลบ.ม./วัน ตัวกลางพลาสติกจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 74.27 และมีค่าซีโอดีหลังการบำบัดเท่ากับ 178 มก./ล. และสำหรับที่อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 4 ลบ.ม./วัน ตัวกลางไบโอบอลจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 73.56 และมีค่าซีโอดีหลังการบำบัดเท่ากับ 92 มก./ล. ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ตัวกลางไบโอบอลมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการประหยัดงบประมาณ อาจใช้ตัวกลางพลาสติกทดแทนหรือเสริมเข้าไปในตัวกลางไบโอบอลได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุป

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพถังยูเอเอสบีกับถังโปรยกรองใช้อากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียโรงงานถูกขึ้นได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

5.1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสบีที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 90.89 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 199 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 90.06 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 217 มก./ลิตร

5.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 91.02 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 74 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 90.66 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 77 มก./ลิตร

5.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าซีโอดีของระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 71.34 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 268 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 73.56 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 92 มก./ลิตร

5.1.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าตะกอนแขวนลอยของระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 78.57 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 18 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 72.72 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 21 มก./ลิตร

5.1.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าซีโอดีของระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 74.27 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 178 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 63.43 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 211 มก./ลิตร

5.1.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าตะกอนแขวนลอยของระบบโปรยกรองตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 32.14 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง

และให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 76 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบโปรยกรวดตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 58.92 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และมีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 76 มก./ลิตร

5.1.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 96.43 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 78 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 95.79 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 92 มก./ลิตร

5.1.8 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 97.82 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 18 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางไบโอบอลที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 97.45 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 21 มก./ลิตร

5.1.9 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 94.83 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 113 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 94.73 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง 115 มก./ลิตร

5.1.10 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่าตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 2 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 93.69 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 52 มก./ลิตร สำหรับประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางพลาสติกที่อัตราการไหล 4 ลบ.ม./วัน มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 95.02 ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง และมีค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง 41 มก./ลิตร

5.1.11 ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมในระบบยูเอเอสพีคือ 24 ชั่วโมง โดยจะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุดทุกอัตราการไหล

5.1.12 ในการบำบัดน้ำเสียให้ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม การใช้ระบบยูเอเอสพีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถกระทำได้ ต้องมีการนำน้ำทิ้งไปบำบัดเพิ่มในระบบโปรยกรวดอีกที โดยระบบที่บำบัดได้ดีที่สุดคือระบบยูเอเอสพีร่วมกับระบบโปรยกรวดตัวกลางไบโอบอล แต่เมื่อคำนึงถึงราคาของตัวกลางในการติดตั้ง อาจใช้ตัวกลางพลาสติกทดแทนได้โดยค่าซีโอดีและตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ได้ยังคงผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมเช่นกัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดสอบดังกล่าวไม่ได้พิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ นอกจากค่าซีไอดีและตะกอนแขวนลอย ซึ่งควรที่จะมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้รู้ถึงพฤติกรรมการบำบัดน้ำเสียของระบบให้ชัดเจนขึ้น

5.2.2 ควรมีการศึกษาในเรื่องของตะกอนเม็ดที่ได้ในระบบยูเอเอสบีของน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น ตลอดจนปัจจัยที่ทำให้เกิดตะกอนเม็ดเพื่อให้โรงงานลูกชิ้นอื่นๆ สามารถพัฒนาขึ้นไปใช้ได้เหมือนกัน

5.2.3 เนื่องจากในโครงการวิจัยมีการศึกษาระยะเวลาเก็บกาก 2 ช่วงเวลา ควรขยายการศึกษาในเรื่องของระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บกากเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมอย่างละเอียด

5.2.4 ควรทำการทดลองอย่างละเอียดและเก็บตัวอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ควรทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดเพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริง

### บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.
- การควบคุมมลพิษ. 2537. คู่มือออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540. การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสียเล่ม 5. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เอส อาร์ พรินติ้ง แมสโปรดักส์.
- ณรงค์ จิตต์จรัสเกียรติ. 2529. การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลืองโดยกรรมวิธีชั้นตะกอนจุลชีพไร้อากาศแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะพันธ์ นุชท่าโพ. 2546. ผลของการป้อนน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถนะของระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พงศกร เทียนสว่าง. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยถังปฏิกริยาแอฟฟอลว์แอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิชัย ชำนาญณรงค์ศักดิ์. 2540. การศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ของการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบโปรยกรองโดยใช้ตัวกลางพลาสติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันกุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิธร จินตนาสุนทรศิริ. 2549. การบำบัดน้ำเสียสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอในระบบโปรยกรองด้วยเห็ดนางรม *Pleurotus ostreatus*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2552. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สยามสเตชันเนอรีซ์พพลายส์.

- Hulshoff, L.W., Zeeun de, W.J., Velzeboer, C.T.M. and Lettinga, G., 1983, "Granulation in UASB-Reactor", **Water Science and Technology**, Vol. 15, pp. 291-304.
- Lettinga, G., Van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeun, W. and Klapwisk, A. 1980. "Use of the Upflow Sludge Blanket (UASB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment", **Biotechnology and Bioengineering**. Vol. 22, pp. 699-734.
- Lettinga, G. Hulshoff Pol, L.W., Grin, P. and Roersma, R., 1982, "Anaerobic Treatment using the UASB Process" seminar on "**Anaerobic Wastewater Treatment**", Sydney, August, pp. 12-16.
- Lettinga, G. de Zeeun, W., HulshoffPol., L.W., Wiegant, W. and Rinzema, A., 1985, "Anaerobic Wastewater Treatment Based on Biomass Retention with Emphasis on the UASB process", **Proceeding of the Fouth International Symposium on Anaerobic Digestion**, Gaugzhou, China, pp. 83-89.
- Lettinga, G., and L.W. Hulshoff Pol. 1992. "UASB-Process design for various types of wastewaters", **Water Science & Technology**. Vol 24 No 8 pp 87–107.
- McLeod, F.A., Guiot, S.R. and Costerton, J.W., 1990, "Larger Structure of Bacterial Aggregates Produced in an Upflow Anaerobic Sludge Bed and Filter Reactor", **Applied & Environmental Microbiology**, Vol. 56, No. 6, pp. 1598-1607.
- Metcalf and Eddy. 1979. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. New York: McGraw-Hill.
- Metcalf and Eddy. 2003. **Wastewater Engineering**. Fourth Edition. McGraw-Hill.
- Saner, E. 1980. **Plastic-packed trickling filters**. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan.
- Standers, G.J. 1966. "Water Pollution Research – A Key to Wastewater Management", **Journal Water Pollution Control Federation**. Vol.38. p.774.
- Show, K.Y., Wang, Y., Foong, S.F. and Tay, J.H. 2004 "Accelerated Start-up and Enhanced Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors", **Water Research**. 38:2293-2304.

ภาคผนวก ก  
รายการคำนวณออกแบบระบบ

### ออกแบบระบบบำบัดสำหรับน้ำเสียรวม

ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB สำหรับโรงงานลูกชิ้นโดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- |                                                                      |       |           |
|----------------------------------------------------------------------|-------|-----------|
| 1. อัตราน้ำเสียไหลเข้า                                               | 4.0   | ลบ.ม./วัน |
| 2. COD น้ำเสียไหลเข้า                                                | 3,000 | มก./ล.    |
| 3. สารละลาย COD (sCOD)                                               | 2,500 | มก./ล.    |
| 4. TSS                                                               | 500   | มก./ล.    |
| 5. สัดส่วนปริมาตรบำบัดประสิทธิภาพสำหรับปริมาตรถังปฏิกรณ์ = ร้อยละ 90 |       |           |
| 6. ใช้ถังปฏิกรณ์                                                     | 1     | ถัง       |

### วิธีทำ

1. กำหนดหาปริมาตรถังปฏิกรณ์จากอัตราการสลายอินทรีย์เชิงปริมาตรที่ใช้ออกแบบ

- 1.1 กำหนดสัดส่วน ssCOD ของน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์

$$\text{สัดส่วน ssCOD} = \frac{500}{3,000} = 0.17$$

- 1.2 กำหนดให้ออกแบบระบบ UASB แบบสลัดจ์เม็ต เนื่องจากสารอินทรีย์น้ำเสียย่อยสลายง่าย และจากตารางที่ ข.1 เนื่องจากน้ำเสียเป็นประเภทที่มีสัดส่วน COD ในรูปของแข็งแขวนลอยร้อยละ 0.17 ค่า COD เท่ากับ 3,000 มก./ล. และอุณหภูมิเดินระบบที่ 30 °C เลือกค่าการสลายอินทรีย์ต่อปริมาตรที่ 4 กก. COD/ลบ.ม.-วัน

$$V = \frac{QS_0}{L_v} = \frac{(4)(3.0)}{4} = 3 \quad \text{ลบ.ม.}$$

- 1.3 หาปริมาตรของเหลวทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ จากสมการ

$$V_L = \frac{V}{E} = \frac{3}{0.9} = 3.33 \quad \text{ลบ.ม.}$$

2. กำหนดหาขนาดของถังปฏิกรณ์ใช้ถังปฏิกรณ์ 1 ถัง

- 2.1 กำหนดหาพื้นที่หน้าตัดของถัง เลือกใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 1 ม./ชม.

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{(4)}{(1.0)(24)} = 0.17 \quad \text{ตร.ม.}$$

- 2.2 กำหนดหาขนาดถังปฏิกรณ์ เลือกใช้ถังปฏิกรณ์สี่เหลี่ยมกว้าง 1.2 ม. ยาว 1.2 ม.

$$A = WL = 1.2 \times 1.2 = 1.44 \quad \text{ตร.ม.}$$

- 2.3 กำหนดหาระดับความสูงของน้ำในถังปฏิกรณ์

$$H_L = \frac{V_L}{A} = \frac{3.33}{1.44} = 2.3125 \quad \text{เมตร}$$

เลือกใช้ถังปฏิกรณ์สูง 2.80 เมตร ระยะดักก๊าซ 0.50 เมตร รวมสูง 3.30 เมตร

จะได้ปริมาตรเก็บกักในถัง UASB =  $1.20 \times 1.20 \times 2.80 = 4.032$  ลบ.ม.

## 2.4 คำนวณหาระยะเวลากักเก็บน้ำในถังปฏิกรณ์

$$HRT = \frac{V_L}{Q} = \frac{4.032}{4/24} = 24.192 \quad \text{ชม.}$$

ตารางที่ ข.1 อัตราการสลายอินทรีย์เชิงปริมาตรที่แนะนำสำหรับระบบ UASB ที่อุณหภูมิ 30°C และประสิทธิภาพการกำจัด COD ร้อยละ 80-90

| ความเข้มข้นของ<br>น้ำเสีย<br>(มก.COD/ล.) | สัดส่วน COD ที่<br>ไม่ละลายน้ำ | อัตราการสลายอินทรีย์ต่อปริมาตร (กก.COD/ลบ.ม.-วัน) |                                               |                                                |
|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                          |                                | สลัดจ์ฟล็อก<br>UASB                               | สลัดจ์เม็ด UASB<br>ต้องกำจัด TSS<br>ปริมาณมาก | สลัดจ์เม็ด UASB<br>ต้องกำจัด TSS<br>ปริมาณน้อย |
| 1,000-2,000                              | 0.10 – 0.30                    | 2 – 4                                             | 2 – 4                                         | 8 – 14                                         |
|                                          | 0.30 – 0.60                    | 2 – 4                                             | 2 – 4                                         | 8 – 14                                         |
|                                          | 0.60 – 1.00                    | *                                                 | *                                             | Na                                             |
| 2,000-6,000                              | 0.10 – 0.30                    | 3 – 5                                             | 3 – 5                                         | 12 – 18                                        |
|                                          | 0.30 – 0.60                    | 4 – 8                                             | 2 – 6                                         | 12 – 24                                        |
|                                          | 0.60 – 1.00                    | 4 – 8                                             | 2 – 6                                         | Na                                             |
| 6,000-9,000                              | 0.10 – 0.30                    | 4 – 6                                             | 4 – 6                                         | 15 – 20                                        |
|                                          | 0.30 – 0.60                    | 5 – 7                                             | 3 – 7                                         | 15 – 24                                        |
|                                          | 0.60 – 1.00                    | 6 – 8                                             | 3 – 8                                         | *                                              |
| 9,000-18,000                             | 0.10 – 0.30                    | 5 – 8                                             | 4 – 6                                         | 15 – 24                                        |
|                                          | 0.30 – 0.60                    | *                                                 | 3 – 7                                         | *                                              |
|                                          | 0.60 – 1.00                    | *                                                 | 3 – 7                                         | *                                              |

\* ไม่เหมาะสมที่จะใช้ระบบ UASB ภายใต้สภาวะเหล่านี้

ที่มา : Lettinga และ Hulshoff Pol (1992)

## 3. คำนวณหาขนาดและจำนวนท่อป้อนน้ำเสีย

### 3.1 จำนวนท่อป้อนน้ำเสีย

จากตารางที่ ข.2 กำหนดให้ใช้ท่อป้อนน้ำเสีย 2 ท่อ/ตร.ม.

ตารางที่ ข.2 เกณฑ์จำนวนจุดกระจายน้ำเสียที่ต้องการต่อพื้นที่ถังปฏิกรณ์

| ประเภทของสลัดจ์                                           | อัตราภาระสารอินทรีย์เชิงพื้นที่<br>(กก.COD/ตร.ม.-วัน) | ขนาดพื้นที่ต่อจุด (ท่อ)<br>กระจายน้ำ<br>(ตร.ม.) |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| สลัดจ์ฟล็อกที่ความหนาแน่นสูง<br>> 40 กก. TSS/ลบ.ม.        | < 1.0                                                 | 0.5 – 1                                         |
|                                                           | 1 – 2                                                 | 1 – 2                                           |
|                                                           | > 2                                                   | 2 – 3                                           |
| สลัดจ์ฟล็อกที่ความหนาแน่นปานกลาง<br>20 - 40 กก. TSS/ลบ.ม. | < 1 – 2                                               | 1 – 2                                           |
|                                                           | > 3                                                   | 2 – 5                                           |
| สลัดจ์เม็ด                                                | 1 – 2                                                 | 0.5 – 1                                         |
|                                                           | 2 – 4                                                 | 0.5 – 2                                         |
|                                                           | > 4                                                   | > 2                                             |

$$\text{จำนวนท่อป้อนน้ำเสียต่อถัง} = (2)(1.44) = 2.88 \text{ ท่อ}$$

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ท่อป้อนน้ำเสีย 3 ท่อ

#### 1.1 คำนวณหาขนาดของท่อป้อนน้ำเสีย

$$\text{กำหนดความเร็วน้ำออกที่ปลายท่อ} = 0.5 \text{ ม./ว.}$$

$$\text{อัตราการไหลของน้ำเสียในท่อ} = \frac{4}{(3)(86,400)} = 1.543 \times 10^{-5} \text{ ลบ.ม./วินาที}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่อ} = \frac{1.543 \times 10^{-5}}{(0.5)} = 3.08 \times 10^{-5} \text{ ตร.ม.}$$

ม.

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 6.26 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ท่อพีวีซี 1 นิ้ว วางในระบบและเจาะรูขนาด 1 ซม. เพื่อให้น้ำไหลออก

ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรองสำหรับกำจัดน้ำเสียที่ออกจากระบบ UASB ของโรงงานลูกชิ้นโดยมีคุณสมบัติ น้ำเสียต่างๆ ดังนี้

1. อัตราน้ำเสียไหลเข้า 4 ลบ.ม./วัน
2. ระบบยูเอสบีสามารถกำจัดน้ำเสียได้ประสิทธิภาพอย่างต่ำร้อยละ 80
3. BOD<sub>5</sub> น้ำเสียไหลเข้าระบบยูเอสบี 2,400 มก./ล.
4. BOD<sub>5</sub> น้ำเสียไหลออกจากระบบยูเอสบี 480 มก./ล.
5. ต้องการ BOD<sub>5</sub> น้ำทิ้ง 20 มก./ล.
6. เติมน้ำในระบบโดยไม่มีการสูบกลับ อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาวคือ 25°C

#### วิธีทำ

เนื่องจากใช้ตัวกลางพลาสติกในการออกแบบ จึงเลือกใช้สมการของ Eckenfelder

1. ใช้ภาระชลศาสตร์ 5 ลบ.ม.ต่อตร.ม.-วัน
2. พื้นที่หน้าตัดของถังโปรยกรอง =  $4/5 = 0.8$  ตร.ม.

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของถังโปรยกรอง} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 1 \text{ เมตร}$$

3. กำหนดความสูงของถังโปรยกรอง 2 เมตร
4. คำนวณหา K<sub>25</sub> จากสมการ

$$K = K_{20} (1.035)^{T-20}$$

$$K = (2)(1.035)^{25-20} = 2.375 \text{ วัน}^{-1}$$

5. คำนวณค่า BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจากระบบโปรยกรอง

$$S_e = S_0 e^{\frac{-KD}{Q_L^n}} = (480)e^{\frac{-(2.375)(2)}{(2^{0.5})}} = 26.16 \text{ มก./ล.}$$

6. คำนวณหาอัตราภาระบีโอดีเพื่อนำไปเลือกอัตราการกระจายน้ำสำหรับเดินระบบและชะล้าง

$$\begin{aligned} \text{อัตราภาระบีโอดีต่อปริมาตร} &= \frac{QS_0}{V} \\ &= \frac{(4)(0.48)}{(2 \times 0.8)} = 1.2 \text{ kg.BOD}_5/\text{m}^3\text{-day} \end{aligned}$$

จากตารางที่ ข.3 เลือกอัตราการกระจายน้ำสำหรับเดินระบบ 50 มม./รอบ และอัตราการกระจายน้ำสำหรับชะล้าง 320 มม./รอบ

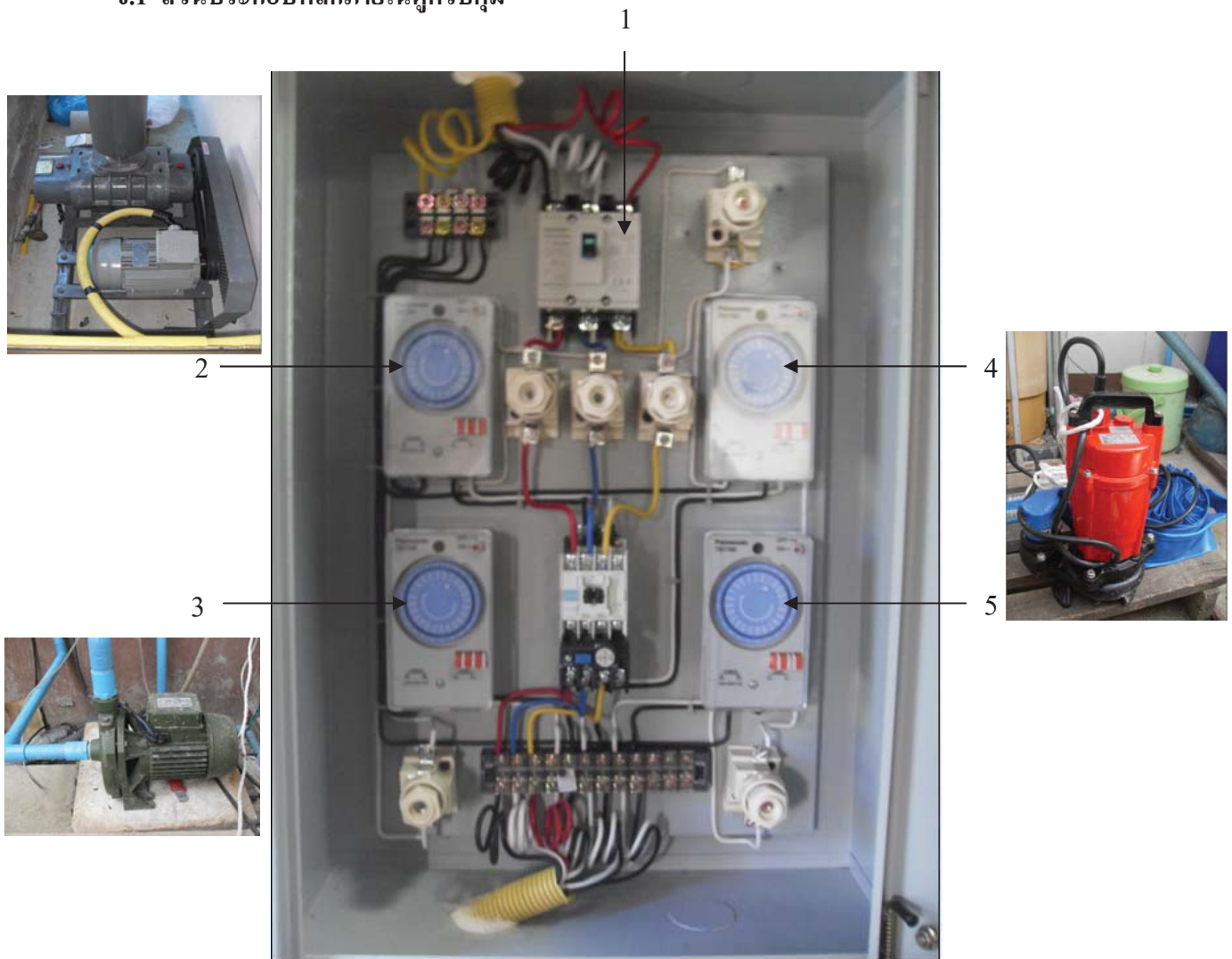
ตารางที่ ข.3 ช่วงค่าแนะนำสำหรับอัตราการจ่ายน้ำที่อัตราภาระบีโอดีต่างๆ

| อัตราภาระบีโอดี<br>(กก./ลบ.ม.-วัน) | อัตราการจ่ายน้ำสำหรับเดิน<br>ระบบ<br>(มม./รอบ) | อัตราการจ่ายน้ำสำหรับชะ<br>ล้าง<br>(มม./รอบ) |
|------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 0.25                               | 10-30                                          | $\geq 200$                                   |
| 0.50                               | 15-45                                          | $\geq 200$                                   |
| 1.00                               | 30-90                                          | $\geq 300$                                   |
| 2.00                               | 40-120                                         | $\geq 400$                                   |
| 3.00                               | 60-180                                         | $\geq 600$                                   |
| 4.00                               | 80-240                                         | $\geq 800$                                   |

ที่มา: Metcalf&Eddy (2003)

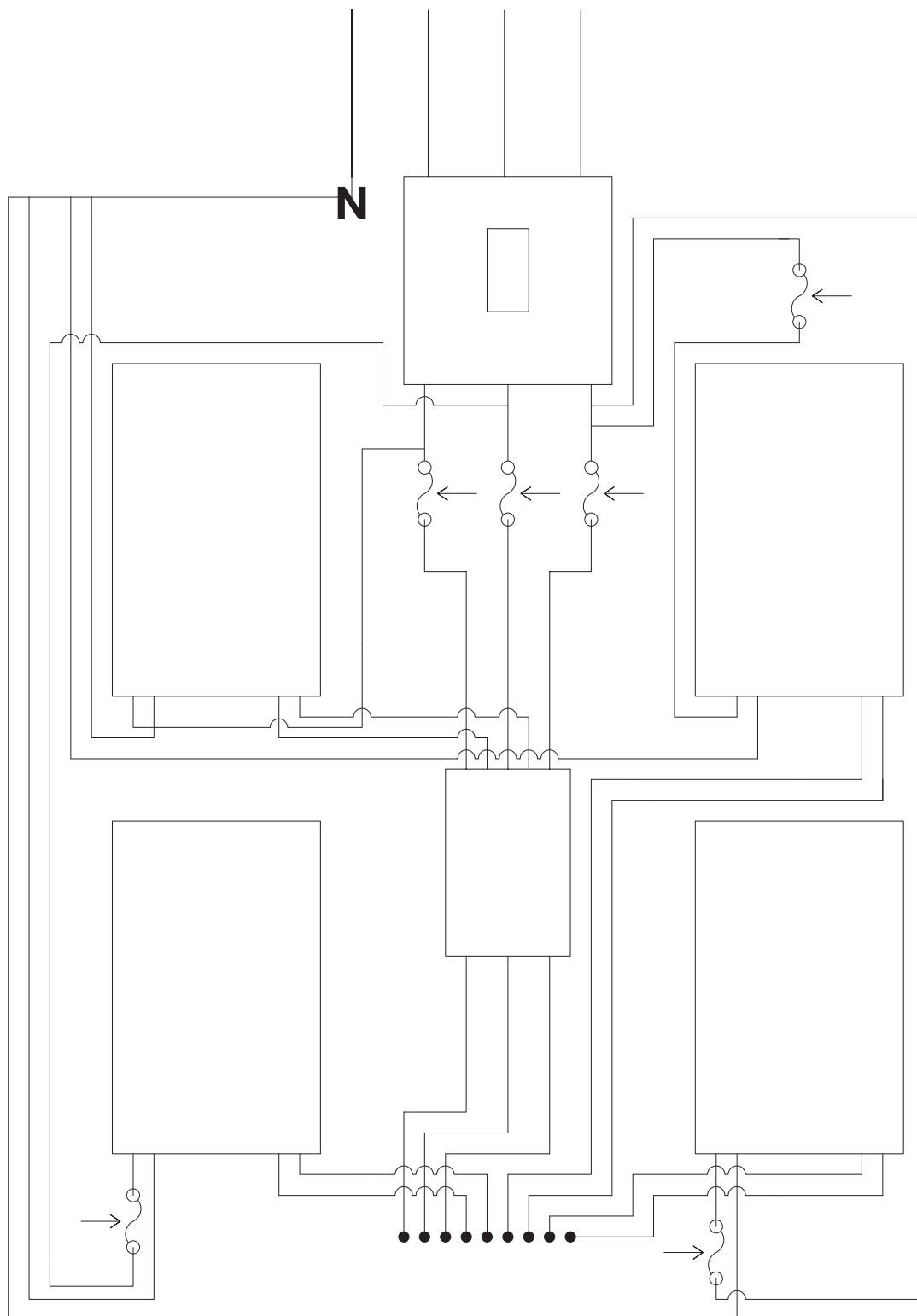
ภาคผนวก ข  
รายละเอียดอุปกรณ์ควบคุมและเครื่องมือที่ใช้

ข.1 ส่วนประกอบหลักภายในตู้ควบคุม

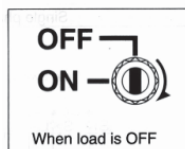
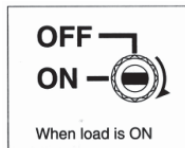
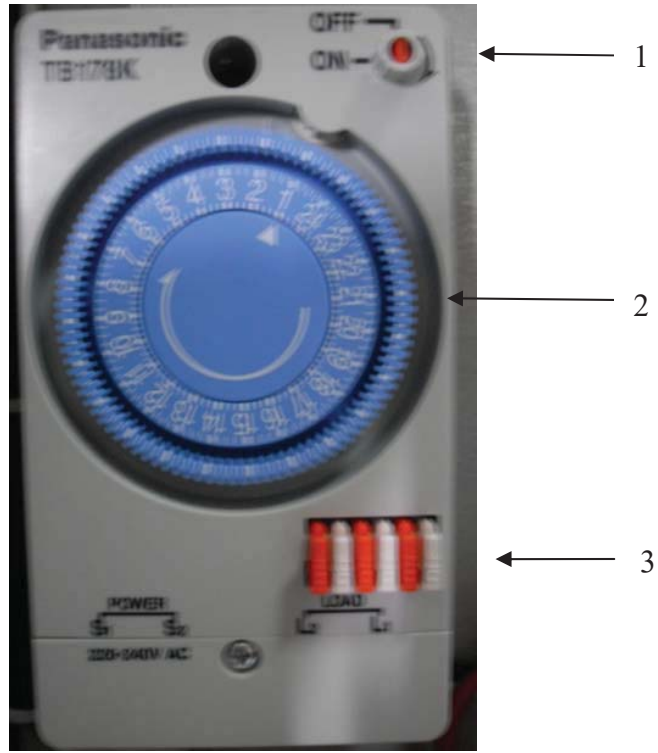


1. คือสวิตช์เปิด-ปิดไฟของตู้ควบคุม โยกสวิตช์ขึ้นคือเปิด และโยกสวิตช์ลงคือปิด
2. คือ Timer ของเครื่องเติมอากาศในถังปฏิกรณ์ SBR
3. คือ Timer ของปั๊มหอยโข่งสำหรับสูบน้ำผ่านการบำบัดในถังปฏิกรณ์ SBR ออก
4. คือ Timer ของปั๊มจุ่ม 1 สำหรับดูดน้ำเสียในบ่อปรับสภาพเข้าถังปฏิกรณ์ SBR
5. คือ Timer ของปั๊มจุ่ม 2 สำหรับระบายสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์ SBR

## ข.2 วงจรควบคุมระบบ



### ข.3 การใช้งานสวิตช์ควบคุม Timer Panasonic TB 178K



1. คือสวิตช์เปิด-ปิด โดยการหมุนตามรูป

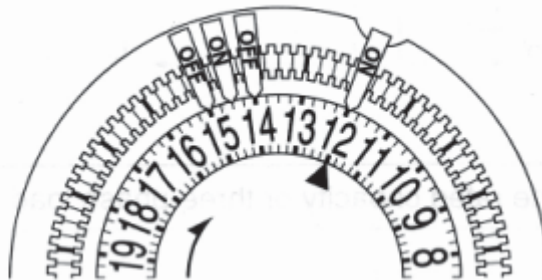


2. คือนาฬิกาที่จะหมุนเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับตู้ควบคุม



3. คือตัวเสียบใน(2) เป็นตัวทริกเลือกเวลาให้เปิดหรือปิด โดยสีแดง  
เป็นตัวทริกเปิด ส่วนสีขาวเป็นตัวทริกปิด ดังรูปต่อไปนี้

- At 12:00 "ON"
- At 14:00 "OFF"
- At 14:30 "ON"
- At 15:00 "OFF"



\*หมายเหตุ ควรตั้งการเริ่มต้นเวลา Timer ทั้ง 4 ตัวให้เท่ากันทั้งหมด (ดูลูกศรที่ชี้) โดยการหมุน  
ปรับตามรูปดังนี้



### บล็อกเสียบปลั๊กเครื่องปั๊มหัว



1. คีอบล็อกเสียบปลั๊ก Timer ของปั๊มหอยแขง



2. คีอบล็อกเสียบปลั๊ก Timer ของปั๊มจุ่ม 1
3. คีอบล็อกเสียบปลั๊ก Timer ของปั๊มจุ่ม 2



#### ข.4 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าซีโอดีภาคสนาม



ค่าซีโอดีของโครงการจะตรวจจากเครื่องตรวจวัดซีโอดีภาคสนามรุ่น Spectroquant colorimeter Picco COD ของ Merck พร้อมเตาย่อย

ภาคผนวก ค  
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ ค.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

| ดัชนีคุณภาพน้ำ                                   | ค่ามาตรฐาน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | วิธีวิเคราะห์                                        |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)              | 5.5-9.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | pH Meter                                             |
| 2. ค่าที่ตีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) | <ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล.</li> <li>น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าที่ตีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ตีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล.</li> </ul> | ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 -105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง   |
| 3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)                 | ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.                                                                                                                                                                                                                                    | กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)   |
| 4. อุณหภูมิ (Temperature)                        | ไม่เกิน 40°C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ        |
| 5. สีหรือกลิ่น                                   | ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ไม่ได้กำหนด                                          |
| 6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H <sub>2</sub> S)         | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Titrate                                              |
| 7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)                     | ไม่เกิน 0.2 มก./ล.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid         |
| 8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease )         | ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.                                                                                                                                                                                                                                                                 | สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน |

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| ดัชนีคุณภาพน้ำ                                                              | ค่ามาตรฐาน                                                                                                                                                      | วิธีวิเคราะห์                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9. ฟอรัมาลดีไฮด์<br>(Formaldehyde)                                          | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                                                                                                                                              | Spectrophotometry                                                                                                                       |
| 10. สารประกอบฟีนอล<br>(Phenols)                                             | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                                                                                                                                              | กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine                                                                                                   |
| 11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)                                             | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.                                                                                                                                              | Iodometric Method                                                                                                                       |
| 12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)                  | ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด                                                                                                                             | Gas-Chromatography                                                                                                                      |
| 13. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C)<br>(Biochemical Oxygen Demand : BOD) | ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.      | Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 5 วัน                                                                                     |
| 14. ค่าที่เคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)                         | ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล. | Kjeldahl                                                                                                                                |
| 15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)                                | ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล. | Potassium Dichromate Digestion                                                                                                          |
| 16. โลหะหนัก (Heavy Metal)<br>16.1. สังกะสี (Zn)                            | ไม่เกิน 5.0 มก./ล.                                                                                                                                              | Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP |

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

| ดัชนีคุณภาพน้ำ                                       | ค่ามาตรฐาน           | วิธีวิเคราะห์                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16.2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium) | ไม่เกิน 0.25 มก./ล.  |                                                                                                                                           |
| 16.3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)    | ไม่เกิน 0.75 มก./ล.  |                                                                                                                                           |
| 16.4. ทองแดง (Cu)                                    | ไม่เกิน 2.0 มก./ล.   |                                                                                                                                           |
| 16.5. แคดเมียม (Cd)                                  | ไม่เกิน 0.03 มก./ล.  |                                                                                                                                           |
| 16.6. แบเรียม (Ba)                                   | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.   |                                                                                                                                           |
| 16.7. ตะกั่ว (Pb)                                    | ไม่เกิน 0.2 มก./ล.   |                                                                                                                                           |
| 16.8. นิกเกิล (Ni)                                   | ไม่เกิน 1.0 มก./ล.   |                                                                                                                                           |
| 16.9. แมงกานีส (Mn)                                  | ไม่เกิน 5.0 มก./ล.   |                                                                                                                                           |
| 16.10. อาร์เซนิก (As)                                | ไม่เกิน 0.25 มก./ล.  | - Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP |
| 16.11. เซเลเนียม (Se)                                | ไม่เกิน 0.02 มก./ล.  | - Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP |
| 16.12. ปรอท (Hg)                                     | ไม่เกิน 0.005 มก./ล. | - Atomic Absorption Cold Vapour Technique                                                                                                 |

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539