การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า

Wastewater Treatment of Concentrated Latex and Block Rubber Production by Commercial Photosynthetic Bacteria

กนกวรรณ เสรีรักษ์

Kanokwan Sareerak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master Degree of Science in Biotechnology
Prince of Songkla University
2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2
เลขหมู่ TD755 ก32 2555
Bib Key 363337

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า

ผู้เขียน นางสาวกนกวรรณ เสรีรักษ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ชูฤทธิ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวกนกวรรณ เสรีรักษ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใด มาก่อน และไม่ได้นำมาใช้ในการยืนยันของอนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวกนกวรรณ เสรีรักษ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งโดย
แบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า

ผู้เขียน นางสาวกนกวรรณ เสรีรักษ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

ปี 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยางพาราโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า (ซุปเปอร์พีเอส) น้ำเสียที่ใช้มาจากบ่อปรับสภาพที่รวบรวมน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งทำการทดลองแบบกะ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ผลของปริมาณของเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า (0, 2, 4, 6, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร)) ผลของการให้แสง และผลของซัลเฟต (ความเข้มข้น 3,247-9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญและการกำจัดสารอินทรีย์ของซุปเปอร์พีเอส ผลการทดลองพบว่าปริมาณของเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้าที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) (คิดเป็น 1.6 $x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุดในวันที่ 10 สามารถลดซีโอดี ซัลเฟต ปริมาณของแข็งทั้งหมด ได้ 92.9, 82.5 และ 75.1 % ตามลำดับ และมีปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอสในระบบสูงสุดเท่ากับ 2.10 กรัมต่อลิตร และได้ศึกษาสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่าค่าคงที่ Michaelis (K_m) เท่ากับ 8.56 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร อัตราการย่อยสารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ (k) เท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน สัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (Y) เท่ากับ 0.009 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมซีโอดี อัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) เท่ากับ 0.0107 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_m) เท่ากับ 0.88 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีอัตราการเจริญเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Ks) เท่ากับ 27,041 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 24 ชั่วโมง (ให้แสงตลอดทั้งวัน) ให้การเจริญและกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด เมื่อทำการให้แสงจากทางด้านข้างและด้านบน พบว่ามีปริมาณเอ็มแอลวีเอส

เอส และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์มากกว่าการให้แสงจากทางด้านข้างเพียงอย่างเดียว และยังพบว่าความเข้มข้นของซัลเฟตเริ่มต้นในน้ำเสียสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและซัลเฟตลดลง โดยที่ความเข้มข้นของซัลเฟตเริ่มต้นในน้ำเสีย เท่ากับ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเจริญได้เล็กน้อย และลดซีโอดี ซัลเฟต ปริมาณของแข็งทั้งหมด ได้ 49.1, 55.0 และ 26.9%ตามลำดับ และมีปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอสในระบบ เท่ากับ 1.04 กรัมต่อลิตร

จากการทดลองในระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นและยางแท่งโดยใช้ Micro - aerobic SBR ที่ F/M ratio เท่ากับ 4, 6, 8 และ10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน โดยทำการควบคุม hydraulic retention time (HRT) ที่ 10 วันและ organic loading rate (OLR) ที่ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าที่ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซัลเฟต ปริมาณของแข็งทั้งหมดดีที่สุด เท่ากับ 94.4, 82.5 และ 75.6 % ตามลำดับ และมีปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอสในระบบ เท่ากับ 1.04 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองโดยใช้จุลินทรีย์ของตะกอนจากบ่อเติมอากาศของบริษัท อีฮับฮวด จำกัด เดินระบบที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 และ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ซัลเฟต และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ซุปเปอร์พีเอสเดินระบบที่ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ซุปเปอร์พีเอส ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงระหว่างหลอดไฟทังสเตนกับดวงอาทิตย์ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้าที่ใช้นี้มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยางพาราได้ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียและลดการใช้พลังงานจากการที่ไม่ต้องมีการให้อากาศ และเมื่อทำการศึกษาลักษณะชุมชนของเชื้อในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) พบว่าซุปเปอร์พีเอสมีจุลินทรีย์ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่สะสมกำมะถัน (1 สายพันธุ์: PSB1) และกลุ่มที่ไม่สะสมกำมะถัน (2 สายพันธุ์: PnSB1 และ PnSB2) ส่วนน้ำเสียเริ่มต้นที่ยังไม่ผ่านการบำบัดมีจุลินทรีย์ 7 สกุล คือ *Escherichia coli, Pseudovibrio sp.* JE062, *Desulfosarcina variabilis* DSM 2060,

Streptococcus suis 98HAH33, *Desulfomonaspigra* ATCC 29098T, *Desulfovibrio desulfuricans* และ *Desulfovibrio vulgaris*

Thesis title Wastewater Treatment of Concentrated Latex and Block Rubber Production by Commercial Photosynthetic Bacteria

Author Kanokwan Sareerak

Major Program Biotechnology

Academic Year 2012

Abstract

This research studied wastewater treatment of rubber industry using commercial photosynthetic bacteria (Super PS). Wastewater was obtained from equalizing pond that collected from processing of concentrated latex and block rubber. The effects of inoculum volume (0, 2, 4, 6, 8 and 10%, (v/v)), photoperiod and sulfate concentration (3,247 - 9,000 mg/L) on growth and organic removal were studied. The results showed that the inoculum volume of 6 % (v/v) ($1.6x10^6$cfu/mL) gave the highest efficiency for COD, sulfate and TSS removal of 92.9, 82.5 and 75.1%, respectively, after 10 days cultivation. The maximum MLVSS was found to be 2.10 g/L. The kinetic coefficients for organic digestion were determined in the following parameters. Michaelis constant (Km), the maximum rate of substrate degradation (k), yield coefficient (Y), bacteria decay rate (kd), maximum specific growth rate (μm) and half velocity coefficient (Ks) were 8.56 mg-COD/L, 0.44 mg-COD/mg-MLVSS/d, 0.009 mg-MLVSS/mg-COD, 0.0107 mg-MLVSS/mg-MLVSS/d, 0.88 mg-MLVSS/mg-COD and 27,041 mg-COD/L, respectively. Also it was found that the photoperiod at 24 hours gave the highest growth and organic removal. Lighting from two sides and top of reactor gave higher MLVSS and COD removal than only from two sides of reactor. Moreover, it was found that at higher initial sulfate concentration gave lower COD and sulfate removal. At the initial sulfate of 9,000 mg/L, photosynthetic bacteria could slightly grow but they still had efficiency for COD, sulfate and TSS removal of 49.1, 55.0 and 26.9%, respectively. MLVSS was found to be 1.04 g/L.

The effect of food to microorganism ratio (F/M ratio) (at 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d) on the treatment of concentrated latex industrial wastewater using micro-aerobic SBR (Sequencing Batch Reactor) was carried out at hydraulic retention time (HRT) of 10 days and organic loading rate (OLR) of 2 g-COD/m^3/d. The optimum condition was found at F/M ratio of 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, which gave the highest efficiency for COD, sulfate and TSS removal of

94.4, 82.5 and 75.6%, respectively with MLVSS of 1.04 g/L. Moreover, the experiment using sludge from aerobic pond of E-Hub Huad Company was operated at F/M ratio of 0.4 and 8 mg-COD/mg-MLVSS/d compared with using Super PS at F/M ratio of 8 mg-COD/mg-MLVSS/d. It was found that removal of COD, sulfate and TSS with the sludge, that had been acclimatized in the activated sludge system in the laboratory, was lower than the experiment with Super PS. Also, the efficiency of wastewater treatment using Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp was slightly different. These results indicated that the commercial photosynthetic bacteria were effective for treatment of wastewater of rubber industry. This might be the option for wastewater treatment and reduced the energy consumption required for aeration. Microbial community in wastewater treatment system using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) was investigated. It showed that purple sulfur photosynthetic bacteria (1 strain: PSB1) and purple non sulfur photosynthetic bacteria (2 strains: PnSB1 and PnSB2) The raw wastewater (at the initial stage without Super PS) had 7 strains; *Escherichia coli, Pseudovibrio sp.* JE062, *Desulfosarcina variabilis* DSM 2060, *Streptococcus suis* 98HAH33, *Desulfomonaspigra* ATCC 29098T, *Desulfovibrio desulfuricans* and *Desulfovibrio vulgaris*.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย และเป็นกำลังใจในการค้นคว้าและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ชูฤทธิ์ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (TRF Master Research Grants: TRF-MAG) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและทุนวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการค้นคว้าวิจัย รวมถึงบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และซุปเปอร์พีเอสที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ กรรมการผู้จัดการ และเจ้าหน้าที่บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) และบริษัทอีฮับฮวด จำกัด ทุกท่าน ที่สนับสนุนวัตถุดิบ และข้อมูลการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ประสิทธิประสาทวิชาทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ตั้งแต่ระดับอนุบาลจนถึงระดับอุดมศึกษา ที่ได้มอบความรู้ ความเข้าใจในวิชา หรือแขนงวิชาต่างๆ และเปิดโอกาสให้ได้กล้าคิด กล้าทำ กล้าแสดงออก รวมถึงอบรมให้ข้าพเจ้าเป็นหนึ่งในคนดีของสังคม

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติๆ สำหรับการสนับสนุนด้านการเงิน และเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ บัณฑิตศึกษาทุกคน และนายธีระพงศ์ ศรีระสันต์ ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

กนกวรรณ เสรีรักษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... 5

Abstract..... 8

กิตติกรรมประกาศ..... 10

สารบัญ..... 11

LIST OF TABLES..... 13

LIST OF FIGURES..... 14

บทที่

1 บทนำ.....

บทนำต้นเรื่อง..... 1

การตรวจเอกสาร

- ธรรมชาติและองค์ประกอบของน้ำยางพารา..... 3
- กระบวนการผลิตน้ำยางข้น..... 5
- ซัลเฟต..... 9
- การใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นทางชีวภาพ..... 10
- ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge System)..... 12
- ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)..... 13
- แบคทีเรียสังเคราะห์แสง..... 16
- การนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้การบำบัดน้ำเสียและของเสีย..... 23
- ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง..... 24
- เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)..... 30

2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

- วัสดุ 33
- อุปกรณ์ 33
- วิธีการวิเคราะห์ 35
- วิธีการทดลอง 40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง..... 48

3.2 ปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสีย..... 51

3.3 ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดย แบคทีเรียสังเคราะห์แสง..... 58

3.4 ศึกษาผลของแสงต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอส..... 65

3.5 ศึกษาผลของซัลเฟตต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอส..... 75

3.6 ศึกษาหาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batc Reactor..... 80

4 สรุปผลการทดลอง

- บทสรุป..... 98
- ข้อเสนอแนะ..... 100

เอกสารอ้างอิง..... 101

ภาคผนวก..... 106

ประวัติผู้เขียน..... 111

LIST OF TABLES

Table		Page
1	Components of natural rubber latex.....	3
2	Characteristics of wastewater from concentrated latex industry.....	9
3	Characteristics of photosynthesis bacteria.....	21
4	Characteristics of wastewater from wastewater treatment system at E-Hub Huad Co., Ltd.	50
5	Effect of amount of Super PS as inoculums on efficiency of wastewater treatment.....	57
6	Specific rate of substrate degradation for 6% (v/v) Super PS in rubber industrial wastewater treatment in batch system.....	58
7	COD and MLVSS in rubber industrial wastewater system with 6% (v/v) Super PS for determination $\frac{dS}{Xt}$ and $\frac{dX}{Xt}$	60
8	COD and ϕ_c in rubber industrial wastewater system with 6% (v/v) Super PS for determination $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$	62
9	Kinetic coefficients in rubber industrial wastewater treatment in batch system with 6% (v/v) Super PS	64
10	Effect of light direction on efficiency of rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux.....	75
11	Comparison of wastewater treatment system between ctivated sludge from E-hub huad Co., Ltd and Super PS.....	90
12	Efficiency of wastewater treatment between the sun and the light from a tungsten lamp...	94
13	Sequence analysis of dominant bands excised from DGGE gels derived from bacterial 16S rDNA gene amplicons (% - percentage of similarity between the 16S rRNA gene of dominant band and the closest relative in the NCBI database).....	97

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	Concentrated latex production and wastewater resulting from the manufacturing Process.....	4
2	Activated Sludge system.....	12
3	Cycle of sequencing batch reactor.....	12
4	Brief classification of anoxygenic phototrophic bacteria.....	18
5	The shape of the photosynthetic bacteria through a microscope.....	19
6	Moving on to the polyacrylamide gels of DNAby Denaturing Gradient Gel Electrophoresis.....	31
7	Diagram of reactor for the culture of photosynthetic bacteria.....	34
8	Reactor for the culture of photosynthetic bacteria with tungsten light.....	34
9	Diagram of micro-aerobic sequencing batch reactors with tungsten light at 4000 lux	35
10	Diagram of all the experiment.....	47
11	Diagram and sampling points (1-6) from the wastewater treatment processof E-Hub Huad Co., Ltd., Songkhla, Thailand.....	49
12	The growth of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the G-5 medium	51
13	Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment (a) concentration of COD and (b) % COD removal in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	53
14	Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the efficiency of rubber Industrial wastewater treatment (a) concentration of sulfate and (b) % sulfate removal in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	54
15	Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment TSS removal in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	55
16	Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on MLVSS of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	56

LIST OF FIGURES

Figure		Page
17	Relationship between $\frac{1}{\mu}$ and $\frac{1}{COD}$ in rubber industrial wastewater system with 6 % Super PS for determination of Km and k	59
18	Relationship between $\frac{dS}{Xt}$ and $\frac{dX}{Xt}$ in rubber industrial wastewater system with 6 % Super PS for determination of Y and k_d	61
19	Relationship between COD (S) and $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$ in rubber industrial wastewater system with 6 % Super PS for determination of μ_m and Ks.....	63
20	Effect of lighting period on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux (a)concentration of COD and (b) % COD removal.....	66
21	Effect of lighting period on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux (a) concentration of sulfate and (b) % sulfate removal.....	67
22	Effect of lighting period on the efficiency of TSS removal in rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux	68
23	Effect of lighting period on MLVSS in rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux	69
24	Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor (a)concentration of COD and (b) % COD removal of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	71
25	Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor (a) concentration of sulfate and (b) % sulfate removal of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	72

LIST OF FIGURES

Figure		Page
26	Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor on TSS removal of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	73
27	Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor on MLVSS of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux.....	74
28	Effect of sulfate concentrations of Super PS on % COD removal of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system.....	76
29	Effect of sulfate concentrations of Super PS on % sulfate removal of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system.....	77
30	Effect of sulfate concentrations of Super PS on % TSS removal of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system.....	78
31	Effect of sulfate concentrations of Super PS on MLVSS of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system.....	80
32	The MLVSS in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) and F/M adjustment at light intensity 4,000 lux.....	82
33	Effect of % COD removal in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) at light intensity 4,000 lux.....	84

LIST OF FIGURES

Figure		Page
34	Effect of % sulfate removal in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) at light intensity 4,000 lux.....	85
35	Effect of % TSS removal in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) at light intensity 4,000 lux.....	86
36	Color of wastewater before and after with and without Super PS.....	87
37	Comparison wastewater treatments using sludge from aerobic pond of E-Hub Huad Company between F/M ratio as 0.4 and 8 mg-COD/mg-MLVSS/d at DO 2 mg/L, OLR of 2 g-COD/L/d and HRT of 10 day.....	89
38	MLVSS concentration of micro-aerobic SBR system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day).....	91
39	Figure 39 Effect of % COD removal in Micro-aerobic SRB system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day).....	93
40	Effect of % sulfate removal in Micro-aerobic SRB system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day).....	93
41	Effect of % TSS removal in Micro-aerobic SRB system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day.....	94

LIST OF FIGURES

Figure **Page**

34 DGGE file, M: Marker; Lane1: Untreated wastewater; Lane2: Super PS; Lane 3- 7: wastewater samples from micro-aerobic SRB at the cultivation of 7, 14, 21, 28 and 35 96

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในภาคใต้ของประเทศไทย จึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมมากมายที่เกี่ยวข้องกับยางพารา เช่น น้ำยางข้น ยางแท่ง ยางแผ่น ยางรมควัน ถุงมือยาง ยางรถยนต์ และชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ปี 2550 ประเทศไทยส่งออกยางพาราทั้งสิ้น 2.050 ล้านตัน มูลค่าการส่งออกสูงถึง 153,429 ล้านบาท โดยในจำนวนนี้เป็นน้ำยางธรรมชาติ 0.027 ล้านตัน น้ำยางข้น 0.436 ล้านตัน ยางแท่ง 0.681 ล้านตัน และยางธรรมชาติอื่น ๆ 0.148 ล้านตัน (สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจะมีมากบริเวณภาคใต้ตอนล่างและภาคตะวันออกของประเทศ

การแปรรูปน้ำยางสดและน้ำยางข้นมีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดน้ำเสียไม่ว่าจะกระบวนการล้างทำความสะอาด การเติมสารเคมี เช่น กรดซัลฟิวริก เพื่อให้น้ำยางจับตัว เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณของซัลเฟตสูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น โดยน้ำเสียมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 3,500-14,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชอยู่ในช่วง 3.7-5.5 มีปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วง 500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mohammadi *et al.*, 2010) และปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในก๊าซชีวภาพ อีกทั้งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระจะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน ทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพลดลง และเมื่อนำก๊าซชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ จะทำให้เกิดการผุกร่อนของเครื่องจักร

ปัจจุบันมีการวิจัยพอสมควรในการหาแนวทางบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น การใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเป็นแนวทางหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย การใช้ซุปเปอร์พีเอส ผลิตโดยบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของซัลเฟตสูงของโรงงานน้ำยางข้น เนื่องจากซุปเปอร์พีเอส เป็นแบคทีเรียกลุ่มสังเคราะห์แสงมี

ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปลอดเชื้อที่เป็นโทษ ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ

งานวิจัยครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) เพื่อทำการศึกษาการใช้ซุปเปอร์พีเอสในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ซึ่งทางบริษัทดังกล่าว สามารถนำผลการวิจัยไปสนับสนุนประสิทธิภาพของซุปเปอร์พีเอส และยังเป็นการเพิ่มโอกาสหรือช่องทางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ของ บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) อีกด้วย

การตรวจเอกสาร

1. ธรรมชาติและองค์ประกอบของน้ำยางพารา

น้ำยางธรรมชาติเป็นของเหลวคล้ายน้ำนมจากการกรีดต้นยาง มีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นคล้ายน้ำนม มีอนุภาคขนาด 0.05-0.5 ไมครอน ในน้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-45 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ฤดูกาล และกรรมวิธีกรีดยาง โดยทั่วไปน้ำยางสดประกอบด้วยสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดร้อยละ 36 เนื้อยางแห้งร้อยละ 33 โปรตีน และไขมันร้อยละ 1.0-1.2 คาร์โบไฮเดรต และเถ้าร้อยละ 1.0 ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 ซึ่งต้องนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ และมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่าน้ำยางสด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ส่วนประกอบร้อยละโดยปริมาตรของน้ำยางสด แสดงดังตารางที่ 1

Table 1. Components of natural rubber latex

Components	volume percent
Total solid	**36.0**
cis-1,4-polyisoprene	33.0
Amino acid and N – base	-
Neutral lipid	-
Protein	1.0-1.5
Phospholipids	-
Inositols-carbohydrates	-
Resin (soluble in acetone)	1.0-2.5
Ash	1.0
Sugar	1.0
Salt, potassium, phosphorus and magnesium	-
Water	**55.0-65.0**

ที่มา: กัลยา ศรีสุวรรณ (2540)

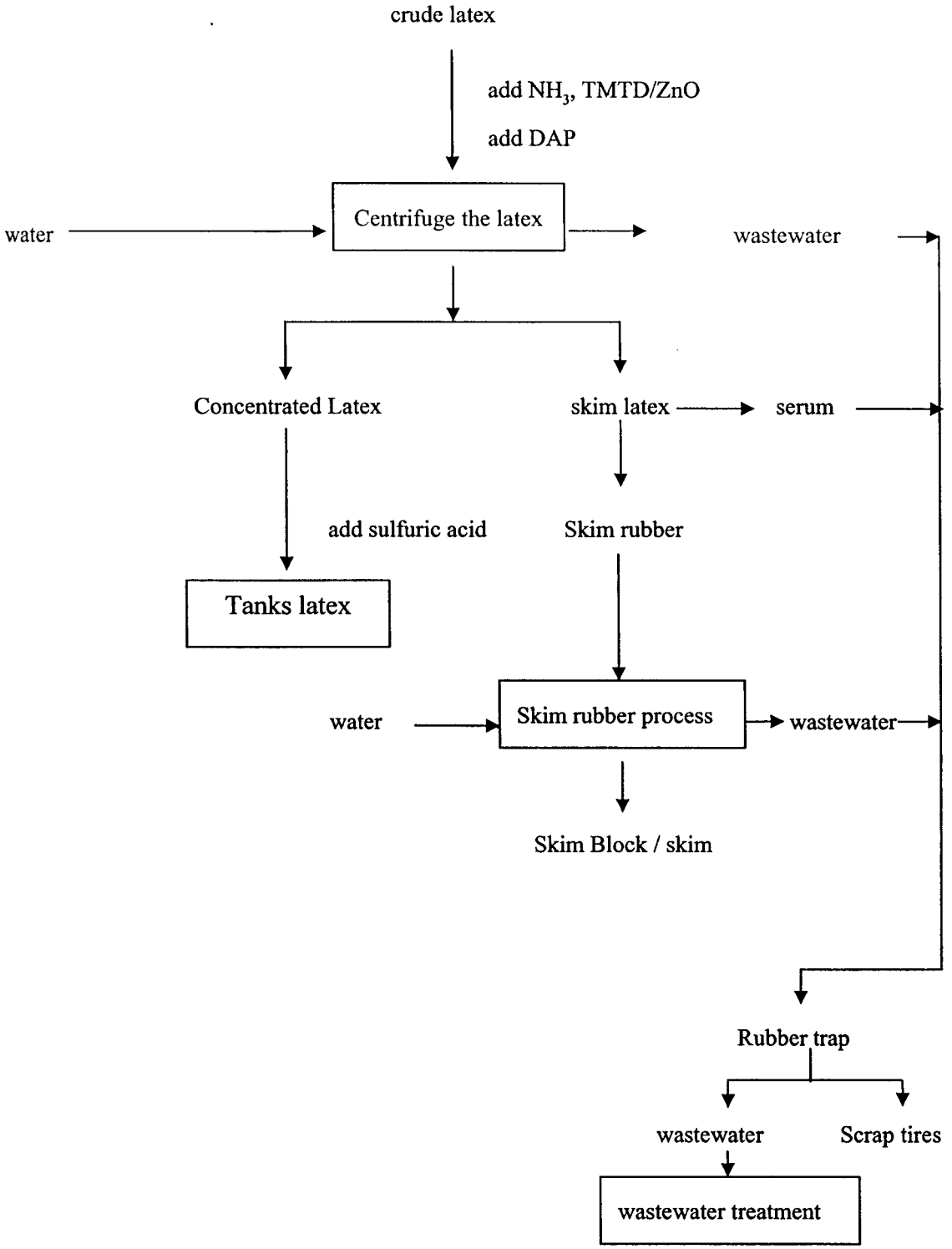


Figure 1. Concentrated latex production and wastewater resulting from the manufacturing process

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2. กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) ไม่ต่ำกว่า 60% การผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ (1) วิธีระเหยด้วยน้ำ (evaporation) (2) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) (3) วิธีปั่นแยก (centrifuging) และ (4) วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงและมีรายละเอียดการผลิตแสดงดังภาพที่ 1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

(1) การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัว ด้วยแอมโมเนียและ TMTD/ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสดจากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกลิ่นเหม็นของไอระเหยแอมโมเนีย เนื่องจากการฟุ้งกระจายของแอมโมเนียระหว่างการถ่ายน้ำยางสด นอกจากนี้ จำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดทุกวัน เนื่องจากมีการเติมสารเคมีช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียมและมีการจับตัวของยางที่ผนังบ่อ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางสดมีการปนเปื้อนได้

(2) การเตรียมน้ำยางสด ต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการปั่น แยกด้วยการเติมแอมโมเนีย เพื่อให้น้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4% โดยน้ำหนักและเติม diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นขี้แป้ง และทิ้งไว้ 1 คืน สำหรับน้ำยางที่มีแมกนีเซียมสูง สำหรับน้ำยางที่จะนำมาปั่นแยก ควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm และเมื่อปั่นแล้วไม่ควรเกิน 20 ppm นอกจากนี้ ปริมาณกรด (Volatile Fatty Acid :VFA) ไม่ควรเกิน 0.05% หากเกิน ให้นำไปผสมกับน้ำยางสดที่มีค่าไม่เกิน 0.05% แอมโมเนีย

(3) การปั่นแยก อาศัยหลักการ คือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคของยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนี่ยน ซึ่งอัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้น การปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรุ่ม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางข้น โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% เครื่องปั่นยางขนาดเล็ก สามารถป้อนน้ำยางสดได้ประมาณ 150 ลิตร/ชั่วโมง ส่วนเครื่องขนาดใหญ่สามารถป้อนน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมง และในการปั่นแยกยางจะมีการล้างเครื่องปั่นยางทุกๆ 2 หรือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากการอุดตันของยางและกากขี้แป้งบริเวณหัวโบว์ลของเครื่องปั่นยาง โดยในการล้างแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการล้างนานประมาณ 10-15 นาที

(4) การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง หางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นยางจะถูกนำไปไล่แอมโมเนียออก เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการตกตะกอนเพื่อผลิตยางสกิมเนื่องจากถ้า

หางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการตกตะกอนเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง ด้วยการใช้ถาดไล่แอมโมเนียหรือเครื่องกวน

(5) การผลิตยางสกิม หางน้ำยางที่ผ่านการไล่แอมโมเนียแล้ว จะถูกเติมด้วยกรดซัลฟูริกเพื่อให้เนื้อยางจับตัวกันในขั้นตอนนี้จะได้ก้อนยางสกิมที่จับตัวกันและสามารถนำไปขายได้ นอกจากนี้ก้อนยางสกิมนี้สามารถนำไปผลิตเป็นยางสกิมเครพหรือสกิมบล็อคต่อไป ดังนี้

- การผลิตยางสกิมเครพ โดยการนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำ เพื่อชำระกรดออกจากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำไปอบในเตาอบแล้วบรรจุหีบห่อ

- การผลิตยางสกิมบล็อค โดยการนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำเพื่อชำระกรดออก จากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำยางไปตัดด้วยเครื่องตัดย่อยแล้วนำไปอบในเตาอบ นำมาอัดแท่งและบรรจุหีบห่อ

(6) การดักยาง (แยกยางขายจากบ่อ) เป็นการดักจับเนื้อยางที่ปะปนมากับน้ำเสียจากขบวนการต่างๆ เช่น การตกค้างในบ่ารับน้ำยางสดเครื่องปั่นยาง และบ่อเก็บน้ำยางข้น ด้วยการเติมโพลิเมอร์ต่างๆ หรือจากบ่อดักยาง ซึ่งยางที่ได้จะสามารถนำไปขายในราคาที่ต่ำ เนื่องจากมีคุณภาพไม่ดี

(7) การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ในกรณีที่โรงงานไม่ได้ใช้แอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียแห้งหรือแอมโมเนียเหลว แต่ใช้ในรูปสารละลายแอมโมเนียหรือน้ำแอมโมเนีย โรงงานจะต้องเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นประมาณ 10% ซึ่งในการเตรียมสารละลายแอมโมเนียผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน และส่งผลให้แอมโมเนียระเหยออกจากสารละลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น

2.1 การใช้ทรัพยากรและพลังงานในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ปริมาณการใช้ทรัพยากร ซึ่งได้แก่ วัตถุดิบ น้ำและพลังงาน ตลอดจนการเกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.1.1 การใช้วัตถุดิบ

(1) น้ำยางสด เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้น โดยน้ำยางสด 100 ตัน สามารถผลิตน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางแห้ง 60% ประมาณ 40 ตัน และหางน้ำยาง 60 ตัน

(2) สารเคมี

- ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอตเฟต (DAP) จะต้องทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 คืน โดยปริมาณการใช้ DAP นั้นขึ้นกับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด คือ ถ้าในน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมมากจะต้องใช้ DAP มากและปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับดินที่ปลูกยางพารา คือ ถ้าดินมีปริมาณแมกนีเซียมสูง จะทำให้น้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียม

สูงด้วย โดยน้ำยางสดที่นำมาปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm ของแข็งทั้งหมด และปริมาณการใช้ DAP ต่อปริมาณแมกนีเซียม คือ Mg: DAP = 1:5.5

- แอมโมเนีย เป็นสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางโดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยางแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) การรักษาสภาพน้ำยางสดที่กรีดได้ก่อนส่งโรงงานซึ่งจะใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นประมาณ 15-20% โดยน้ำหนักและ (2) การรักษาคุณภาพน้ำยางข้นซึ่งจะเติมหลังจากการปั่นแยก โดยในการเติมปริมาณแอมโมเนียแบ่งตามประเภทการผลิตน้ำยางข้น คือ น้ำยางข้นชนิด Low Ammonia (LA) : เติมแอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นในปริมาณแอมโมเนียที่น้อยกว่า 0.29 % ของน้ำยาง และน้ำยางข้นชนิด High Ammonia (HA) :เติมปริมาณแอมโมเนีย 0.3-0.7 % ของน้ำยาง

- กรดซัลฟูริก เป็นสารเคมีที่ใช้ในการจับตัวของหางน้ำยาง แต่การใช้กรดซัลฟูริกที่มากเกินไปจะทำให้ยางเปื่อยและเสื่อมง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ยางสกิมไม่ได้คุณภาพ นอกจากนี้ปริมาณกรดซัลฟูริกมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางที่เข้าบ่อจับตัว คือ ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมากจะต้องเติมปริมาณกรดซัลฟูริกมากด้วย ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมในการจับตัวของยางสกิม คือ 24 ชั่วโมง ถ้าจำเป็นต้องจับตัวด้วยเวลาที่น้อยกว่านี้จะต้องใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกมากขึ้น

2.1.2 การใช้น้ำ

การใช้น้ำในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนสำนักงานและสายการผลิต เช่น ล้างบ่อรับน้ำยางสด ล้างเครื่องปั่นยาง ล้างบ่อเก็บน้ำยางข้น และล้างพื้น เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการล้างเครื่องปั่นยางมีอัตราการใช้น้ำสูงที่สุดและมีการใช้น้ำสิ้นเปลืองที่สุด เนื่องจากจะต้องมีการล้างเครื่องปั่นยางทุก 2-3ชั่วโมง

2.1.3 การใช้พลังงาน

การใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆส่วน สำนักงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร โทรสาร ส่วนสายการผลิต มีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า คือ เครื่องปั่นแยกน้ำยางข้น โดยเครื่องปั่นแยกน้ำยางที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 ระบบ ได้แก่ ระบบใช้เกียร์และคลัช และระบบที่สามารถปรับความเร็วรอบของเครื่องปั่นได้

2.1.4 ปัญหาจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

2.1.4.1 มลพิษทางอากาศและกลิ่น ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น

(1) กลิ่นแอมโมเนียโดยแหล่งที่มาของกลิ่น

- ถังบรรจุแอมโมเนีย จากการหกล้นระหว่างการถ่ายจากถังบรรจุของโรงงานลงสู่ถังชาวสวน และระหว่างการเตรียมสารละลายแอมโมเนียอันเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำกับแอมโมเนีย

- การรับน้ำยางสด ไอระเหยแอมโมเนียที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายน้ำยางสดจากรถบรรทุกสู่บ่อรับน้ำยางสด

- การปั่นยาง สารละลายแอมโมเนียที่ใช้มีความเข้มข้นสูง และการถ่ายเทอากาศในห้องปั่นยางไม่ดี

- กระบวนการสกิมเป็นการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยางจากถาดไล่แอมโมเนีย

(2) กลิ่นเหม็นภายในโรงงานเป็นกลิ่นเหม็นที่ผสมปนกับก๊าซชนิดต่างๆ โดยมากแล้วเป็นก๊าซที่มีองค์ประกอบของสารประกอบซัลเฟอร์และไนโตรเจน โดยแหล่งที่มาของกลิ่นเหม็น คือ น้ำเสีย

2.1.4.2 น้ำเสียจากสายการผลิตมีแหล่งที่มาแตกต่างกัน(กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

(1) บ่อรับน้ำยางสด

- น้ำล้างทำความสะอาดรถบรรทุกน้ำยางสดของชาวสวน

- น้ำล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยาง

- น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดน้ำยางสดที่หกเลอะเทอะ

(2) การปั่นยาง

- น้ำล้างหัวปั่นน้ำยาง ต้องล้างทุก 2-3 ชั่วโมงเนื่องจากการอุดตันของหัวปั่นน้ำยางและการอุดตันของขี้ยางที่ท่อจ่ายน้ำยาง

- น้ำเสียจากการล้างน้ำยาง ที่ล้นจากเครื่องปั่นน้ำยาง ระหว่างกระบวนการปั่นยาง

(3) กระบวนการสกิม

- น้ำซีรัม ซึ่งมีปริมาณเนื้อยาง DRC 4-6 % ส่วนประกอบที่เหลือเป็นน้ำหลังจากตกตะกอนยางสกิมแล้วน้ำซีรัมจะถูกปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

- น้ำจากเครื่องรีดยาง เป็นน้ำที่ฉีดพ่นในการรีดยางเพื่อล้างกรดซัลฟูริกที่ติดอยู่ที่ยางสกิมเพื่อให้ยางสกิมที่ได้มีคุณภาพดี

- น้ำล้างจากการทำฝอย เป็นน้ำที่ฉีดสู่ถาดรับยางฝอยเพื่อรักษาสภาพยางฝอยให้เหมาะก่อนเข้าถาดอบแห้ง

(4) ถังน้ำยางข้น

- น้ำจากการล้างทำความสะอาดถัง เพื่อลดการปนเปื้อนของน้ำยางข้น

Table 2. Characteristics of wastewater from concentrated latex industry

Parameters	Values			
	1	2	3	4
pH	5.72	1.56-2.15	4.7±2.7	4.25±0.04
Temperature (°C)	30.0	25-27	28.7±2.7	-
BOD_5 (mg/L)	4,430	1,482-2,500	3,867±1,687	7,320±15
COD (mg/L)	7,996	2,245-5,700	5,537±1,005	12,050±17
Total suspended solids (TSS) (mg/L)	1,128	265-468	501.3±129.9	-
Total sulfide(mg/L)	< 1	-	28.1±8.2	-
Hydrogen Sulfide (mg/L)	< 1	-	-	-
Sulfate(mg/L)	1,102	-	2,167±424	8,800±25

ที่มา: [1]กรมควบคมมลพิษ (2548)
[2]ไซฟุตดีน แหละ (2550)
[3]ยศวริศ เขตอนันต์(2551)
[4]ป.จิรวัฒน์ จันทร์ทอง(2552)

3. ซัลเฟต

ซัลเฟต พบได้ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากเหมืองต่างๆ ผู้บริโภคที่ดื่มน้ำที่มีซัลเฟตปริมาณมากจะก่อให้เกิดการระบายท้องขึ้นได้ ในทางอุตสาหกรรมซัลเฟตก็มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวทำให้เกิดตะกรันในหม้อน้ำ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นและการกัดกร่อนในท่อน้ำเสีย อาจเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตกลายเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ (วีระชาติ อินทร์ทอง, 2551)

3.1 การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่บำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหาการสึกกร่อนของอุปกรณ์โลหะ ปัญหาเป็นพิษต่อแบคทีเรียผลิตมีเทนและทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนลดลง รวมทั้งมีผลต่อระบบเติมอากาศที่ตามหลัง เนื่องจากซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์ที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ นอกจากนั้นเมื่อนำก๊าซชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปใช้ประโยชน์จะมีปัญหาการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องทำความสะอาดกาซชีวภาพก่อนนำไปใช้ (วีระชาติ อินทร์ทอง, 2551)

3.2 ผลของความเข้มข้นซัลเฟต

ซัลเฟตเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงแบคทีเรีย purple non-sulfur bacteria (PnSB) เนื่องจากหากมีซัลเฟตในน้ำเสียมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียชนิดนี้ (Hansen and Germerden, 1972) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าหากน้ำเสียมีความเข้มข้นของซัลเฟตสูง จะทำให้ sulfate reducing bacteriaเจริญขึ้นมาแทนที่และปล่อยสารพิษมายับยั้งการเจริญของ PnSB (Honda, 2005)

4. การใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นทางชีวภาพ

จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมยางประเภทต่างๆ เช่น โรงงานผลิตยางแท่ง โรงงานผลิตน้ำยางข้น โรงงานผลิตยางแผ่นรมควัน และโรงงานผลิตยางเครพ ของศูนย์วิจัยยาง สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8 จังหวัดสงขลา พบว่าโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีปัญหามลพิษมากกว่าโรงงานอื่นๆเนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบรวมทั้งกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการจับตัวของหางน้ำยางซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดมลพิษและกลิ่นเหม็นมากขึ้นโดยน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะเริ่มตั้งแต่บ่อรับน้ำยางบ่อพักน้ำยาง ล้างเครื่องปั่น ล้างถังเก็บรวมไปถึงน้ำล้างพื้นและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆน้ำทิ้งเหล่านี้หากไม่มีการควบคุมดูแลให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานย่อมส่งผลเสียต่อชื่อเสียงของโรงงานอุตสาหกรรมยางไทยแนวทางหนึ่งที่จะช่วยกันลดมลภาวะรวมทั้งรักษาภาพพจน์และชื่อเสียงของไทยไว้ได้ ก็คือการใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจากการสำรวจโรงงานน้ำยางข้นพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นมีอยู่ 5 ระบบในแต่ละระบบจะมีข้อดีและข้อเสียและคุณภาพของน้ำทิ้งที่สามารถนำมาพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับโรงงานและสถานที่ตั้งได้ดังนี้ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ระบบที่ 1 บ่อหมัก+บ่อกึ่งหมัก เป็นระบบที่เสียค่าใช่จ่ายในการเดินระบบต่ำ แต่ใช้พื้นที่มาก มีกลิ่นเหม็น น้ำทิ้งส่วนใหญ่จะไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้ง

ระบบที่ 2 บ่อหมัก+บ่อเติมอากาศ เป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ แต่เสียค่าไฟฟ้าสูงถ้าดูแลไม่ดีน้ำจะมีกลิ่นเหม็น และน้ำทิ้งไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน

ระบบที่ 3 ระบบเอเอสแบบเติมอากาศในบ่อดิน ระบบนี้ไม่มีกลิ่นเหม็นและใช้พื้นที่ในการบำบัดน้อย แต่เสียค่าไฟฟ้าสูง

ระบบที่ 4 ระบบเอเอสแบบเติมอากาศในบ่อคอนกรีต ระบบนี้ไม่มีกลิ่นเหม็น ใช้พื้นที่ในการบำบัดน้อย แต่เสียค่าไฟฟ้าสูง ทั้งค่าก่อสร้างก็แพงกว่าระบบที่ 3

ระบบที่ 5 ระบบถังหมักไร้อากาศ + ระบบเอเอส เป็นระบบที่ไม่มีกลิ่นเหม็น ใช้พื้นที่น้อย เสียค่าไฟฟ้าต่ำ แต่ค่าก่อสร้างสูง การเดินระบบจึงต้องอาศัยผู้ชำนาญการ

ทั้ง 5 ระบบที่กล่าวมานี้ โรงงานส่วนใหญ่จะนิยมใช้ระบบที่ 2 คือ ระบบบ่อหมัก+บ่อเติมอากาศ เพราะมีต้นทุนต่ำ แม้จะเป็นระบบที่มีกลิ่นเหม็นและมีน้ำทิ้งไม่ได้คุณภาพ แต่ก็สามารถพัฒนาโดยนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้บำบัดน้ำเสียโดยการใช้น้ำหนักชีวภาพเพื่อลดกลิ่นเหม็น หรือใช้ร่วมกับสารเคมี เช่น พอลิเมอร์ในการจับตัวยาง จะทำให้คุณภาพของน้ำทิ้งดีขึ้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานของน้ำเสียหรือความสกปรกที่วัดได้จะต้องมีค่า BOD_5 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร การหาค่า BOD_5 หรือความสกปรกของน้ำทิ้งแต่ละชนิดนั้นทำได้ยากและไม่สามารถวัดได้ทันที แต่สามารถหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้เพื่อใช้ย่อยสลายสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง เช่น พวกแป้ง โปรตีน แอมโมเนีย ไนไตรท์และซัลไฟต์ ที่ระยะเวลา 5 วัน ตามมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำเสีย จากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์ ถ้าค่า BOD_5 มาก ก็แสดงว่ามีความสกปรกอยู่ค่อนข้างสูง โดยปกติแล้วน้ำทิ้งส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกหลายชนิดปะปนอยู่จึงทำให้มีออกซิเจนในน้ำลดลง แต่ก็สามารถควบคุมความสกปรกของน้ำทิ้งได้ด้วยการเดินเครื่องเติมอากาศลงในบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้มากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า BOD_5ซึ่งจะช่วยให้การบำบัดน้ำเสียมีสภาพน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

สมทิพย์ ด่านธีระวนิชย์ และคณะ (2545) กล่าวว่าโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้สามารถแบ่งกลุ่มประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ

(1) กลุ่มที่มีการใช้บ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) โดยมีบ่อไร้อากาศ บ่อกึ่งอากาศ และบ่อมีอากาศ

(2) กลุ่มที่มีการใช้บ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ร่วมกับบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

(3) กลุ่มที่มีการใช้ระบบบำบัดที่เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง ได้แก่ การใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (ActivatedSludge : AS), ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) หรือการใช้วิธี Land Application

5. ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge System)

ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นจนเป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย พร้อมทั้งมีการประยุกต์ระบบให้สอดคล้องต่อการใช้งานได้มากขึ้น ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ มีรูปแบบปลีกย่อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการจัดวาง และรูปแบบของถังเติมอากาศ แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกัน คือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยา (aeration tank) ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน (sedimentation tank) น้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศ เพื่อทำปฏิกิริยากับแบคทีเรีย (ภาพที่ 2) อัตราการทำลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจะสลายสารอินทรีย์และสิ่งสกปรกในน้ำเสียเป็นอาหารและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีมากจนจับเป็นตะกอนชิ้นใหญ่ ๆ มีสีน้ำตาลเข้ม น้ำผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศเรียกว่า Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจะได้น้ำทิ้งที่ใส และมีค่าความสกปรกต่ำจนผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งส่วนตะกอนที่จมอยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่ถูกสูบเข้าถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่เกิดขึ้นก็จะต้องนำไปกำจัดต่อไป (พนาลี ชีวกิดาการ, 2550)

ในอดีตระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ที่นิยมใช้กันมาก คือ ระบบแบบเติมอากาศแบบสมบูรณ์ (complete - mixed) แบบขั้นตอนเดียว ซึ่งมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้ตะกอนเข้ากับน้ำเสียเป็นเนื้อเดียวกันได้ตลอดทั้งถัง อาจเป็นถังสี่เหลี่ยม หรือ ทรงกลมก็ได้ระบบนี้จะมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูง สามารถลดค่า BOD_5 (biochemical oxygen demand) ของน้ำเสียได้ร้อยละ 80-95 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และปัจจัยควบคุมการทำงานของระบบ แต่ระบบนี้ จะทำให้เกิดตะกอนเหลือทิ้งจำนวนมาก และมักพบปัญหาตะกอนสายใย และ ตะกอนยกตัวในถังตกตะกอน (พนาลี ชีวกิดาการ, 2550)

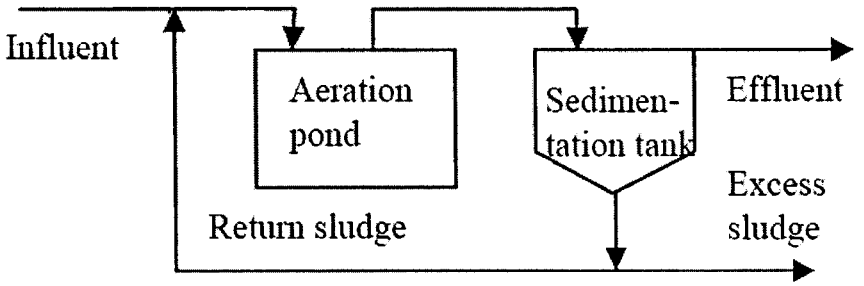


Figure 2. Activated Sludge system

ที่มา: Thonglimp *et al.* (2005)

6. ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาระบบโดยการแยกถังตกตะกอนออกจากถังเติมอากาศเป็นการหมุนเวียนตะกอนออกจากถังเติมอากาศ มีการควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M Ratio) หรือค่าอายุตะกอน (sludge retention time, SRT) และมีการระบายตะกอนบางส่วนออกจากระบบ เพื่อรักษาความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศให้เหมาะสม แต่การควบคุมระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดประเภทหนึ่งในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีการทำงานไม่ยุ่งยากและซับซ้อน (กฤษณะ รักวงศ์, 2552)

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่มีจุลินทรีย์อยู่ในระบบมีลักษณะเป็นตะกอนแขวนลอย กระบวนการทำงานของระบบเป็นแบบกะ (batch) ใช้ถังปฏิกรณ์ทำหน้าที่เป็นทั้งเติมอากาศและถังตกตะกอน การทำงานเริ่มต้นจากสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ที่มีจุลินทรีย์อยู่จนเต็มถัง แล้วทำการเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ในการกำจัดน้ำเสียเมื่อเติมอากาศได้ระยะหนึ่งจะทำการหยุดการเติมอากาศ เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและแยกออกจากน้ำ จากนั้นทำการปล่อยน้ำใสทิ้งให้เหลือเฉพาะจุลินทรีย์อยู่ในระบบ ระบบเอสบีอาร์ที่ใช้เวลาเป็นตัวกำหนดขั้นตอนการทำงานมีลำดับการทำงาน 5 ขั้นตอน ดังภาพที่ 3 (Metcalf and Eddy, 2004)

6.1 ขั้นตอนการทำงานรายละเอียด (กฤษณะ รักวงศ์, 2552)

(1) การเติม (Fill) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อเติมสารอาหาร (Substrate) ในที่นี้จะหมายถึงน้ำเสียลงไปยังถังปฏิกิริยาในกระบวนการเติมน้ำเสียโดยทั่วไปแล้วจะให้มีระดับน้ำเสียในถังปฏิกิริยาเริ่มจาก 25% ของความจุ (ที่ระดับสุดท้ายของระยะพัก) จนถึง 100% ถ้าควบคุมโดยใช้เวลาช่วงระยะเวลาการเติมโดยปกติจะประมาณ 25% ของระยะเวลาทั้งหมดในการเดินระบบ

(2) การทำปฏิกิริยา (React) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาโดยจะเริ่มมีการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ระหว่างช่วงการเติมโดยทั่วไปแล้วช่วงนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 35% ของระยะเวลาทั้งหมดในการเดินระบบ

(3) การตกตะกอน (Settle or Decant) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อให้เกิดการแยกชั้นปล่อยน้ำที่อยู่ด้านบนออกในระบบเอสบีอาร์กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าระบบที่มีการไหลต่อเนื่องเพราะตะกอนได้ตกลงสู่ก้นถังจนหมดแล้ว

(4) การระบายน้ำใสออก (Draw) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยาอุปกรณ์ที่นิยมใช้คือเครื่องกั้นน้ำที่ปรับระดับได้เวลาที่ใช้ในการระบายน้ำใสออกอยู่ในช่วง 5-30% ของระยะเวลาทั้งหมดโดยเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ (15 นาที - 2 ชั่วโมง) เวลาที่นิยมใช้ทั่วไปคือ 45 นาที

(5) ระยะพัก (Idle) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ในระบบที่มีหลายถังคือเป็นช่วงเวลาสำหรับถังปฏิกิริยาที่ดำเนินกระบวนการจนเสร็จสิ้นแล้วก่อนจะใช้ถังอื่นต่อไปช่วงระยะนี้ไม่มีความจำเป็นบางครั้งจึงสามารถตัดทิ้งได้

6.2 ข้อได้เปรียบของระบบเอสบีอาร์ เมื่อเทียบกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ทั่วไป

(กฤษณะ รักวงศ์, 2552)

(1) ระบบบำบัดใช้ถังปฏิกิริยาเพียงถังเดียว โดยจะเป็นทั้งถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank) ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน ทำให้ประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้าง

(2) ทำการเดินระบบและควบคุมดูแลระบบได้ง่าย

(3) สามารถรับน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการนำน้ำเสียเข้าระบบ (volumetric loading) น้ำเสียที่เข้าระบบถูกเจือจางลงโดยน้ำในถังปฏิกิริยา

(4) สามารถเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานของระบบให้เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณน้ำเสียได้

(5) ตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในระบบเอสบีอาร์มีจำนวนน้อยมาก ทำให้ดูแลระบบง่ายกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ทั่วไป

(6) การแยกตัวของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกับตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ใกล้อุดมคติ

(7) ลดโอกาสการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประเภทเส้นใย เนื่องจากค่าบีโอดีในถังปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในการบำบัด

(8) ลดปัญหาการนำตะกอนหมุนเวียนกลับจากถังตกตะกอนไปยังถังเติมอากาศ

(9) ใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ทั่วไป

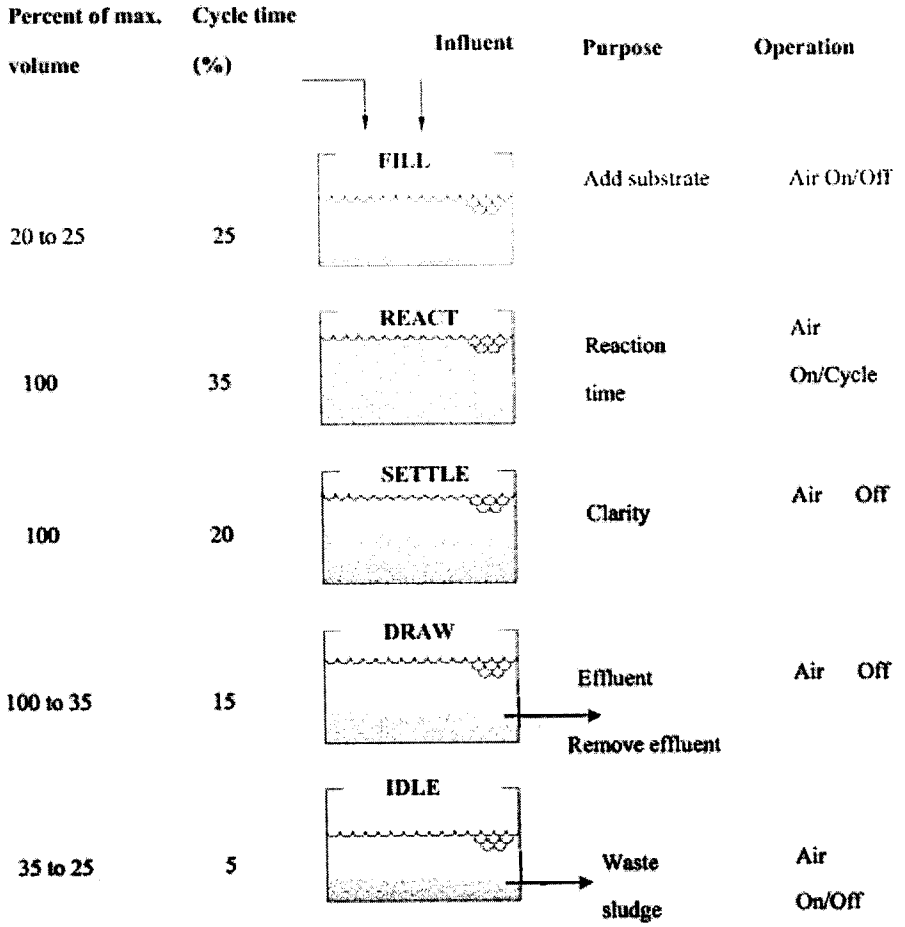


Figure 3 Cycle of sequencing batch reactor

ที่มา: Metcalf and Eddy (2004)

Thonglimp และคณะ (2005) ได้ใช้ระบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor) ในการบำบัดน้ำเสียน้ำยางข้น โดยศึกษาอัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) และอัตราส่วนเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ซึ่งเปรียบเทียบอัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) เท่ากับ 0.4 สามารถลดบีโอดีและซีโอดีได้ดีที่สุด ที่ 92.2 และ 57.5 % ตามลำดับ และเมื่อศึกษาอัตราส่วนเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ที่ 0-24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าที่ 0-12 ชั่วโมงแรก สามารถลดบีโอดีและซีโอดี 98.6 และ 89.3 % ตามลำดับ แต่หลังจากชั่วโมงที่ 12 ไม่สามารถลดบีโอดีแต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดซีโอดีจาก 89.3 เป็น 92.8 %

Kaewsuk และคณะ (2010) ศึกษาการใช้กลุ่มเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนม โดยใช้ membrane sequencing batch reactor (MSBR) ซึ่งจะใช้ membrane เป็นตัวเก็บตะกอนแทนการปล่อยตะกอน ทำให้ไม่ต้องมีจุดปล่อยตะกอนออกจากถังปฏิกิริยา การเดินระบบ MSBR ประกอบด้วย ช่วงการเติมน้ำเสีย ช่วงทำปฏิกิริยา และช่วงปล่อยน้ำทิ้ง จะใช้เวลาในการนำน้ำเสียเข้าระบบ 10 นาที เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้น้ำเสีย 1 ลิตรต่อวัน เลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะไร้อากาศ-ภายใต้แสงธรรมชาติ ทำการควบคุม oxidation reduction potential (ORP) ระหว่าง -300 และ -200 มิลลิโวลต์เนื่องจากเป็นการรักษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกลุ่มpurple non-sulfur bacteria (PnSB) การทดลองนี้ได้ทำการเดินระบบที่เวลากักเก็บน้ำ 10 วัน สามารถลดค่าซีโอดีให้เหลือ 149 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

7. แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ พบมากในแหล่งน้ำที่แสงสามารถส่องถึงและบนหน้าดิน และสามารถดำรงชีวิตในสภาวะไร้อากาศได้ มีรงควัตถุคือแบคทีริโอคลอโรฟิลล์ (bacteriochlorophyll) และ คาโรทีนอยด์ (carotenoid) การสังเคราะห์แสงนั้นพบได้ในสิ่งมีชีวิต 3 จำพวกคือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสง สาหร่าย และพืช (Staley, 1989)

purple non-sulfur bacteria (PnSB) เป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจำพวกหนึ่งพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำจืด น้ำเค็ม และตามหน้าดินที่มีความชื้น สามารถดำรงชีวิตได้ดีในน้ำหรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของเหลว มีออกซิเจนละลายอยู่ต่ำ PnSB ตามแหล่งน้ำจะไม่ส่งผลกระทบให้เกิดการเปลี่ยนสีของแหล่งน้ำ (color bloom) ในขณะที่หากแหล่งน้ำใดมีแบคทีเรียสังเคราะห์แสงพวก purple sulfur bacteria (PSB) อยู่จะทำให้แหล่งน้ำมีสีแดง PnSB เจริญในที่แสงส่องถึงและเป็นสภาวะไร้อากาศ (Staley, 1989) สาเหตุที่เรียกแบคทีเรียชนิดนี้ว่า "non-sulfur" เนื่องจากไม่สามารถใช้ซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเลคตรอนในกระบวนการรีดักชั่นคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างเซลล์ได้ (Madigan *et al.*, 2000)

PnSB จำแนกอยู่ในพวก anoxygenic phototrophic bacteria และแบ่งออกเป็น 9 จีนัส แสดงในภาพที่ 4 (Sasikala and Ramana, 1995)

7.1 ลักษณะโครงสร้าง (Morphology)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีทั้งรูปร่างแบบทรงกลม แบบแท่งสั้นยาว และแบบเกลียว แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในกล้องจุลทรรศน์ แสดงให้เห็นรูปร่างของ

เซลล์ เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลล่า (flagella) เซลล์ติดแกรมลบ มีรงควัตถุประกอบด้วยแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ (bacteriochlorophyll) และแคโรทีนอยด์ (caroteniod) ซึ่งสีของเซลล์เป็นสีเหลืองอมน้ำตาล (yellowish – brown) บางเซลล์เป็นสีแดง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงเจริญภายใต้สภาวะไร้อากาศ เมื่อให้แสงสว่างแก่เซลล์จะเกิดการสันดาปแบบใช้แสง (photosyntheticmetabolism) (Zhou and Xie, 1987) แสดงลักษณะโครงสร้างของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง PnSB ภาพที่ 5 แสดงภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB

7.2 การแบ่งกลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถแบ่งตามชนิดของรงควัตถุ ลักษณะทางกายภาพ (physiological) ลักษณะทางด้านรูปร่าง และคุณสมบัติทางชีวเคมี ออกได้ 3 กลุ่ม คือ purple phototrophic bacteria, green phototrophic bacteria และ Genera incertaesedis (Staley *et al.*, 1989) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

7.2.1 Purple photosynthetic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์เอและบี 3 วงศ์ (Staley *et al.*, 1989) คือ

วงศ์ *Chromatiaceae* หรือ purple sulfur bacteria มีรูปร่างกลม รูปไข่ แท่ง รูปโค้ง และรูปเกลียว มีทั้งที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ พวกที่เคลื่อนที่ได้มีแฟลกเจลลา (flagella) มีขั้วแบบ monotrichous หรือแบบหลายเส้น (multitrichous) มีการแบ่งเซลล์แบบ binary fission มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ชนิด เอ เมื่อเจริญภายใต้สภาวะไร้อากาศจะมีรูปแบบการเจริญลักษณะ photolithoautotrophic โดยสามารถใช้ซัลไฟด์หรือซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเล็คตรอนตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มย่อยนี้ได้แก่ *Amoebobacter, Chromatium, Lamprobacter, Lamprocystis, Thiocapsa,Thiocystis, Thiodictyon, Thiopedia, Thiospirillum*

วงศ์ *Ectothiorhodospiraceae* มีรูปร่างเป็นเกลียว โค้งหรือแท่งสั้นๆ มีลักษณะเด่นคือสะสมซัลเฟอร์ไว้ภายนอกเซลล์ เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลา มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ เอ หรือ บี มีคาโรทินอยด์ชนิด normalspirolloxanthin ใช้ซัลไฟด์หรือซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเลคตรอนในการสังเคราะห์แสง ออกซิไดซ์ซัลไฟด์เป็นซัลเฟอร์และซัลเฟตและไม่สามารถเจริญในสภาวะมีอากาศ ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มย่อยนี้ได้แก่ *Ectothiorhodospira*

วงศ์ *Rhodospirillaceae* หรือ purple non-sulfur bacteria แบคทีเรียพวกนี้เจริญสภาวะไร้อากาศมีแสงแบบ phototrophic และมักใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน เมื่อเจริญสภาวะมีอากาศหรือมีอากาศเล็กน้อยและไร้แสงจะเจริญแบบ chemotrophic และใช้สารอินทรีย์ แอลกอฮอล์ กรดไขมัน เป็นตัวให้อิเล็กตรอนและเป็นแหล่งคาร์บอน บางพวกสามารถใช้ซัลไฟด์

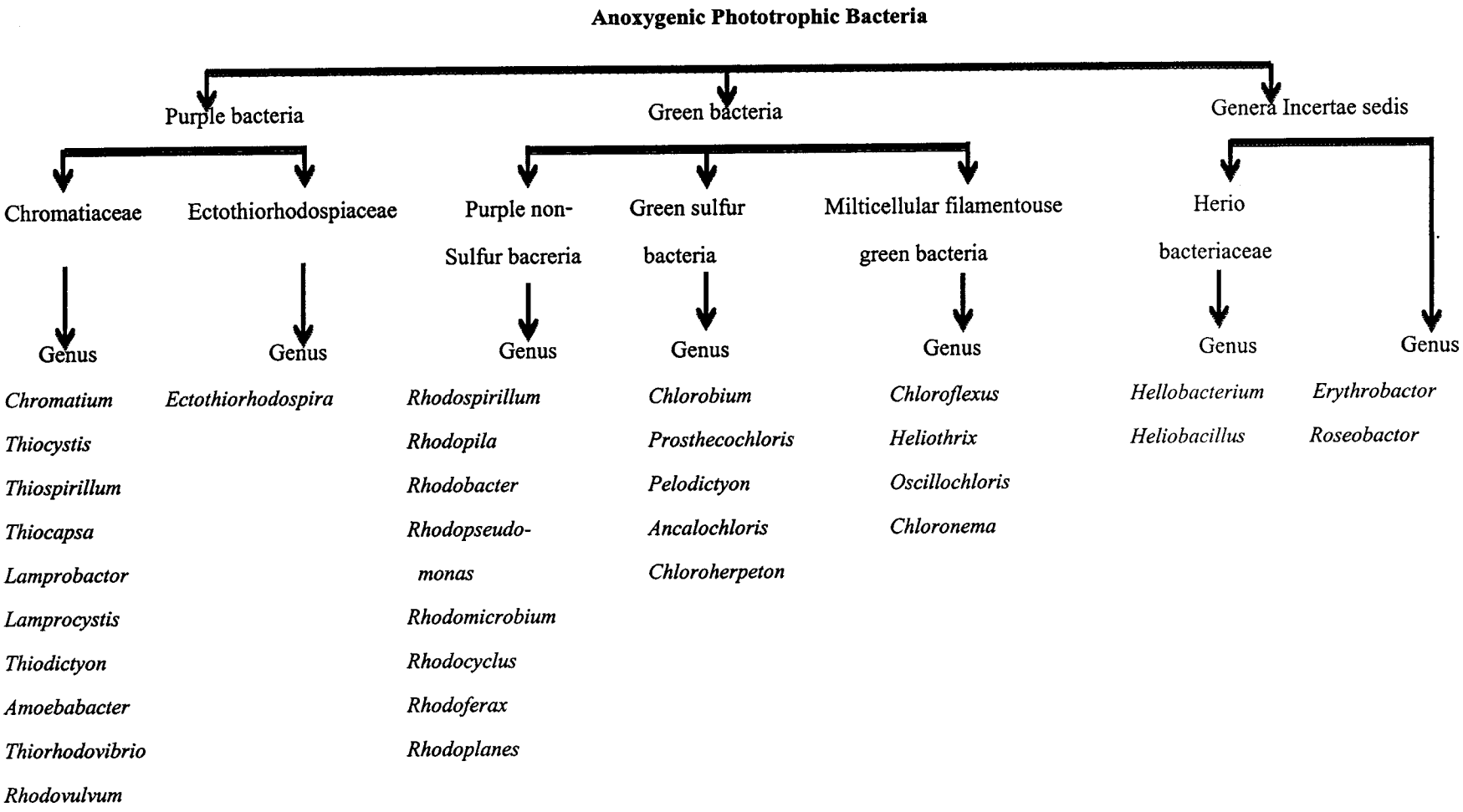


Figure 4. Brief classification of anoxygenic phototrophic bacteria

ที่มา: Sasikala and Ramana (1995)

หรือไธโอซัลเฟตเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการสังเคราะห์แสง เซลล์มีรูปร่างท่อน กลม และรูปเกลียว เพิ่มจำนวนโดยการแตกหน่อ หรือการแบ่งตัว เคลื่อนที่ได้ และไม่ได้โคโลนีมีสีส้ม-น้ำตาลถึงสีม่วงแดง เมื่อเจริญในสภาพไม่มีออกซิเจนบางพวกจะมีสีเหมือนในสภาพมีออกซิเจน แต่บางพวกมีสีเหลือง-เขียว ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มย่อยนี้ได้แก่ *Rhodobacter, Rhodocyclus, Rhodomicrobium, Rhodopila, Rhodopseudomonas* และ *Rhodospirillum*

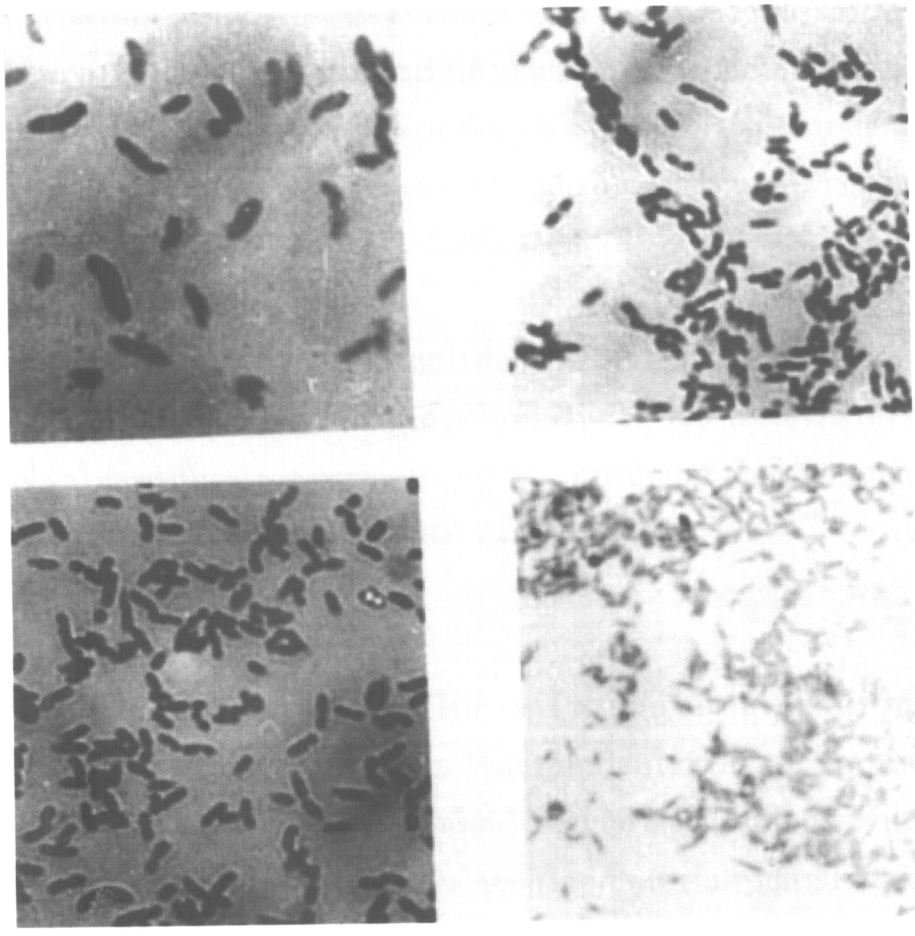


Figure 5. The shape of the photosynthetic bacteria through a microscope

ที่มา: Staley และคณะ (1989)

7.2.2 Green bacteria

วงศ์ ***Chlorobiaceae*** **หรือ Green sulfur bacteria** มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ ซี ดี หรือ อี เซลล์มีสีเขียว หรือสีน้ำตาล รูปร่างกลม รูปไข่ หรือท่อน เคลื่อนที่ได้แบบคืบคลาน (gliding) หรือเคลื่อนที่ไม่ได้ มีคลอโรโซม (chlorosomes) ซึ่งเป็นออร์แกเนลที่มีรงควัตถุที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงอยู่ เจริญสภาพไร้อากาศมีแสง โดยใช้ซัลไฟด์หรือซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน สะสมซัลเฟอร์ไว้ภายนอกเซลล์ ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มย่อยนี้ ได้แก่ *Ancalochloris, Chlorobium, Chloroherpeton,Pelodictyon* และ *Prosthecochloris*

วงศ์ Chloroflexaceae หรือ Green nonsulfur bacteria หรือ Muticellular filamentous green bacteria แตกต่างกับวงศ์ Chlorobiaceaeหรือ Green sulfur bacteria คือ สามารถเจริญได้ในสภาพมีออกซิเจนแบบ chemotrophic เซลล์มีการเรียงตัวเป็นเส้นสายมากมาย เคลื่อนที่ได้โดยการคืบคลาน ใช้อินทรียสารเป็นตัวให้อิเล็กตรอนขณะสังเคราะห์แสง บางพวกสามารถออกซิไดซ์ซัลไฟด์เป็นซัลเฟอร์สะสมซัลเฟอร์ไว้ภายนอกเซลล์หรือไม่สะสม ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มย่อยนี้ ได้แก่ *Chloroflexus, Chloronema, Heliothrix* และ *Oscillochloris*

7.2.3 Genera incertaesedis

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ จี และคาโรทินอยด์ชนิด neurosporene ดังนั้นจึงทำให้เซลล์มีสีเขียวออกน้ำตาลอ่อน เซลล์รูปไข่หรือรูปท่อน ไม่สามารถเจริญในสภาพมีออกซิเจน ไม่ใช้ซัลไฟด์ จัดเป็น photoheterotrophic ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งให้อิเล็กตรอนเท่านั้น ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มย่อยนี้ ได้แก่ Heliobacillus, Heliobacterium

7.3 Metabolism

โดยทั่วไปคาร์บอนที่จุลินทรีย์ใช้ในการสร้างเซลล์ได้จากสารอินทรีย์ และคาร์บอนไดออกไซด์จึงแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์เรียกว่าเฮทเทอโรโทป (heterotroph) และจุลินทรีย์ที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างเซลล์เรียกว่าออโตโทป (autotroph) การเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอินทรีย์ภายในเซลล์ เป็นขบวนการเจริญพันธุ์ซึ่งต้องการพลังงาน จุลินทรีย์พวกออโตโทปต้องการพลังงานในการสร้างเซลล์มากกว่าจุลินทรีย์พวกเฮทเทอโรโทปแหล่งพลังงานที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ได้จาก แสงอาทิตย์ หรือ ปฏิกิริยาเคมี จุลินทรีย์ที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเรียกโฟโตโทป (phototroph) จุลินทรีย์พวกนี้อาจเป็นเฮทเทอโรโทป เช่น ซัลเฟอร์แบคทีเรีย (sulphur bacteria) หรือเป็นออโตโทป เช่น สาหร่าย หรือแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ส่วนจุลินทรีย์ที่ได้รับพลังงานเคมีจาก

ปฏิกิริยาเคมีเรียกคีโมโทป (chemotroph) ซึ่งอาจเป็นเฮทเทอโรโทป เช่น โปรโตซัว รา และแบคทีเรียส่วนใหญ่ หรือเป็น ออโตโทป เช่น ไนตริฟายอิ้งแบคทีเรีย (nitrifying bacteria)

Table 3. Characteristics of photosynthesis bacteria

Major group of phototrophic bacteria	**Bacteriochloropyll**	**Electron donor**	**Growth condition**
purple sulfur bacteria	*a* or *b*	H_2S, $Na_2S_2O_3$, H_2 Organic compound; acetate	photoautotroph and photoheterotroph($O_2$was not necessary)
purple nonsulfur bacteria	*a* or *b*	H_2, Organic compound; succinate, malate	photoheterotroph and photoautotroph (O_2 was not necessary) (O_2 was necessaryat dark condition)
green sulfur bacteria	*a* and *c*, *d* or *e*	H_2S, $Na_2S_2O_3$, H_2	photoautotroph ($O_2$was not necessary)
Genera incertaesedis	*g*	H_2, S Organic compound; citrate	photoautotroph and photoheterotroph(O_2 was not necessary)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Staley และคณะ (1989)

7.4 การสังเคราะห์แสง (photosynthesis)

กระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานในพันธะเคมี ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานพันธะฟอสเฟตของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) (Stainer,1961) พลังงานแสงจะถูกดูดซึมโดยหนึ่งโมเลกุลของตัวดูดซึมซึ่งก็คือเอสติน และพลังงานต่อเอสตินต้องเหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง รงควัตถุของแบคทีเรีย

สังเคราะห์แสงดูดซับแสงได้ดีในช่วง 800-900 นาโนเมตร (Sokatch, 1969) โดยส่วนใหญ่แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงโดยใช้แหล่งคาร์บอนจากสารอนินทรีย์ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์แต่ แบคทีเรียจำพวกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่มีรงควัตถุสีม่วงสามารถใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนหลักในการสังเคราะห์แสง ดังนั้น แบคทีเรียสังเคราะห์เป็นแบคทีเรียชนิดโฟโตเฮทเทอโรโทป (photoheterotrophs) หรือ โฟโตออกร์กาโนโทป (photoorganotrophs) (Suwasa, 1990)

สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้แบ่งได้ 3 กลุ่มโดยแบ่งตามแหล่งที่ให้ไฮโดรเจนเพื่อใช้ในทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง (Imhoff, 2001)

Hydrogen donor : H_2O

พืชทุกชนิดและสาหร่ายบางชนิดใช้น้ำ (H_2O) เป็นตัวให้ไฮโดรเจนในกระบวนการสังเคราะห์แสง (hydrogen donor) ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างเซลล์

$$CO_2 + 2H_2O \longrightarrow (CH_2O) + H_2O + O_2$$

Hydrogen donor : H_2S

กรีนแบคทีเรีย (green bacteria) และ PSB มีแบคทีริโอคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุแทนที่คลอโรฟิลของพืชไม่สามารถใช้น้ำเป็นตัวให้ไฮโดรเจนในกระบวนการสังเคราะห์แสงแต่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แทน

$$CO_2 + 2H_2S \longrightarrow (CH_2O) + H_2O + 2S$$

Hydrogen donor : Organic compound

PnSB ไม่สามารถใช้ได้ทั้งน้ำและไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้ไฮโดรเจนในกระบวนการสังเคราะห์แสงแต่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ต้องการย่อย

$$CO_2 + 4H\text{-}R \xrightarrow{\text{แสง}} (CH_2O) + H_2O + 4R$$

$$CO_2 + 2H_2 \xrightarrow{\text{แสง}} (CH_2O) + H_2O$$

7.5 แสง (Light)

PnSB สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาวะที่มี และไม่มีอากาศเนื่องมาจากสามารถใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจได้ แต่อย่างไรก็ตามสามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่มีแสง (Stiffler

and Gest, 1954) Prasertsan *et al.* (1993) ทำการศึกษาเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย PnSB ที่ความเข้มแสงในช่วง 1000-5000 ลักซ์ พบว่าในสภาวะไร้อากาศในที่มีแสงอัตราการเจริญเติบโตของ PnSB มีค่าสูงที่สุด จึงสรุปได้ว่าแสงเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการผลิตรงควัตถุ (Kobayashi and Kurata, 1978) การเจริญเติบโนในที่มีแสงนั้นจะมีการสร้างรงควัตถุมากกว่าในที่มืด (Kim *et al.*,1999) เมื่อให้ความเข้มแสงมากขึ้นการเจริญเติบโตและการสร้างรงควัตถุก็เกิดมากขึ้นแบคทีริโอคลอโรฟิลล์จึงมีปริมาณมากด้วยความเข้มแสงที่มากขึ้นแล้วไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตหรือการสร้างรงควัตถุคือความเข้มแสงอิ่มตัว (Sawada and Roger, 1977)

รงควัตถุของแบคทีเรียที่มีรงควัตถุสีม่วงดูดกลืนแสงในช่วงอินฟาเรดซึ่งต่างจากรงควัตถุของสาหร่ายและพืชทั่วๆไป (Stainer, 1970) หากใช้หลอดอินฟาเรดความยาวคลื่น 800-1000 นาโนเมตร แก่ระบบจะช่วยลดการเจริญเติบโตของสาหร่ายในระบบได้เนื่องจากรงควัตถุของสาหร่ายดูดกลืนแสงในช่วง 675-685 นาโนเมตร (Van Niel, 1944)

การใช้หลอดอินฟาเรดทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียดีกว่าการใช้หลอดฟลูออเรสเซนส์เนื่องจากหลอดอินฟาเรดให้ความเข้มแสงมากกว่าและให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกับความต้องการของแบคทีเรียแต่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชอื่นๆ (Sawada and Rogers, 1977)

8. การนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้การบำบัดน้ำเสียและของเสีย

การบำบัดน้ำเสียเสียด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงข้อดีของการใช้ระบบดังกล่าวมีดังนี้ (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548)

- สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยไม่ต้องมีการเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าระบบซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งแบบเดิมไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงได้โดยตรงจะต้องผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นเพื่อลดความเข้มข้นของน้ำเสียลงก่อนที่จะเข้าสู่ระบบดังกล่าวได้

- การบริหารจัดการระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงง่ายแต่เมื่อเปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิมจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวนมากในการเข้าไปควบคุม

Haifeng และคณะ (2010) ศึกษาการใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (PSB) สายพันธุ์ Z08 ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองโดยเลี้ยงในสภาวะปกติ คือ ตั้งทิ้งไว้ไม่มีการเขย่า ไม่มีต้องให้แสงหรือเพิ่มออกซิเจน แต่เลี้ยงภายใต้แสงธรรมชาติ ผลการทดลองพบว่า เชื้อ

สายพันธุ์ Z08 ที่สามารถย่อยสลายน้ำเสียถั่วเหลืองสังเคราะห์ได้ดี หลังจากเลี้ยงเชื้อ Z08 72 ชั่วโมง สามารถลดค่าซีโอดีได้ 95.7 %แสดงให้เห็นว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (PSB) สายพันธุ์ Z08 มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่มีการสิ้นเปลืองพลังงาน ทำให้มีส่วนในการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

Kantachote และคณะ (2005) ศึกษาการเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงสายพันธุ์ DK6ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพาราแผ่น ภายใต้ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ pH มีค่าระหว่าง 6.5-7.5 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง น้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (SOW) น้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (SOW) กับเชื้อสายพันธุ์ DK6 น้ำเสียที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ROW) และน้ำเสียที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ROW) กับเชื้อสายพันธุ์ DK6 ผลการทดลองพบว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ROW) สามารถลดซีโอดีและบีโอดี 54% และ 70% ตามลำดับ ในสภาวะเดียวกันการใช้ DK6 กับน้ำเสียที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ROW) ที่มีจุลินทรีย์ท้องถิ่นสามารถลดค่าซีโอดีและบีโอดี 90 % แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงสายพันธุ์ DK6 มีความสามารถในการทำงานกับจุลินทรีย์ท้องถิ่นได้ดี

ดวงพร คันธโชติ และคณะ (2552) ได้นำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ไม่สะสมซัลเฟอร์ (Purple nonsulfur photosynthesis bacteria: PnSB) 2 ไอโซเลท เทียบเคียงเชื้อพบว่าเป็น *Rhodopseudomonas sp.* มาบำบัดน้ำเสียจากสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน ภายใต้สภาวะ Microaerobic – light สามารถลดค่า COD, SS, sulfate และ UHS (Unionized hydrogen sulfide) ได้ 86, 59, 40 และ 50 % ตามลำดับ

9. ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

การดำรงชีวิตของจุลินทรีย์เป็นปรากฏการณ์ที่สลับซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยเหตุการณ์ต่างๆ หลายอย่างที่เกิดขึ้นพร้อมกัน เหตุการณ์อันแรกคือการใช้สารอาหาร (substrate) ที่มีการเติบโตของจุลินทรีย์ตามมา เหตุการณ์ทั้งสองอย่างนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เพราะเซลล์จะได้พลังงานและคาร์บอนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่มาจากสารอาหารต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการย่อยสลายสารอาหารและอัตราการเจริญของเซลล์สามารถแทนด้วยเทอมของอัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์ (yield coefficient, Y) ถ้าไม่มีแหล่งพลังงานจากภายนอกอยู่เลยเซลล์จะใช้แหล่งพลังงานสะสมอยู่ภายในเซลล์ เพื่อสร้างพลังงานในการดำรงชีวิตทำให้มวลของเซลล์ลดลง ถ้ามีจุลินทรีย์หลายชนิดปะปนอยู่รวมกันเซลล์ที่อยู่ในตระกูลต่ำกว่าจะเป็นอาหารของเซลล์ใน

ตระกูลสูง ลักษณะนี้ทำให้มวลชีวภาพลดลง เซลล์บางตัวเมื่อเติบโตถึงที่สุดแล้วก็จะต้องตาย ผลดังกล่าวทำให้มวลชีวภาพบางส่วนเท่านั้นที่มีชีวิต และทำงานได้โดยปกติแล้วมวลชีวภาพส่วนที่มีชีวิตเท่านั้นที่มีความสำคัญอย่างไรก็ตามเซลล์ที่ตายแล้วก็มีบทบาทสำคัญเหมือนกัน เนื่องจากเซลล์เหล่านั้นสามารถปล่อยสารต่างๆ ภายในเซลล์ให้กับสิ่งแวดล้อม และอาจเป็นสารอาหารสำหรับเซลล์ตัวอื่นที่มีชีวิตอยู่ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2523)

สมการของโมโนด (Monod's equation) ได้ทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของจุลินทรีย์ โดยการให้สารอินทรีย์เป็นสารอาหารแก่จุลินทรีย์ จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของเซลล์ในเวลาต่างๆ โดยโมโนดได้สร้างสมการที่ใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหาร (S) และอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) ไว้ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2523)

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \qquad (1)$$

$$\mu = \frac{dX}{Xdt} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \qquad (2)$$

โดย μ =อัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate constant, วัน$^{-1}$)

μ_m =อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate constant, วัน$^{-1}$)

S = ความเข้มข้นของสารอาหารในถังปฏิกรณ์ (มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร)

K_s = ความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีอัตราการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (half velocity coefficient, มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร)

สมการโมโนดเป็นจุดเริ่มต้นของจลศาสตร์ของระบบชีวเคมีที่มีแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และในปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2523)

สมการของมิเชลิสเมนเตน (Michaelis-Menten) ใช้สำหรับศึกษาจลนพลศาสตร์ของเอ็นไซม์ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับสมการของโมโนด สมการของมิเชลิสเมนเตนแสดงดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2523)

$$U = \frac{kS}{K_m + S} \qquad (3)$$

$$U = -\frac{dS}{Xdt} \qquad (4)$$

โดย U = อัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ

k = อัตราการย่อยสารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ (Maximum rate of substrate degradation, มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน)

K_m = ค่าคงที่ Michaelis (Michaelis constant) เป็นค่าที่แสดงความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด

9.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์จลพนศาสตร์ของระบบการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยการทดลองเดินระบบแบบแบตช์ (batch)

การเดินระบบแบบแบตช์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ต้องทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและมวลจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เทียบกับเวลาแล้วนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์จากสมการของมิเชลิสเมนเตน และสมการของโมโนด

9.1.1 ค่าความเข้มข้นของสารอาหาร

เมื่อนำค่า K_m และ kจากสมการของมิเชลิสเมนเตน (สมการที่ 3) มาจัดรูปสมการเส้นตรง y = mx + c ใหม่ดังนี้

$$U = \frac{kS}{K_m + S}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{S} \times \frac{K_m}{k} + \frac{1}{k} \qquad (5)$$

จากสมการที่ 4 สามารถนำมาพล็อตกราฟเส้นตรงระหว่าง $\frac{1}{U}$ กับ $\frac{1}{S}$จากกราฟจุดตัดแกน X คือค่า 1/ K_mและความชันของกราฟคือค่า K_m/kดังนั้นค่า K_mหาได้จากสมการ

$$K_m = \text{ค่าความชัน} \times k \qquad (6)$$

ค่า k หาได้จากสมการ

$$k = \frac{1}{\text{จุดตัดแกน Y}} \qquad (7)$$

9.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (yield coefficient : Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (bacteria decay rate : k_d)

$$\frac{F}{M} = \frac{(S_o - S)}{Xdt} = \frac{ds}{Xdt} \quad (8)$$

$$\emptyset_c = \frac{X}{dX/dt} \quad (9)$$

จากสมการที่ 2 จะได้

$$\emptyset_c = \frac{1}{\mu} \quad (10)$$

$$\frac{1}{\emptyset_c} = Y\frac{ds}{Xdt} - k_d \quad (11)$$

จากสมการที่ 8-10 นำมาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการที่ 11 ได้ดังนี้

$$\frac{dX}{dt} = Y\frac{ds}{dt} - k_d X \quad (12)$$

นำสมการที่ 11 หารด้วย X ตลอด เพื่อจัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง y = mx + c

$$\frac{dX}{dt} = Y\frac{ds}{Xdt} - k_d \quad (13)$$

จากสมการที่ 12 นำมาพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{dX}{dt}$ กับ $\frac{ds}{Xdt}$ จากกราฟจุดตัดแกน Y คือค่า k_d และความชันของกราฟคือค่า Y

9.1.3 ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (maximum specific growth rate: μ_m) และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการอัตราการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (half velocity coefficient: K_s)

จากสมการที่ 2, 4, 9 และ 12 นำมาหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{1}{\emptyset_c} = YU - k_d$$

$$= \mu - k_d$$

$$= \frac{\mu_m S}{K_s + S} - k_d \quad (14)$$

นำมาจัดสมการให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง y = mx + c ดังนี้

$$S\left[\frac{\emptyset_c}{1+(k_d\times\emptyset_c)}\right] = \frac{1}{\mu_m S}+\frac{K_s}{\mu_m} \quad (15)$$

จากสมการที่ 14 นำมาพล็อตกราฟระหว่าง $S\left[\frac{\emptyset_c}{1+(k_d\times\emptyset_c)}\right]$ กับ S จากกราฟความชันกราฟคือค่า $1/\mu_m$และจุดตัดแกน Y คือค่า K_s/μ_mค่า μ_mและค่าK_sสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\mu_m = \frac{1}{\text{ความชันกราฟ}} \quad (16)$$

$$K_s = \text{จุดตัดแกน } Y \times \mu_m \quad (17)$$

โดย F/M = สัดส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์
(กิโลกรัมซีโอดีต่อกิโลกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน)

k_d = อัตราการตายของจุลินทรีย์ (วัน)

S_0 = ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าระบบ (มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร)

Y = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย
(มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมซีโอดี)

$\emptyset_c$ = ระยะเวลากักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (วัน)

9.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของระบบการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยการทดลองเดินระบบแบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor: SBR)

การหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์โดยการเดินระบบแบบเอสบีอาร์สมการที่นำมาคำนวณใช้สมการของโมโนด

9.2.1 อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด และความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญสูงสุด

$$\frac{dX}{dt} = QX_o - [Q_wX_w + Q_eX_e] + V[r_g] \quad (18)$$

$$r_g = Y\frac{ds}{dt} - k_dX \quad (19)$$

สภาวะคงตัว (Steady state). $\frac{dx}{dt} = 0$

$$\frac{QwXw + QeXe}{VX} = -Y\frac{ds}{xdt} - k_d \quad (20)$$

$$\frac{ds}{xdt} = -\frac{Q(S_o - S)}{V} = -\frac{(S_o - S)}{HRT} \quad (21)$$

$$\frac{ds}{xdt} = \frac{-kXS}{K_s + S} \quad (22)$$

จัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง y = mx+c ดังนี้

$$\frac{X \times HRT}{S_o - S} = \left[\frac{K_s}{k} \times \frac{1}{S}\right] + \frac{1}{k} \quad (23)$$

นำสมการมาพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{X \times HRT}{S_o - S}$ กับ $\frac{1}{S}$จากกราฟจุดตัดแกน Y คือ 1/k และความชันกราฟ คือ Ks/k ดังนั้นค่า Ks และ kคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$K_s = \text{ความชันกราฟ} \times k \quad (24)$$

$$k = \frac{1}{\text{จุดตัดแกน } Y} \quad (25)$$

โดย HRT = ระยะเวลากักเก็บกักน้ำเสีย (วัน)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

Q_e = อัตราการไหลของน้ำเสียออกจากระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

Q_w = อัตราการไหลของตะกอนจุลินทรีย์ทิ้งออกจากระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

r_g = อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (ต่อวัน)

V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (ลิตร)

X_o = ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

X_e = ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบ (มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

X_w = ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ทิ้งออกจากระบบ (มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

9.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (yield coefficient, Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (bacteria decay rate, k_d)

สมการที่ใช้คำนวณเป็นสมการเดียวกับการหาค่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์ของการทดลองแบบแบตช์

Kaewsuk และคณะ (2010) ศึกษาการใช้กลุ่มเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนม โดยใช้ membrane sequencing batch reactor(MSBR) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสง ในขั้นตอนแรกทำการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของ MSBR ดำเนินการในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการโดยการใช้แสงจากหลอดทังสเตนพบว่าค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ได้แก่ ความเข้นข้นครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นที่อิ่มตัว (K_s) จากสมการที่ 14- 23 อัตราการย่อยสารอาหารสูงสุด (k) สัมประสิทธ์การลดลงของแบคทีเรีย (k_d) และ Yield coefficient (Y) มีค่าเท่ากับ 174 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร 7.42 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมวีเอสเอสต่อวัน 0 .1383วัน$^{-1}$ และ 0.2281 มิลลิกรัมวีเอสเอสต่อมิลลิกรัมซีโอดีตามลำดับ ขณะที่ μ_m สามารถคำนวณได้จากการคูณระหว่าง k และ Y ได้เท่ากับ 1.69 วัน$^{-1}$ หากระบบมีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์ ความเข้มข้นของสารอาหารหรือซีโอดีในถังหมัก (S) จะเท่ากับซีโอดีที่ออกจากระบบ (S_t) เมื่อเปรียบเทียบซีโอดีที่ออกจากระบบจากการทดลองผลการทดลองพบว่า สมการโมนอด (สมการที่ 14) มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงว่าสมการนี้สามารถใช้ทำนายการปฏิบัติงานของ MSBR ระดับห้องปฏิบัติการในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนมได้หลังจากนั้นนำค่าทางจลนพลศาสตร์ในระดับห้องปฏิบัติการมาทำการทดลองในระดับนำร่อง (pilot scale) แต่ใช้แสงจากธรรมชาติแทนการใช้หลอดไฟทังสเตน หากต้องการให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดี เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (หรือปริมาณซีโอดีประมาณ 27 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของประเทศไทย โดยมีน้ำเสียที่เข้าระบบเท่ากับ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน จากสมการจลนพลศาสตร์ ในระดับห้องปฏิบัติการจะได้เวลาของระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 2.3 วัน และ F/M ratio ถูกควบคุมอยู่ที่ 0.33 กิโลกรัมซีโอดีต่อกิโลกรัมวีเอสเอสต่อวัน ทำการเดินระบบในระดับนำร่อง โดยใช้สภาวะที่ได้จากการคำนวณดังกล่าว พบว่าค่าซีโอดีของน้ำทิ้งเฉลี่ยที่ออกจากระบบเท่ากับ 149 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 94% จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความเบี่ยงเบนจากค่าที่คาดคะเนจากการคำนวณ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน แสงธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟทังสเตนมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลให้มีการเจริญของแบคทีเรียแตกต่างกัน

10. เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) เป็นเทคนิคใช้แยกความแตกต่างของโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยตัวกลางเป็นเจล โดยจะแยกโมเลกุลของดีเอ็นเอที่มีลำดับเบสต่างกันได้แม้ว่าขนาดความยาวของดีเอ็นเอจะเท่ากัน ซึ่งจะอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นของสารที่มีคุณสมบัติในการแยกสายดีเอ็นเอ (denaturant) ที่มีสัดส่วนความเข้มข้นของสาร (gradient) จากส่วนบนของเจลที่มีความเข้มข้นน้อยไปสู่ส่วนล่างของเจลที่มีความเข้มข้นมาก รวมไปถึงการใช้อุณหภูมิสูงในการทำลายพันธะระหว่างคู่เบส G-C ซึ่งเป็นการจับกันโดยใช้พันธะที่เหนียวแน่น ซึ่งความเข้มข้นหรือปริมาณของคู่เบส G-C ที่มีในดีเอ็นเอแต่ละคู่ที่แตกต่างกันนี้ทำให้การเคลื่อนที่ในตัวกลางดังที่กล่าวมาข้างต้นแตกต่างกันจึงสามารถมองเห็นรูปแบบของแถบดีเอ็นเอที่ปรากฏบนเจลต่างกัน ดังนั้น Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) จึงเป็นเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถแยกชนิดของสิ่งมีชีวิตที่สนใจได้ แม้สิ่งมีชีวิตดังกล่าวจะมีลำดับเบสต่างกันเพียงหนึ่งตำแหน่งก็ตาม

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เทคนิคดีจีอี จะต้องได้ปริมาณดีเอ็นเอที่บริสุทธิ์ จากนั้นจึงนำมาเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอโดยใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะ เมื่อได้ PCR product แล้วจึงนำไปวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอบนเจลacryiamideโดยอาศัยปริมาณคู่เบส G-C ที่แตกต่างกันบนสายดีอีนเอเป็นตัวกำหนดการเคลื่อนที่ในความเข้มข้นของสาร denaturant ที่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมหรือการแยก จะแตกต่างกันไปตามลำดับและชนิดของเบส นั่นคือสายดีเอ็นเอสายดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันจะเคลื่อนที่บนเจลต่างกัน แสดงดังภาพที่ 6

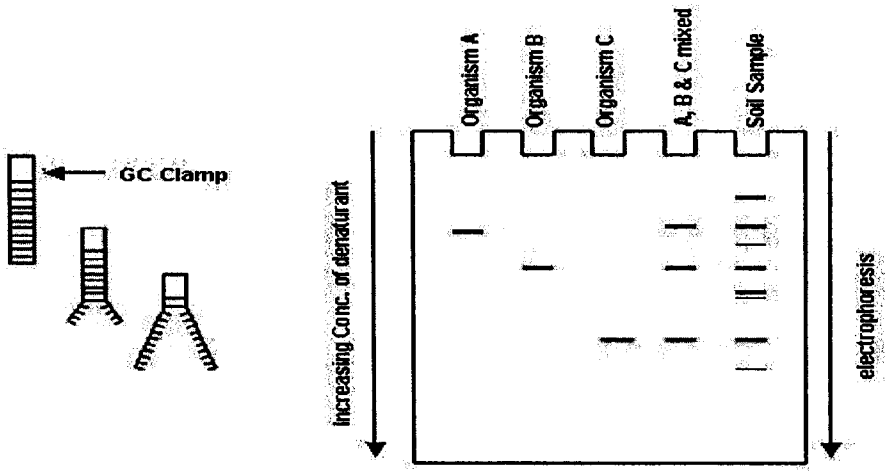


Figure 6. Moving on to the polyacrylamide gels of DNA by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis

ที่มา: Ward and Bora (2004)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณของเชื้อซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง
2. ศึกษาผลของซัลเฟต ที่มีต่อการเจริญของเชื้อซุปเปอร์พีเอส
3. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยเชื้อซุปเปอร์พีเอสโดยใช้ Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor system
4. ศึกษาผลของการให้แสงต่อการเจริญและการบำบัดน้ำเสียของซุปเปอร์พีเอส

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

2.1 วัสดุ

2.1.1 น้ำเสีย

น้ำเสีย: น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทอีฮับฮวด จำกัด จังหวัดสงขลา โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงจากจุดที่น้ำเสียออกจากบ่อดักเศษยาง ก่อนเข้าและออกจากบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย และบ่อปรับเสถียร (EQ pond)

2.1.2 จุลินทรีย์

เชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า (ซุปเปอร์พีเอส) มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่เป็นเชื้อก่อโรค และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (ราคา 45 บาทต่อลิตร) ผลิตโดยบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) จังหวัดสงขลา ในการทำการทดลองใช้ซุปเปอร์พีเอสที่ได้รับทันทีจากบริษัทโดยไม่มีการเก็บค้างคืน

2.1.3 อาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ G5 (Watanabe *et al.*, 1981) ประกอบด้วย Sodium-L-glutamate 4 กรัมต่อลิตร DL-malic acid3.5 กรัมต่อลิตร $KH_2PO_4$0.12 กรัมต่อลิตร K_2HPO_4 0.18 กรัมต่อลิตร Yeast extract 5 กรัมต่อลิตร และ peptone 5 กรัมต่อลิตร ปรับพีเอชเป็น 7.0 เติมผงวุ้น 15 กรัมต่อลิตร

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 ถังปฏิกรณ์สำหรับเลี้ยงซุปเปอร์พีเอส

ถังปฏิกรณ์สำหรับเลี้ยงเชื้อซุปเปอร์พีเอสทำด้วยแผ่นกระจกใส มีขนาดความกว้าง ×ความยาว×ความสูง เท่ากับ 7 นิ้ว×7 นิ้ว×7 นิ้ว ปริมาตร 5.6 ลิตร ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร ซึ่งมี

การส่องแสงทางด้านข้างถังปฏิกรณ์ด้วยหลอดไฟทังสเตน ส่วนด้านบนถังปฏิกรณ์จะปิดด้วยกระจกใสเพื่อให้แสงผ่านมายังถังปฏิกรณ์ (ภาพที่ 7 และ 8)

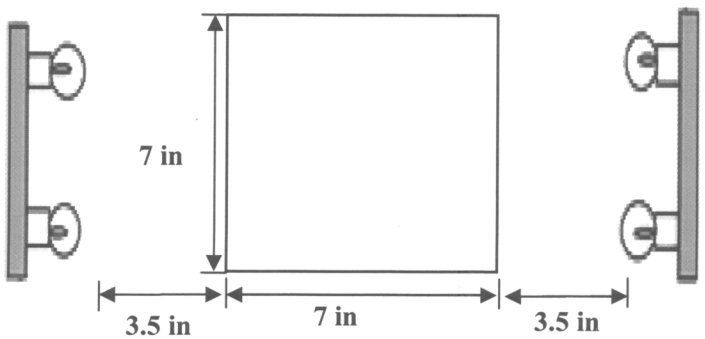


Figure 7 Diagram of reactor for the culture of photosynthetic bacteria

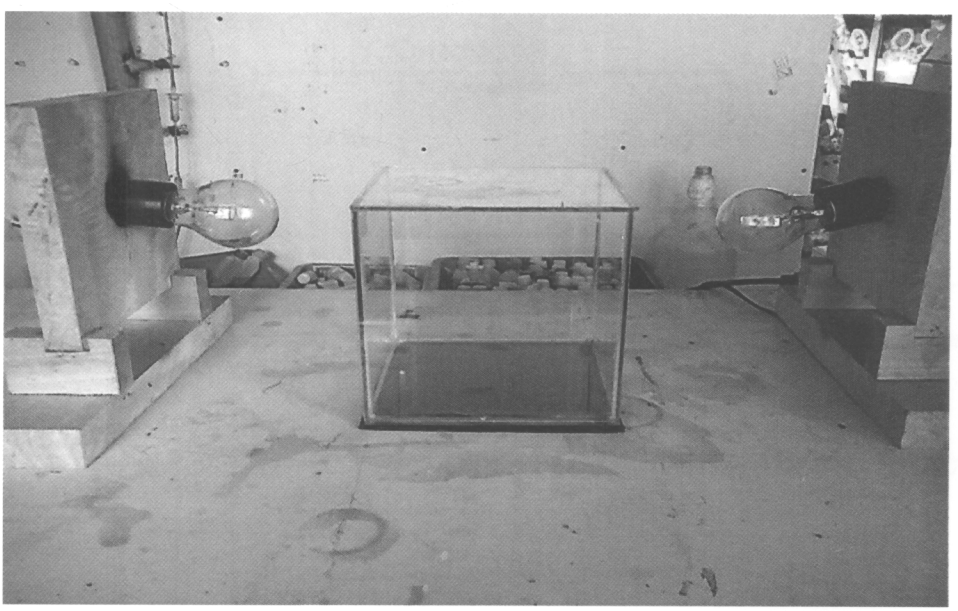


Figure 8 Reactor for the culture of photosynthetic bacteria with tungsten light

2.2.2 ถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor

ถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor ทำด้วยแผ่นกระจกใส ขนาดความกว้าง×ความยาว×ความสูง เท่ากับ 15 นิ้ว×7 นิ้ว×7 นิ้ว ปริมาตร 12 ลิตร ปริมาตรใช้งาน 10 ลิตร (ภาพที่ 9) ติดตั้งวาล์วต่อกับท่อยางส่งน้ำเข้าทางด้านบนของถังปฏิกรณ์ โดย peristaltic ปั๊ม และวาล์วปล่อยน้ำออกจากถังปฏิกรณ์สูงจากพื้นถังปฏิกรณ์ 5 นิ้ว เครื่องกวนน้ำแบบอาศัยแรงดันน้ำ (ปั๊มตู้ปลา) เพื่อกวนผสมน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ในการเติมน้ำเข้าระบบ นอกจากนี้ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ติดตั้งวาล์วต่อกับท่อยางปล่อยตะกอนส่วนเกินออกจากถังปฏิกรณ์ ด้านบนถังปฏิกรณ์ปิดด้วยกระจกใสเพื่อให้แสงจากหลอดไฟทังสเตนซึ่งอยู่ด้านบนถังปฏิกรณ์ผ่านมายังถังปฏิกรณ์และมีท่อสำหรับให้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุมค่า oxidation reduction potential (ORP) ให้อยู่ระหว่าง -300 และ-200 มิลลิโวลต์

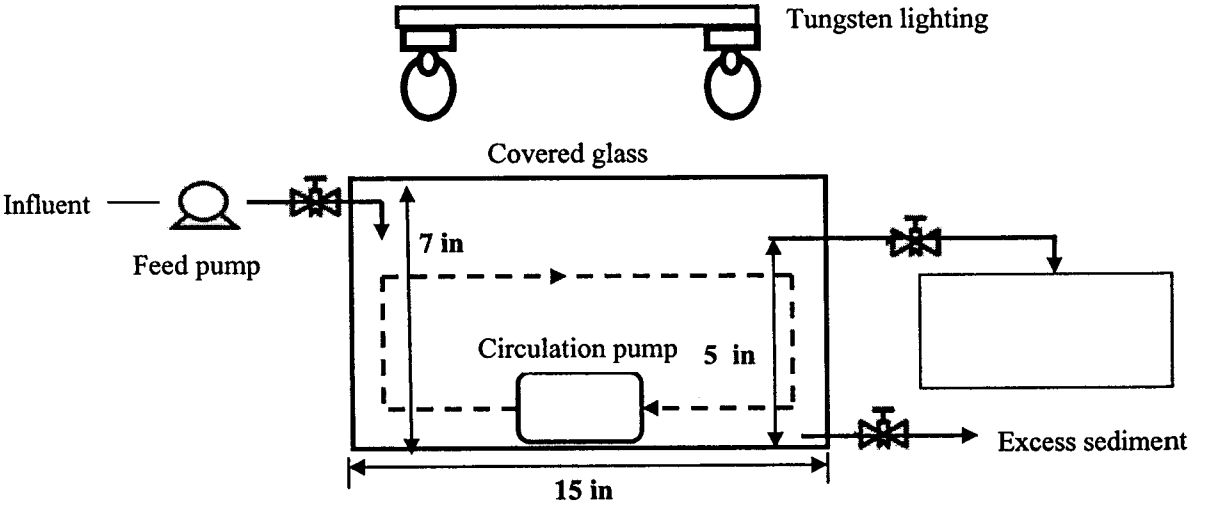


Figure 9 Diagram of micro-aerobic sequencing batch reactors with tungsten light at 4000 lux

วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ใช้วิธีการที่ระบุใน APHA, AWWA and WPCF (1998)

1) พีเอช

วัดพีเอชด้วย pH meter บริษัท Mettlerteledo

2) **COD** (Closed reflux method)

- tCOD (total COD)

เจือจางตัวอย่างให้มีค่าซีโอดี อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ล้างหลอดซีโอดีด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 20 เติมตัวอย่างที่เจือจางแล้ว 5.0 มิลลิลิตรเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีซิลเวอร์ซัลเฟต 7.0 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล มีเฟอร์โรอีนเป็นอินดิเคเตอร์

$$\text{tCOD (mg/L)} = \frac{(A-B)\times N\times 8{,}000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

A คือ มิลลิลิตรเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์

B คือ มิลลิลิตรเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

N คือ นอร์มัลลิตี้ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

3) **BOD_5** (Iodometric method)

ปรับพีเอชตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 6.5–7.5ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 20±1องศาเซลเซียส เติมน้ำกลั่นสำหรับเจือจางจนเต็มขวด BOD ปิดฝาขวด เขย่าอย่างแรงให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไลด์-ไอโอไดด์-อาไซด์ 2 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดผสมเป็นเนื้อเดียวกันเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0 มิลลิลิตรเขย่าโดยการกลับขวดอย่างแรงให้ตะกอนละลายหมดแล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ตวงตัวอย่างด้วยปริมาตรที่คำนวณได้ใส่ขวดรูปกรวย ไตเตรทตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลงเป็นสีฟางข้าว (A) เติมสารละลายน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร (จะได้สีน้ำเงิน) แล้วไตเตรทจนสีน้ำเงินหายไป (B) วิเคราะห์หาปริมาณ DO (DO_0) และนำอีกขวดไปแช่ในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันแล้ววิเคราะห์หาปริมาณ DO (DO_5)

$$BOD_5\ (mg/L) = \frac{DO_0 - DO_5}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

4) Solid (Gravimetric method)

-ปริมาณของแข็งทั้งหมด; TS (Total solid)

อบตัวอย่างถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ชั่งจนน้ำหนักคงที่ (B) ตวงตัวอย่างน้ำ 30-50 มิลลิลิตร ใส่ถ้วยกระเบื้องระเหยให้แห้งด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (A) คำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมด

$$\text{TS (mg/L)} = \frac{(A-B)\times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

-ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด; TSS (Total suspended solids)

อบกระดาษกรอง No. 1 ที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักจนคงที่ (B) หลังจากนั้นกรองตัวอย่างน้ำ 30-50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องกรองบุชเนอร์ล้างด้วยน้ำกลั่นนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (A) คำนวณปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(A-B)\times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

-MVLSS (Mixed liquor volatilesuspended solid)

อบกระดาษกรอง No. 1 ที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักจนคงที่ (B) หลังจากนั้นกรองตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ 30-50 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องกรองบุชเนอร์ล้างด้วยน้ำกลั่นนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (A) หลังจากนั้นนำกระดาษกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (C) คำนวณปริมาณ MVLSS

$$\text{MVLSS (mg/L)} = \frac{(A-B)-C\times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

5) ปริมาณซัลเฟต โดยวิธีวัดความขุ่น (Turbidimetric)

ตวงน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร (หากตัวอย่างขุ่นให้กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C ก่อน) เติมคอนดิชันนิง รีเอเจนต์ (ภาคผนวก) 5 มิลลิลิตร ผสมและกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมกับเติมผลึกแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 1 ช้อน (เริ่มจับเวลาทันที) เมื่อกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กครบ 1 นาที หยุดกวน แล้วนำไปวัดค่าความขุ่นที่ 420 มิลลิไมครอน Light path 4 – 5 เซนติเมตร ภายใน 10 นาที (เจาะจงเวลาให้เท่า ๆ กันทุกครั้ง) นำค่าที่ได้ไปอ่านปริมาณซัลเฟตจากกราฟมาตรฐาน

- กราฟมาตรฐานซัลเฟต

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตมา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (คิดเป็นปริมาณซัลเฟต 500, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 ไมโครกรัม ตามลำดับ) เติมคอนดิชันนิง รีเอเจนต์ (ภาคผนวก) 5 มิลลิลิตร ผสมและกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมกับเติมผลึกแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 1 ช้อน (เริ่มจับเวลาทันที) เมื่อกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กครบ 1 นาทีหยุดกวน แล้วนำไปวัดค่าความขุ่นที่ 420 มิลลิไมครอน Light path 4-5 เซนติเมตร ภายใน 10 นาที (เจาะจงเวลาให้เท่าๆ กันทุกครั้ง) นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก)

$$\text{ปริมาณซัลเฟต (mg/L)} = \frac{\text{ปริมาณซัลเฟตที่อ่านจากกราฟ (ไมโครกรัม)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

6) ปริมาณซัลไฟด์ (Iodometric)

นำน้ำเสียที่ผ่านการเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายซิงค์อะซีเตต เข้มข้น 2 นอร์มัล จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ลงในขวดปฏิกิริยาขนาด 300 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 6 นอร์มัล จำนวน 0.3 มิลลิลิตร หรือจนกระทั่งสารละลายในขวดปฏิกิริยามีพีเอชมากกว่า 9 ปิดจุกอย่าให้มีฟองอากาศ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 30 นาทีกรองตะกอน ล้างตะกอนด้วยสารละลายเจือจางโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำตะกอนใส่กลับลงไปในขวดปฏิกิริยาแล้วเติมน้ำกลั่น จำนวน 100 มิลลิลิตรทำการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ โดยเติมสารละลายไอโอดีนเข้มข้น 1นอร์มัล จำนวน (a) 5 มิลลิลิตร เติมลงไปในปฏิกิริยา จากนั้นไตเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัลจำนวน b มิลลิลิตร ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

ปริมาณซัลไฟด์ในปฏิกิริยา = a - b มิลลิกรัมสมมูล

หรือ = (a - b)(17) มิลลิกรัม H_2S

หรือ = (a - b)(16) มิลลิกรัม S

ทั้งนี้เนื่องจาก H_2S = 17 มิลลิกรัมสมมูล และ S =16 มิลลิกรัมสมมูล

7) อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio)

F/M ratio หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าระบบ (กิโลกรัมต่อวัน) ต่อน้ำหนักตะกอน (Kaewsuk *et al.*, 2010)

อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ = น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อวัน / น้ำหนักของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ

= น้ำหนักของ BOD ที่เข้าเป็นกิโลกรัม/วัน / น้ำหนักของ MLSS ในถังเติมอากาศ(กิโลกรัม)

8) เวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) คือระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ

โดยที่ เวลากักเก็บน้ำ = ปริมาตรของถัง (ลูกบาศก์เมตร) / อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

9) อัตราภาระบบทุกสารอินทรีย์ (OLR)

หมายถึง อัตราการรับสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี จากน้ำเสียที่ไหลเข้า ต่อปริมาตรของถังปฏิกิริยา 1 ลบ.ม. ในระยะเวลา 1 วัน ใช้หน่วยเป็น กก./ลบ. (เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ,2538)

OLR = ความเข้มข้นของ COD / HRT

10) โปรแกรม SPSS (Statistics Package for the Social Sciences)

Sample T-test ของโปรแกรม SPSS เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P > 0.05) โดยการป้อนข้อมูลลงใน work sheet โดยแบ่งเป็น 2 คอลัมน์ การวิเคราะห์ให้เลือกเมนู Statistic\One, Two, Multi-Sample tests\Pair T-test จากนั้นเลือกคู่ของตัวแปรที่ต้องการเปรียบเทียบ แล้วเลือก

Alternative hypothesis ในกรณีนี้ต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของทั้งคู่มีความแตกต่างกันหรือไม่ (แบบ 2 ทาง) ให้เลือก H1 เป็น not equal คลิก OK เพื่อวิเคราะห์ผล (Kaewsuk *et al.*, 2010)

วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นและยางแท่ง

ทำการสำรวจและวาดแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท อีฮับฮวด จำกัด จังหวัดสงขลา นำเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงจากระบบบำบัดน้ำเสียจากทุกจุดที่เข้า-ออกของน้ำเสียในแต่ละบ่อของระบบบำบัดน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียได้แก่ความเป็นกรดด่าง ซีโอดีบีโอดีปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณซัลเฟต และปริมาณซัลไฟด์ คำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละบ่อ

2.2 ปริมาณของเชื้อซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นและยางแท่ง

ทำ serial dilution ของซุปเปอร์พีเอสโดยปีเปตตัวอย่างซุปเปอร์พีเอส 1 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำเกลือ 9 มิลลิลิตร จะได้ระดับการเจือจาง 10^{-1} และปีเปตจากระดับการเจือจาง 10^{-1} ดูดมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำเกลือ 9 มิลลิลิตร จะได้ระดับการเจือจาง10^{-2}และทำอย่างเดียวกันจนได้ความเข้มข้นที่ 10^{-7} เมื่อทำการเจือจางที่ระดับต่างๆ แล้ว ดูดตัวอย่างละ 0.1 มิลลิลิตร แต่ละการเจือจาง (10^{-1}-10^{-7}) โดยใช้ปีเปตที่ผ่านการฆ่าเชื้อขนาด 1 มิลลิลิตร ใส่ลงบนผิวหน้าอาหารแข็งของ G5 จากนั้นใช้แท่งแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เกลี่ยบนผิวหน้าอาหารแข็ง จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในสภาวะที่มีแสงด้วยการส่องไฟด้วยหลอดไฟทังสเตนที่ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 3,000-4,000 ลักซ์ เป็นเวลา 7 วัน การนับจำนวนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงซุปเปอร์พีเอสในจานเพาะเชื้อที่ระดับเจือจางซึ่งให้จำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี แล้วจึงคำนวณจำนวนโคโลนีที่ได้ต่อตัวอย่างที่ใช้เกลี่ยบนผิวหน้าวุ้น 0.1 มิลลิลิตร โดยการรายงานปริมาณเชื้อในหน่วยของ CFU/mL (APHA, AWWA และ WEF, 1998) จากนั้นเลี้ยงซุปเปอร์พีเอสในตัวอย่างน้ำเสีย ซึ่งเป็นน้ำเสียก่อนลงสู่บ่อเติมอากาศของบริษัท อีฮับฮวด จำกัด จังหวัดสงขลา ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดไฟทังสเตน โดยเติมน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร มีการให้แสงทางด้านข้าง ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ข้อมูลจากบริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน), ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์ก่อนเติมน้ำเสีย) โดยปรับปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 วัน เพื่อวิเคราะห์

ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณซัลเฟต ปริมาณซัลไฟด์ และเอ็มแอลเอสเอส (MLVSS) ของซุปเปอร์พีเอสในการทดลองใช้ระยะเวลา 10 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นเลือกปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่สามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุดไปใช้ในการทดลองถัดไป

2.3 ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของระบบการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยการทดลองเดินระบบแบบกะ (batch) จากการทดลองที่ 2.2 จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (เอ็มแอลวีเอสเอส; X) และสารอาหาร (ความเข้มข้นของซีโอดี; S) ตลอดระยะเวลาการทดลอง (t) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง (ใช้สมการ (1) ถึง (17) ที่ได้กล่าวมาข้างต้น) ดังนี้

- อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักของจุลินทรีย์ (Maximum rate of substrate degradation; k) และ ความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (Michaelis constant; K_m) โดยสมการที่ (4) ใช้ค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด (dS) และเอ็มแอลวีเอสเอสที่ได้จากการเจริญของซุปเปอร์พีเอส 6 % (v/v) ของช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Xdt) เพื่อคำนวณค่า อัตราย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ (U) หลังจากนั้นจากสมการที่ (5) พล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{U}$ และ $\frac{1}{S}$ จุดตัดแกน Y คือค่า 1/k และความชันของกราฟคือค่า K_m/k

$$U = -\frac{dS}{Xdt} \tag{4}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{S} \times \frac{K_m}{k} + \frac{1}{k} \tag{5}$$

- อัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์ (Yield coefficient: Y) และ ค่าคงที่การตายของจุลินทรีย์ (Bateria decay coefficient; Kd) โดยคำนวณหา $\frac{dX}{Xt}$ จากการเปลี่ยนแปลงค่าเอ็มแอลวีเอสเอสในระบบ (dX) หารด้วยค่าเอ็มแอลวีเอสเอสของช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Xdt) และหา $\frac{dS}{Xt}$ จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นซีโอดีในระบบ (dS) หารด้วยค่าเอ็มแอลวีเอสเอสของช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Xdt) หลังจากนั้นจากสมการที่ 13 ทำการพล็อตกราฟที่มีแกน x คือ $\frac{dS}{Xt}$ และแกน

y คือ ค่า $\frac{dX}{Xt}$ จากกราฟจะได้ความชันกราฟคือสัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (Y) และจุดตัดแกน y คืออัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d)

$$\frac{dX}{Xdt} = Y\frac{dS}{Xdt} - k_d \qquad (13)$$

- ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเมื่อมีการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุด (Half velocity coefficient; $\mathbf{K_s}$) และ อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (Maximum specific growth rate; $\boldsymbol{\mu_m}$) โดยคำนวณหา $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$ จากระยะเวลากักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (Øc), อัตราการตายของจุลินทรีย์ (kd) และความเข้มข้นของซีโอดี (S) หลังจากนั้นใช้สมการที่ (15) พล็อตกราฟโดยใช้แกน x คือ S (ความเข้มข้นของซีโอดี) และแกน y คือค่า $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$ จากกราฟจะได้ความชันกราฟคือ $\frac{1}{\mu_m}$ และจุดตัดแกน y คือ $\frac{K_s}{\mu_m}$

$$S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right] = \frac{1}{\mu_m \times S} + \frac{K_s}{\mu_m} \qquad (15)$$

2.4 ผลของการให้แสงต่อการเจริญของเชื้อซุปเปอร์พีเอส

2.4.1 ผลของระยะเวลาการให้แสง

เลี้ยงซุปเปอร์พีเอสลงในน้ำเสียเช่นเดียวกับข้อ 2.2 ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดไฟทังสเตน โดยเติมน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร มีการให้แสงทางด้านข้างที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ข้อมูลจากบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน),ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์ก่อนเติมน้ำเสีย) ใช้ปริมาณเชื้อซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.2 การทดลองนี้จะแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ทำการให้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ชุดการทดลองที่ 2 ทำการให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมง และชุดการทดลองที่ 3 ทำการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง) (Honda, 2005) ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลอง ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 10 วัน เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 วัน ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2 เพื่อเลือกระยะเวลา

การให้แสงที่ดีที่สุดที่เชื้อซุปเปอร์พีเอสสามารถเจริญและกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (ลดค่าซีโอดี) ได้มากที่สุดไปใช้ในการทดลองถัดไป

2.4.2 ผลของปริมาณเซลล์ต่อการส่องผ่านของแสง

เลี้ยงซุปเปอร์พีเอสที่ 6, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) ลงในน้ำเสียเช่นเดียวกับข้อ 2.2 โดยเติมน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดไฟทังสเตน โดยเติมน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร มีการให้แสงรอบทิศทาง (ทางด้านข้างและด้านบน) ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ข้อมูลจากบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน), ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์ก่อนเติมน้ำเสีย) ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมงในการทดลองทั้งหมด 10 วัน เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 วัน ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1 เปรียบเทียบผลการทดลองกับข้อ 2.2

2.5 ผลของซัลเฟตต่อการเจริญของเชื้อซุปเปอร์พีเอส

เลี้ยงซุปเปอร์พีเอสลงในน้ำเสียตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.2 และ 2.4 ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดไฟทังสเตน โดยเติมน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร มีการให้แสงทางด้านข้าง ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ข้อมูลจากบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน), ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์ก่อนเติมน้ำเสีย) โดยใช้ปริมาณเชื้อซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.2 และระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.4ปรับปริมาณซัลเฟตโดยใช้โพแทสเซียมซัลเฟต จนกระทั่งความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 6,000 และ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้น้ำเสียที่ไม่มีการเติมซัลเฟต (ชุดควบคุม) ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 10 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 2 วัน ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2.2 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของซัลเฟตที่สูงสุดที่เชื้อซุปเปอร์พีเอสสามารถเจริญและกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้

2.6 การกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor

2.6.1 การเริ่มต้นระบบ (Start-up)

เริ่มต้นการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 10 ลิตร ทั้งหมด 5 ถัง โดยถังที่ 1-4 ทำการเริ่มระบบโดยการเติมซุปเปอร์พีเอส ที่ผลิตโดยบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) นำปริมาณเชื้อซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.2 เติมในแต่ละถังปฏิกรณ์

ชนิด Micro-aerobic SBRสำหรับถังที่ 5ทำการเริ่มระบบโดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอสถังปฏิกรณ์ทั้ง 5 ถังมีการให้แสงทางด้านบน ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์) มีการเติมน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทำการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำประปา) ทำการปล่อยและเติมน้ำเสีย 1 ลิตรต่อวัน คิดเป็นระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) เป็นเวลา 10 วัน (ผลจากระยะเวลาการเจริญสูงสุดของซุปเปอร์พีเอสในการทดลองที่ 2.2) และมีการกวนผสมเฉพาะเวลาการเติมน้ำเข้าระบบเท่านั้นการทำงานของถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic SBR จะทำงาน 1 วัฏจักรต่อ 1 วัน โดย 1 วัฏจักร (24 ชั่วโมง) จะประกอบด้วย ช่วงการเติมน้ำเสีย ช่วงทำปฏิกิริยา (ให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์) และช่วงปล่อยน้ำทิ้ง ทำการควบคุม oxidation reduction potential (ORP) ให้อยู่ในช่วง -300 และ -200 มิลลิโวลต์ แต่ถ้าหากค่า ORP ไม่ได้อยู่ในช่วงดังกล่าว ให้ทำการเติมก๊าซไนโตรเจนลงไปในถังปฏิกรณ์ (Kaewsuk *et al.*, 2010) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดี และปริมาณซัลเฟต จากน้ำเสียที่ออกจากระบบ ปริมาณเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) จากตะกอนในระบบ (เก็บจากช่วงตกตะกอน) ทุก 2 วัน

2.6.2 ผลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์

หลังจากเริ่มต้นระบบแล้วทำการศึกษาอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่ 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่ 1-4 จากการทดลองที่ 2.6.1 โดยปรับชีวมวล (ปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอส) ภายในระบบ เมื่อเริ่มต้นเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงที่ (เดินระบบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.6.1, มีการให้แสงทางด้านบน ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์))ทำการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณซัลเฟตจากน้ำเสียที่ก่อนและหลังเข้าระบบ ทุกๆ 3 วัน และปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอส จากตะกอนในระบบ ทุกวัน จากนั้นเลือกอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ที่สามารถลดค่าซีโอดีได้มากที่สุดไปใช้ในการทดลองถัดไป

2.6.3 ผลของแหล่งจุลินทรีย์

ทำการทดลองการเดินระบบเปรียบเทียบกับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานอีฮับฮวด โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานอีฮับฮวด โดยชุดการทดลองที่ 1 เดินระบบที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (ค่าที่โรงงานใช้เดินระบบอยู่) และชุดการทดลองที่ 2 เดินระบบที่ F/M ratio ที่เหมาะสมจากข้อ 2.6.2 โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีการให้อากาศ และควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ซุปเปอร์พีเอสไม่มีการให้

อากาศเดินระบบที่ F/M ratio ที่เหมาะสมจากข้อ 2.6.2 มีการให้แสงทางด้านบน ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์) วิเคราะห์ค่าซีโอดี ปริมาณซัลเฟต และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังเข้าระบบที่สภาวะคงที่ (steady state)

2.6.4 ผลของแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้ micro-aerobic SRB

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้แสงจากดวงอาทิตย์ และชุดการทดลองที่ 2 ใช้แสงจากหลอดไฟทังสเตนทางด้านบนที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์) ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีการเติมปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมจากผลการทดลองข้อ 2.2 ไม่มีการให้อากาศ มีการเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทำการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำประปา) ปริมาตร 1 ลิตรต่อวัน และมีการกวนผสมเฉพาะเวลาการเติมน้ำเสียเข้าระบบเท่านั้น คิดเป็น OLR เท่ากับ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน และ HRT เท่ากับ 10 วัน (ผลจากระยะเวลาการเจริญสูงสุดของซุปเปอร์พีเอส ในการทดลองที่ 2.2) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดี และปริมาณซัลเฟตจากน้ำเสียที่ออกจากระบบ ปริมาณเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) จากตะกอนในระบบ (เก็บจากช่วงตกตะกอน) ทุก 2 วัน

2.6.5 ความหลากหลายของเชื้อโดยใช้เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ได้แก่ ซุปเปอร์พีเอส, น้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด, น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย micro-aerobic SBR ที่ F/M ratio ที่เหมาะสมจากข้อ 2.6.2 ในวันที่ 7, 14, 21, 28 และ 35 ทำการสกัดดีเอ็นเอโดยใช้ GF-1 Bacterial DNA Extraction Kit ตรวจดูดีเอ็นเอด้วยวิธี gel electrophoresis หลังจากนั้นทำการเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA จากดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วย Polymerase chain reaction (PCR) โดยใช้ primer 341F (5′CCTACGGGAGGCAGCAG-3′) และ primer 518R (5′-ATTACCGCGGCTGCTGG -3′) (Remmerbach, *et al.*, 2004) ซึ่งมีความจำเพาะกับบริเวณบางส่วนของยีน 16S rRNA ปฏิกิริยาประกอบไปด้วยดีเอ็นเอต้นแบบ 10 - 100 นาโนกรัม, PCR buffer (10x), $MgCl_2$ 1.5 mM, dNTPs 200 µM, primer, DNA polymerase1 unit, น้ำและ Dimethyl sulfoxide (DMSO) ร้อยละ 5 จากนั้นนำเข้าเครื่อง Thermocycler (GeneAmp PCR System 9700) ด้วยรอบการทำงานจำนวน 30 รอบ แต่ละรอบการทำงานของการเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA ของแบคทีเรียประกอบไปด้วย Denaturation 94 องศาเซลเซียส 1 นาที Annealing 48

องศาเซลเซียส 1 นาที Extension 72 องศาเซลเซียส 2 นาที โดยรอบสุดท้ายเพิ่ม Extension 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ส่วนรอบการทำงานของการเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA ประกอบด้วย Denaturation 94 องศาเซลเซียส 1 นาที Annealing 63 องศาเซลเซียส 1 นาที Extension 72 องศาเซลเซียส 2 นาที โดยรอบสุดท้ายเพิ่ม Extension 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการตรวจสอบขนาดของยีน 16S rRNA ด้วยเทคนิคอิเลคโตรโฟรีซีสในเจลอะกาโรสความเข้มข้น 1 %, หาลำดับเบสจากการวิเคราะห์ด้วย DGGE นำ PCR product ที่ได้ไปวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอบนเจล polyacrylamide หนา 1 มิลลิเมตร (T = 6%, Acr:Bis = 37.5:1) จะใช้สาร denaturant gradient 20% ไปจนถึง 60 % ไล่ความเข้มข้นจากมากไปหาน้อย จากส่วนบนของแผ่นเจลลงไปถึงส่วนล่างของแผ่นเจล และใช้กระแสไฟฟ้าช่วยกระตุ้นในการเคลื่อนที่ของท่อนสายดีเอ็นเอ ไปตามแผ่นเจล โดยใช้ 1×TAE buffer เป็นตัวกลาง ใช้เวลา 6 ชั่วโมง ที่กระแสไฟฟ้า 150 โวลต์ (He *et al.*, 2008) หลังจากนั้นนำลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16 rRNA ที่ได้เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลสาธารณะ GenBank โดยวิธี Basic local alignment search tool (BLAST) เพื่อเปรียบเทียบความหลากหลายของเชื้อกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในซุปเปอร์พีเอสและน้ำเสียเริ่มต้นก่อนการทดลอง

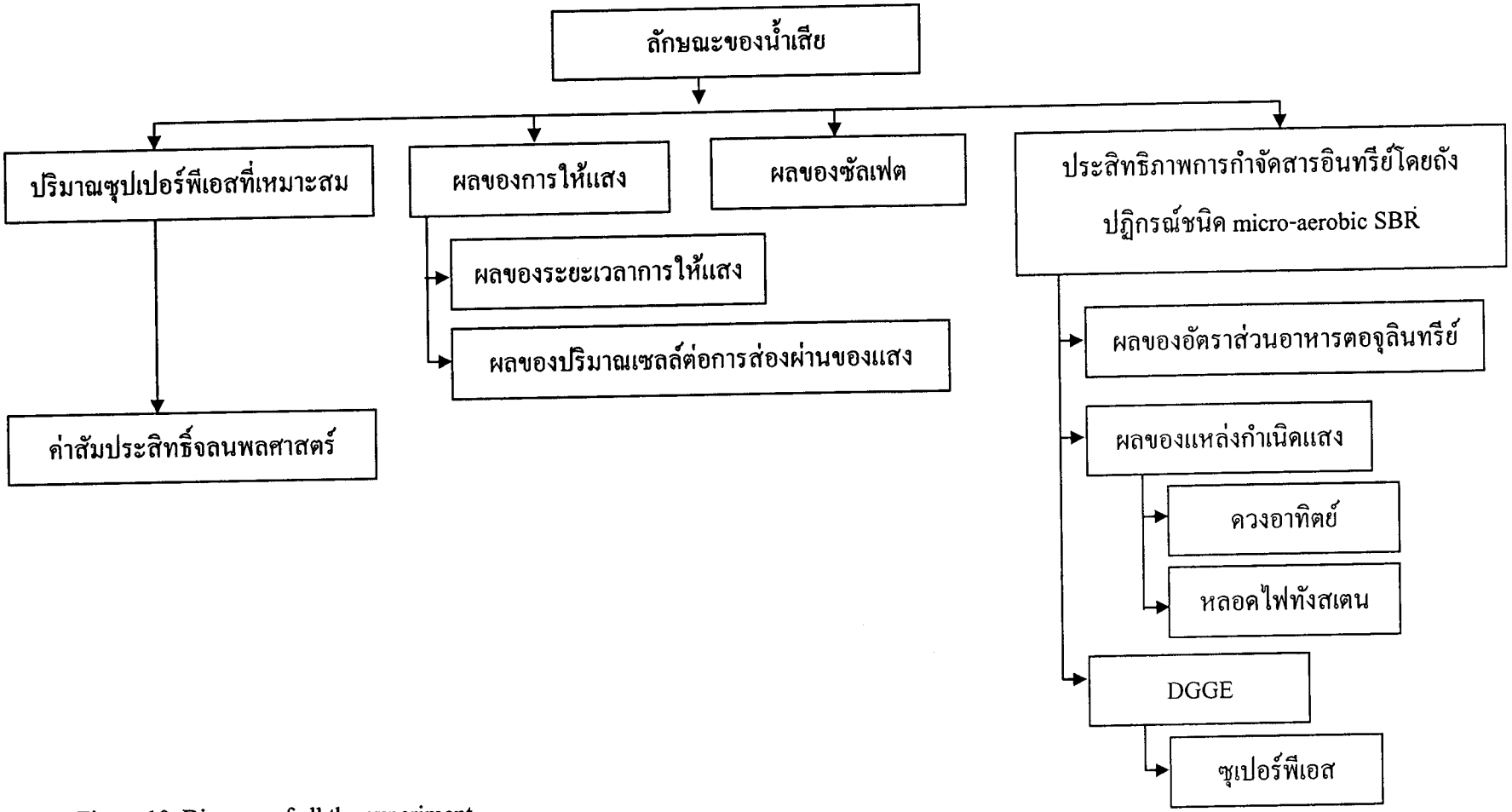


Figure 10. Diagram of all the experiment

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง

จากการสำรวจและสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด จังหวัดสงขลา พบว่าเป็นระบบเอเอสแบบเติมอากาศในบ่อคอนกรีต ซึ่งมีการเติมอากาศตลอดเวลา โดยใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทั้งระบบบำบัดเท่ากับ 25 วัน แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียดังแสดงในภาพที่ 11 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียมีปริมาณ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยเริ่มต้นจากเข้าสู่บ่อปรับเสถียรจำนวน 1 บ่อ ระบบบำบัดที่ก่อสร้างเป็นบ่อคอนกรีตเติมอากาศ 2 บ่อน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมอากาศจะมีการเติมปูนขาวเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้ pH เป็นกลาง และปรับปริมาณซีโอดีให้อยู่ในช่วง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (wetland)

นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง ทำการวิเคราะห์ลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียด้วยกัน 6 จุด แสดงดังภาพที่ 11 ได้แก่ จุดที่ 1 น้ำเสียที่ออกจากบ่อปรับเสถียร (บ่อ EQ) จุดที่ 2 น้ำเสียที่มีการปรับปริมาณซีโอดีให้อยู่ประมาณ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย ก่อนเข้าบ่อเติมอากาศ จุดที่ 3 น้ำเสียที่ออกจากบ่อเติมอากาศเข้าสู่ถังตกตะกอน จุดที่ 4 น้ำส่วนใสที่ออกจากถังตกตะกอนเข้าสู่บ่อดิน จุดที่ 5 น้ำจากบ่อดินเข้าสู่บ่อสุดท้าย และจุดที่ 6 น้ำหลังการบำบัดของบ่อสุดท้าย

จากลักษณะน้ำเสียของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด (ตารางที่ 4) พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียที่บ่อเติมอากาศสามารถลดปริมาณซีโอดีจาก 11,346 เป็น 4,663 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 58.9 % บ่อตกตะกอนสามารถลดปริมาณซีโอดีจาก 4,663 เป็น 326 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 93.9 % เนื่องจากเป็นการแยกระหว่างตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำที่ผ่านการบำบัด บ่อนี้จึงสามารถลดซีโอดีได้สูง บ่อดินสามารถลดปริมาณซีโอดีจาก 326 เป็น 286 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 12.2 % และบ่อสุดท้ายสามารถลดปริมาณซีโอดีจาก 286 เป็น 251 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 13.7% นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซัลเฟตของระบบบำบัดน้ำเสีย (ภาพที่ 11) ที่บ่อเติมอากาศสามารถลดปริมาณซัลเฟตจาก 3,125 เป็น 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร คิด

เป็น 60.0% บ่อตกตะกอนสามารถลดปริมาณซัลเฟตจาก 1,250 เป็น 923 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 26.2% บ่อดินสามารถลดปริมาณซัลเฟตจาก 923 เป็น 852 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 8.0% และบ่อสุดท้ายสามารถลดปริมาณซัลเฟตจาก 852 เป็น 799 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 6.3% (บ่อสุดท้ายใช้ในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย) จะเห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด สามารถบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมที่กฎหมายกำหนด (ปริมาณซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539))

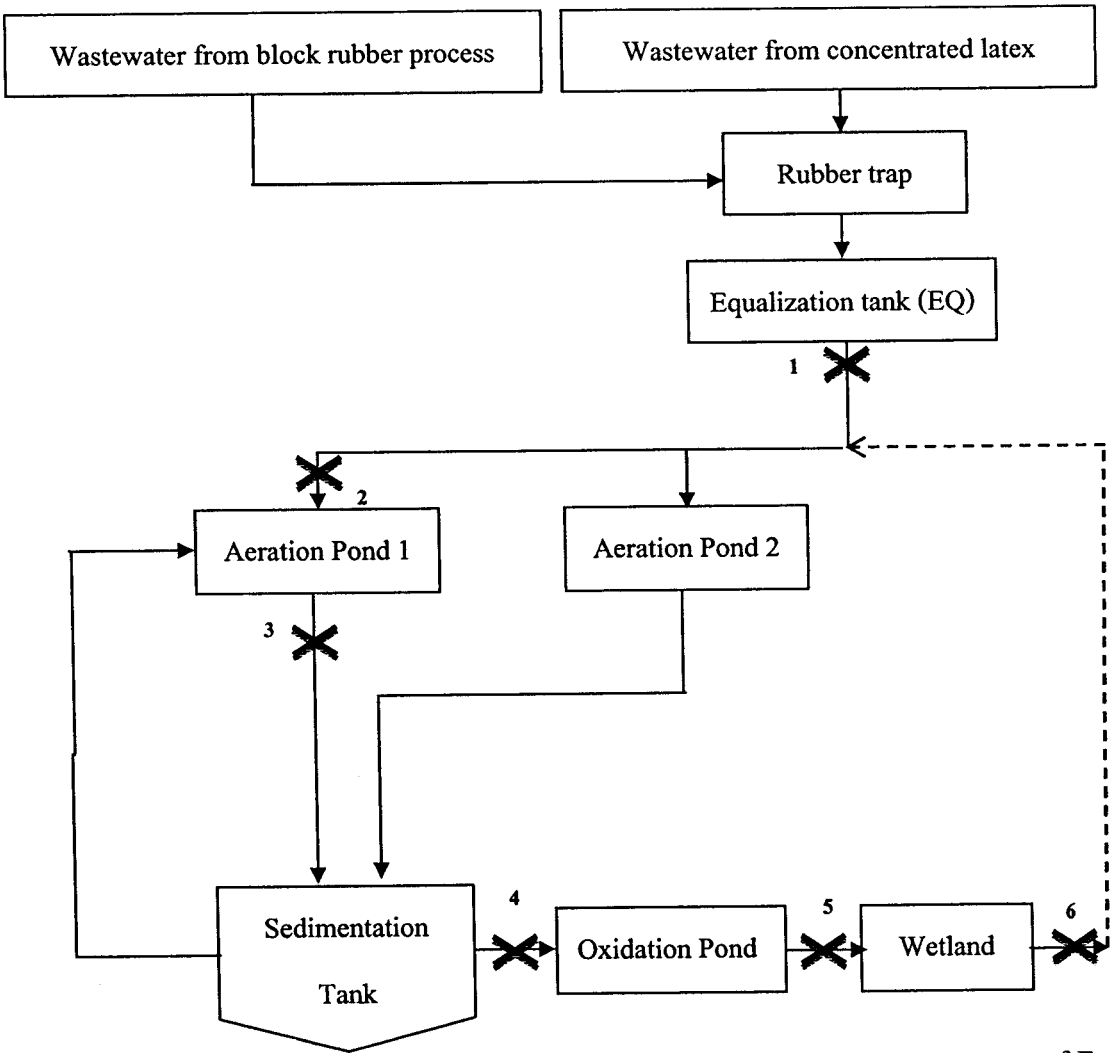


Figure 11. Diagram and sampling points (1-6) from the wastewater treatment processof E-Hub Huad Co., Ltd., Songkhla, Thailand.

Note: Aeration pond 2 is used in case of the excess wastewater.

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซัลเฟต เท่ากับ 97.1 และ 70.5% แต่จำเป็นต้องใช้บ่อบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดหลายบ่อ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ในการก่อตั้ง และการบำบัดน้ำเสียในบ่อเติมอากาศมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 58.9%) จึงเป็นเหตุให้ต้องใช้บ่อบำบัดหลายบ่อในการบำบัดสารอินทรีย์นอกจากนี้ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท อีฮับฮวด จำกัด ยังสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากจำเป็นต้องให้อากาศในบ่อเติมอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งค่าไฟฟ้าของระบบบำบัดเฉลี่ยประมาณ 140,000-150,000 บาทต่อเดือน

Table 4 Characteristics of wastewater from wastewater treatment system at E-Hub Huad Co., Ltd.

Parameters	**Position**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
pH	5.7	5.7	6.9	6.9	6.9	6.9
BOD(Biochemical Oxygen Demand) (mg/l)	26,587	6,942	1,865	116	73	58.9
COD (Chemical Oxygen Demand) (mg/l)	38,100	11,346	4,663	326	286	251
TS (Total solids) (mg/l)	5,824	5,824	1,785.23	757	698	469
TSS (Total suspended solids) (mg/l)	1,235	1,235	547	259	169	135
Sulfide (mg/l)	21	18.6	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfate (mg/l)	3,247	3,125	1,250	923	852	799
% COD removal		58.9	93.9	12.2	13.7	
% sulfate removal		60.0	26.2	8.0	6.3	

Note: position 1: effluent from EQ tank, position 2: after adjustment of COD concentration, position 3: effluent from aerobic pond, position 4: effluent from sedimentation tank, position 5: effluent from oxidation pond and position 6: effluent from wetland

3.2 ปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสีย

จากการนำซุปเปอร์พีเอส มา spread plate บนอาหารแข็ง G-5 medium นำการบ่มไว้ใน anaerobic jar ส่องด้วยไฟ 100 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าซุปเปอร์พีเอส มีลักษณะโคโลนีเป็นสีแดง (ภาพที่ 12) และเมื่อนำไปส่องดูลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเซลล์มีรูปร่างท่อน กลม และรูปเกลียว จำนวนโคโลนีทั้งหมดในซุปเปอร์พีเอสเท่ากับ $2.7x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นเชื้ออะไร เนื่องจากกลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง มีหลายเชื้อที่มีโคโลนีเซลล์รูปร่างท่อน กลม และรูปเกลียว ที่มีสีแดง จึงต้องวิเคราะห์ความหลากหลายของซุปเปอร์พีเอสโดยใช้เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) ต่อไป

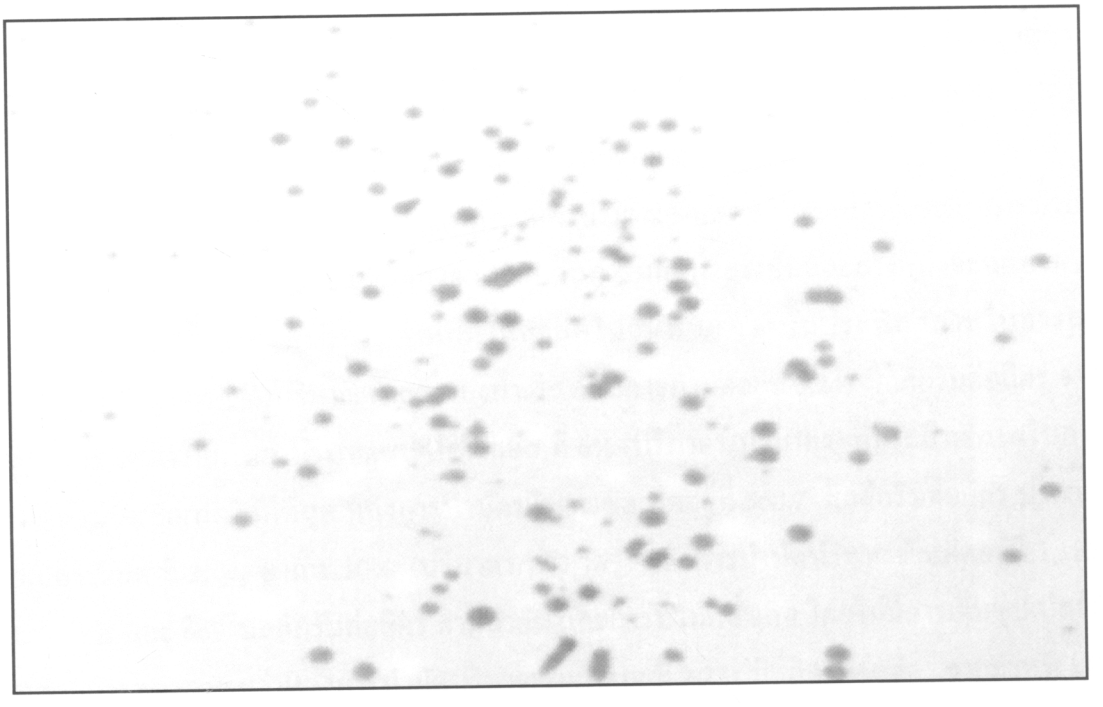


Figure 12 The growth of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the G-5 medium

จากการศึกษาปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมต่อการเจริญในน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของบริษัทอีสับฮวด จำกัด ที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอส 0, 2, 4, 6 , 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) (คิดเป็นจำนวน 0, $5.4x10^5$, $1.1x10^6$, $1.6 x10^6$, $2.2 x10^6$ และ $2.7x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรน้ำเสีย ตามลำดับ) ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดทังสเตน ความเข้มแสง 4,000ลักซ์ จาก

ผลการวิเคราะห์ซีโอดีเริ่มต้นในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง มีปริมาณเท่ากับ 38,100 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นเมื่อผ่านการบำบัดปริมาณซีโอดีลดลงตามระยะเวลา และสามารถบำบัดซีโอดีได้สูงสุดในวันที่ 10 ทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 13a) จากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะคงที่ จากภาพที่ 13a แสดงให้เห็นว่าปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุด หลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 2,701 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 2, 4, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 10,599, 12,992, 4,496 และ 4,900 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส จากการทดลองพบว่าหลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 22,529 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 13b แสดงให้เห็นว่าปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุด ถึง 92.9 % ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 2, 4, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ 65.9, 72.12, 88.2 และ 87.1% ตามลำดับ และการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นและยางแท่ง โดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส จากการทดลองพบว่าหลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ 40.9 % ซึ่งการลดลงของปริมาณซีโอดีในการบำบัดน้ำเสียแสดงว่าซุปเปอร์พีเอสสามารถใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานยางได้ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าการไม่เติมซุปเปอร์พีเอส

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณซัลเฟตของซุปเปอร์พีเอสในการบำบัดน้ำเสียพบว่าปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งจะลดลงตามระยะเวลา และสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้สูงสุดในวันที่ 10 จากนั้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟตจะคงที่ ซึ่งปริมาณซัลเฟตของน้ำเสีย ก่อนการบำบัดอยู่ที่ 3,247 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 14a แสดงให้เห็นว่าปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตได้ดีที่สุด หลังการบำบัดปริมาณซัลเฟตอยู่ที่ 568.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 2, 4, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังการบำบัดปริมาณซัลเฟตอยู่ที่ 1,185, 1,110, 661 และ 669 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส จากการทดลองพบว่าหลังการบำบัดปริมาณซัลเฟตอยู่ที่ 2,231 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 14b แสดงให้เห็นว่าปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตได้ดีที่สุด ถึง 82.5% ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 2, 4, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตที่ 63.5, 65.8, 79.6 และ 79.4% ตามลำดับ และการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส จากการทดลองพบว่าหลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตที่ 31.3% จะเห็นว่าซุปเปอร์พีเอส ช่วยลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียโรงงานยางได้ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SRB) ซึ่ง

คาดว่าเจริญอยู่ในน้ำเสียเริ่มต้นที่มีปริมาณซัลเฟตสูงทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Honda, 2005) และซุปเปอร์พีเอสที่คาดว่าเป็นแบคทีเรียชนิดสังเคราะห์แสงสามารถเจริญได้โดยใช้ H_2S เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการสังเคราะห์แสง (Madigan *et al.*, 2000) จึงทำให้ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียโดยรวมมีปริมาณลดลง

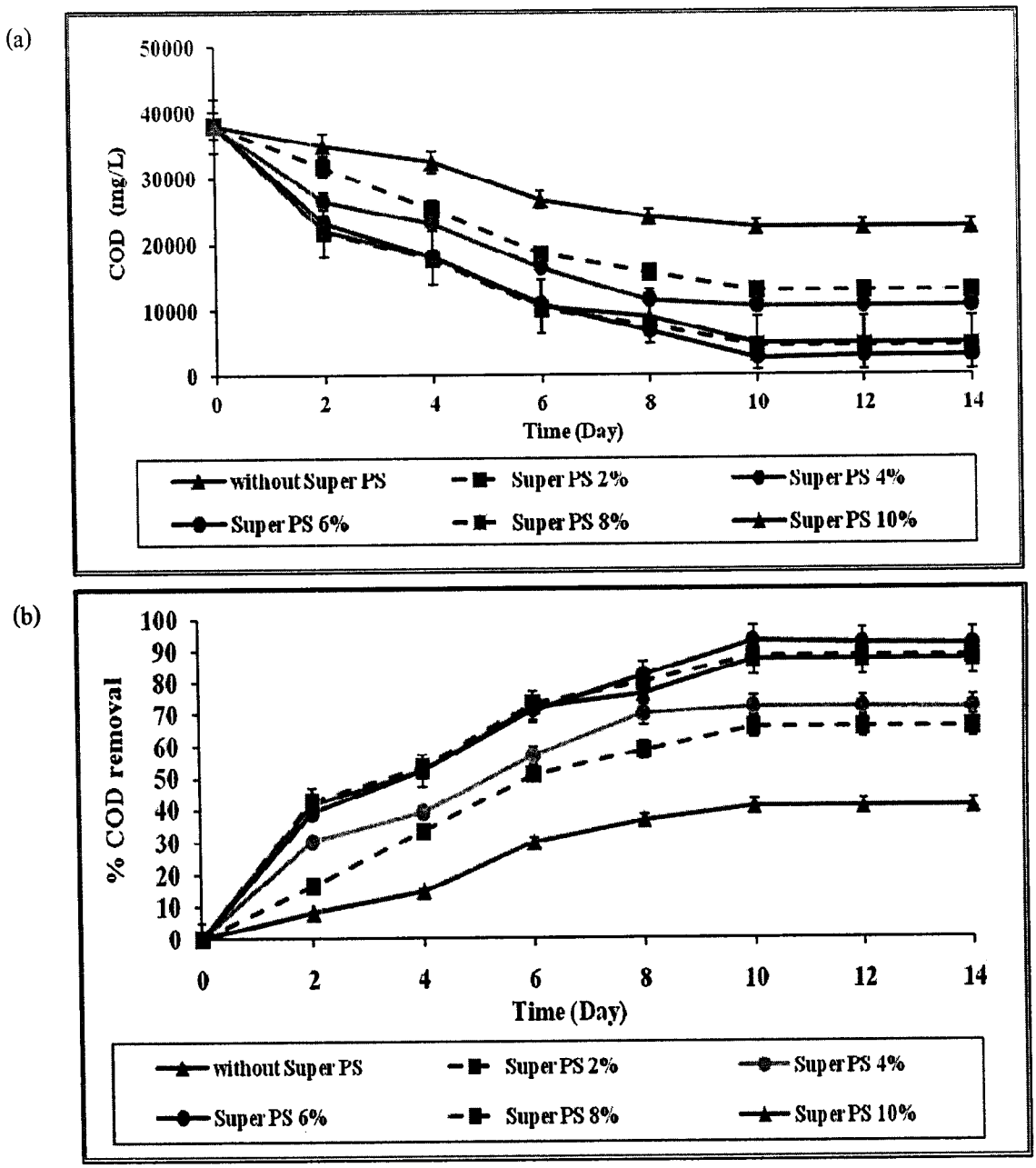
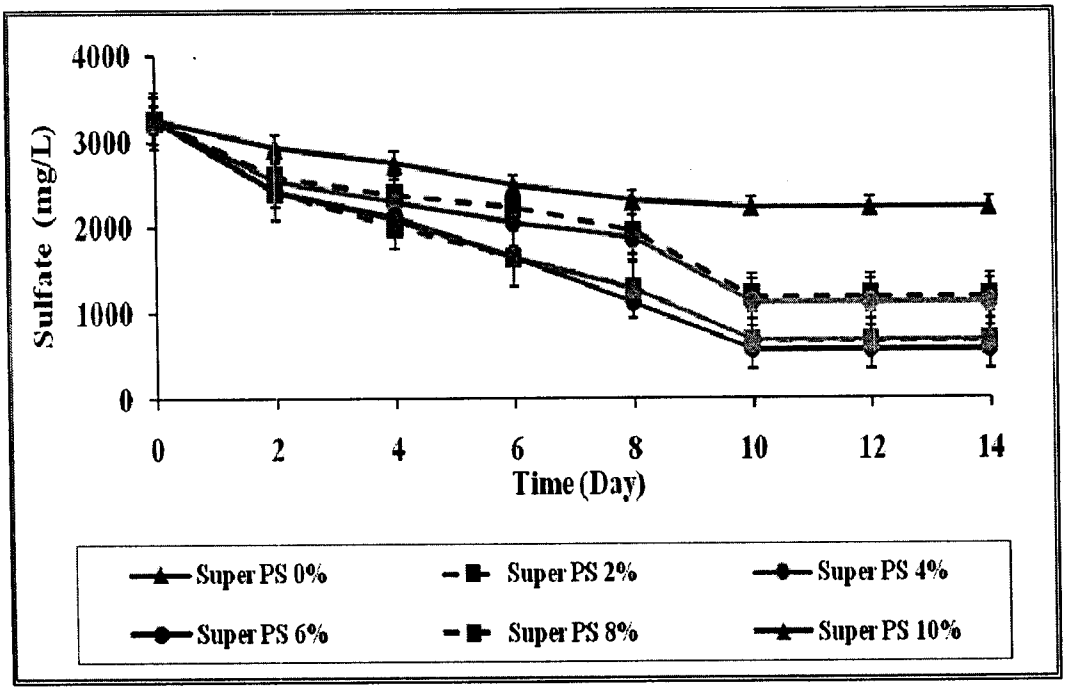


Figure 13 Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment (a) concentration of COD and (b) % COD removal in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

(a)



(b)

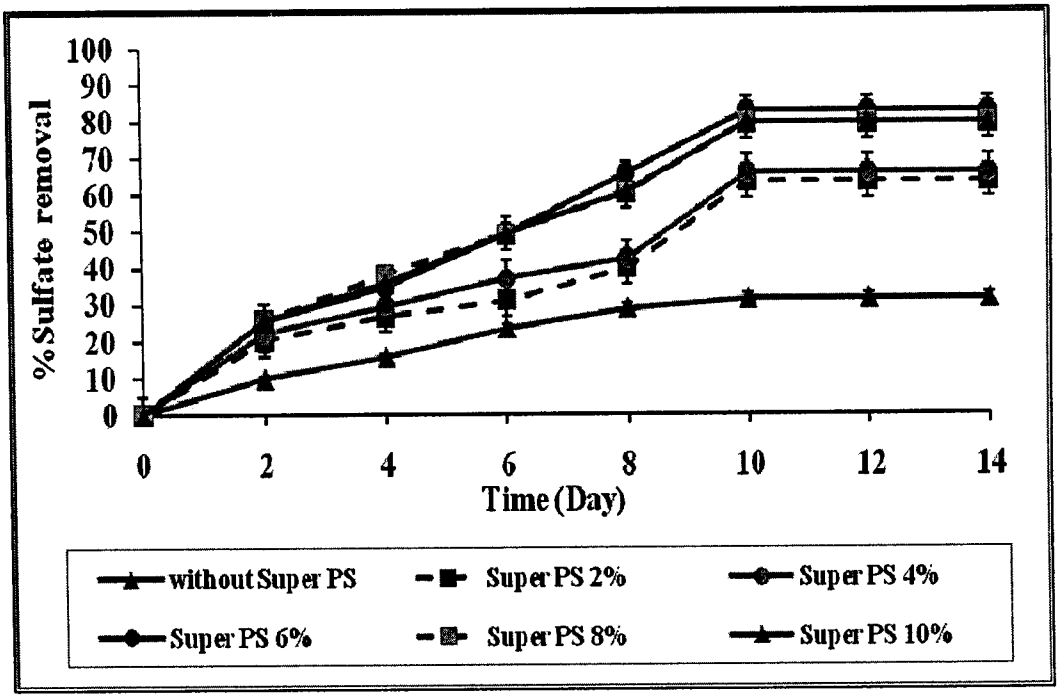


Figure 14 Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the efficiency of rubber Industrial wastewater treatment (a) concentration of sulfate and (b) % sulfate removal in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของซุปเปอร์พีเอส ในการบำบัดน้ำเสียพบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียจะลดลงตามระยะเวลา หลังจากนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะเริ่มคงที่ (ภาพที่ 15) ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียจากการทดลองปริมาณเชื้อที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ดีที่สุดเท่ากับ 75.1% ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 2, 4, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ 31.0, 44.6 ,63.1 และ 49.9 % ตามลำดับ และการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอสสามารถบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 19.1% ซึ่งการลดลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด แสดงว่าซุปเปอร์พีเอสสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียได้

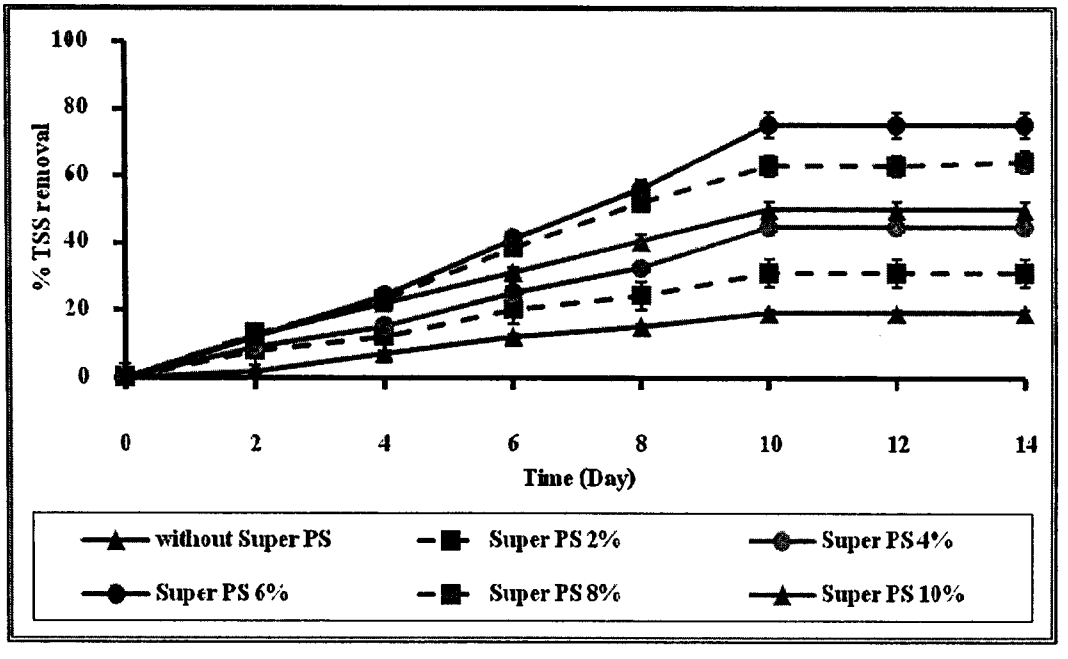


Figure 15 Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment TSS removal in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบของการบำบัดน้ำเสีย พบว่ามีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในรูปของ MLVSS เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ถึงวันที่ 10 โดยก่อนการบำบัดปริมาณ MLVSS ของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 897 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 16 แสดงให้เห็นว่าปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีปริมาณ MLVSS หลังการบำบัดมากที่สุด โดยมีค่า MLVSS เท่ากับ 2,102 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ใช้ปริมาณซุปเปอร์พีเอสเริ่มต้นที่ 2, 4, 8 และ

10% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังการบำบัดมีปริมาณ MLVSS ในระบบอยู่ที่ 1,378, 1,543, 1,911 และ 1,908 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอสมีปริมาณ MLVSS ในระบบอยู่ที่ 1,178 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นว่าปริมาณ MLVSS ในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจากเมื่อเริ่มต้นการทดลอง แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบมีมากขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเพื่อใช้เป็นอาหาร โดยการเติมซุปเปอร์พีเอสมากขึ้นทำให้มีปริมาณ MLVSS เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งชุดการทดลองที่เติมซุปเปอร์พีเอสเท่ากับ 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) จะมีค่า MLVSS น้อยกว่า 6%(ปริมาตร/ปริมาตร) เนื่องจากปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่ใช้ในระบบมากเกินไป มีผลทำให้เกิดการแข่งขันในการเจริญ และอาจเกิดการบดบังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้ซุปเปอร์พีเอสมีการเจริญได้ไม่ทั่วถึงในระบบการบำบัด

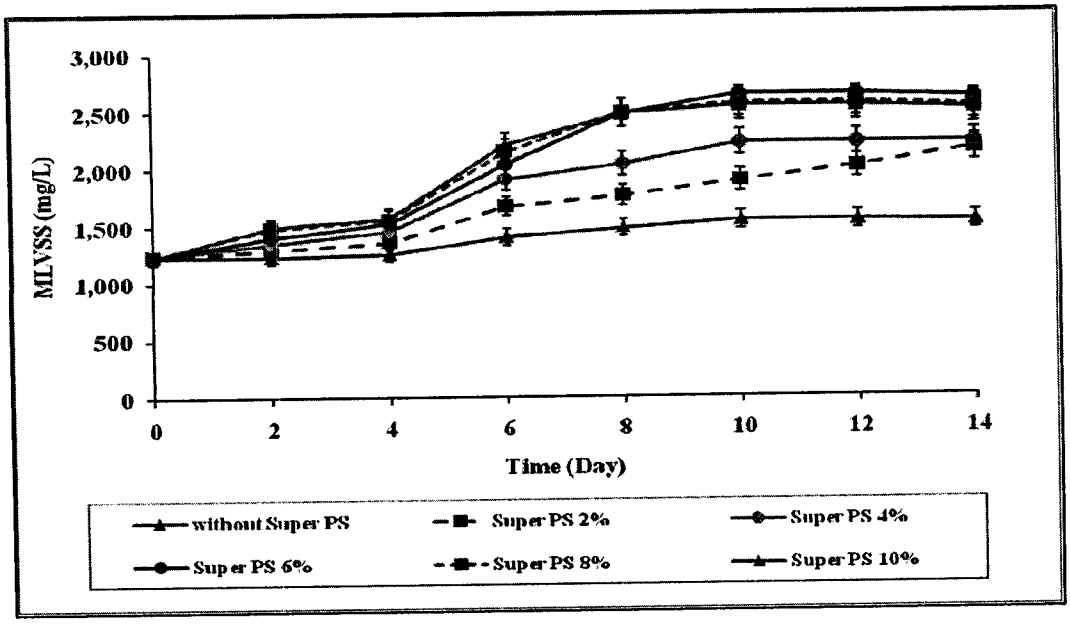


Figure 16 Effect of commercial photosynthetic bacteria (super PS) on MLVSS of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

นอกจากนี้พบว่า Oxidation-reduction potential (ORP) ในถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor มีค่าอยู่ในช่วง -275 ถึง -240 มิลลิโวลต์ ทำให้ไม่ต้องมีการเติมก๊าซไนโตรเจนเพิ่มเติมในการรักษา ORP ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Izu *et al.*, (2001) ซึ่งพบว่าหากมีการควบคุมค่า oxidation-reduction potential (ORP) ให้น้อยกว่า -200 มิลลิโวลต์ ทำให้

แบคทีเรียกลุ่ม PnSB เจริญมากกว่าแบคทีเรียอื่นๆ ในระบบ และค่า OLR ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง -300 และ -200 มิลลิโวลต์ (Kaewsuk *et al.*, 2010)

ดังนั้นปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งอยู่ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) (1.6 x10^6cfu/มิลลิลิตรน้ำเสีย) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ทั้งปริมาณซีโอดี ซัลเฟต และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดดีที่สุด (ตารางที่ 5) รวมทั้งมีปริมาณ MLVSS ในระบบของการบำบัดน้ำเสียมากที่สุดในวันที่ 10 (ดังนั้นในระบบ micro-aerobic SBR จึงใช้ HRT เท่ากับ 10 วัน) ซึ่งการที่จุลินทรีย์เกิดการเจริญได้ดีนั้น ย่อมแสดงว่าจุลินทรีย์สามารถใช้สารอินทรีย์ในระบบได้ดีด้วย และเมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่ 2 และ 4 % (ปริมาตร/ปริมาตร)ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของซุปเปอร์พีเอสน้อยกว่าที่ 6% เนื่องจากปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่ใช้ในระบบน้อยเกินไป ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ได้น้อยกว่า และเมื่อใช้ปริมาณของซุปเปอร์พีเอสมากเกินไป (8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร)) ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของซุปเปอร์พีเอสน้อยกว่าที่ 6% เนื่องจากปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่ใช้ในระบบมากเกินไป มีผลทำให้เกิดการแข่งขันในการเจริญ และอาจเกิดการบดบังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้ซุปเปอร์พีเอสมีการเจริญได้ไม่ทั่วถึง เพราะฉะนั้นจึงเลือกปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) ซึ่งสามารถลดค่าซีโอดีและปริมาณซัลเฟตได้มากที่สุดไปใช้ในการทดลองถัดไป

การตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

จากการตรวจวัดอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ชีวภาพของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันและตลอดการทดลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักโดยอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส

Table 5 Effect of amount of Super PS as inoculums on efficiency of wastewater treatment

Parameters	The amount of Super PS as inoculums (%) (v/v)					
	0	2	4	6	8	10
COD removal (%)	40.9	65.9	72.1	92.9	88.2	87.1
Sulfate removal (%)	31.3	63.5	65.8	82.5	79.6	79.4
TSS removal (%)	19.1	31.0	44.6	75.1	63.1	49.9
MLVSS (mg/L)	1,178	1,378	1,543	2,102	1,911	1,908

3.3 ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

การหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพมีความจำเป็นในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียโดยการออกแบบจะขึ้นกับคุณลักษณะของการย่อยสลายสารอาหารและรูปแบบการเจริญของแบคทีเรีย ซึ่งทำได้โดยควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆ ความเข้มแสง และอุณหภูมิ จะเป็นหลักสำคัญที่ทำให้แบคทีเรียเจริญ และเพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถควบคุมระบบและแบคทีเรียได้จำเพาะจึงจะสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องควบคุมอัตราการเจริญของแบคทีเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการเจริญของแบคทีเรีย

จากการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสีย กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง ด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการย่อยสลาย โดยใช้ข้อมูลการทดลองแบบกะ (Batch) ในข้อที่ 3.2 ผลการทดลอง คำนวณค่า U (อัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ) ตามสมการที่ (4) โดยใช้ค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด และเอ็มแอลวีเอสเอสที่ได้จากการเจริญของซุปเปอร์พีเอส 6 % (v/v) ได้ผลดังตารางที่ 6 จากนั้นนำค่า U และ COD effluent ไปพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{\mu}$ และ $\frac{1}{S}$ ได้ดังภาพที่ 17 จุดตัดแกน Y คือค่า 1/k และความชันของกราฟคือค่า K_m/k

$$U = -\frac{dS}{Xdt} \tag{4}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{S} \times \frac{K_m}{k} + \frac{1}{k} \tag{5}$$

Table 6 Specific rate of substrate degradation for 6% (v/v) Super PS in rubber industrial wastewater treatment in batch system

Day	COD effluent (mg/L)	MLVSS (mg/L)	1/U	$[COD]^{-1}$ $(mg/L)^{-1}$	%COD removal
0	38100	1,235			
2	22725	1405.18	0.18	4.40×10^{-5}	65.9
4	15453	1525.59	0.42	6.47×10^{-5}	72.1
6	10908	2037.43	0.89	9.17×10^{-5}	92.9
8	5432	2478.17	0.91	14.81×10^{-5}	88.2
10	2701.3	2647.67	1.9	37.02×10^{-5}	87.1

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟความชันของกราฟ (ภาพที่ 17) เท่ากับ 19.34 และจุดตัดแกน y เท่ากับ 2.26 สามารถนำมาหาค่าอัตราการย่อยใช้สารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุดได้ดังนี้

K_m = ความชันกราฟ ×k (4)

= 19.34×0.44

= 8.56 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร

k = จุดตัดแกน Y^{-1} (5)

= $(2.26)^{-1}$

= 0.44 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน

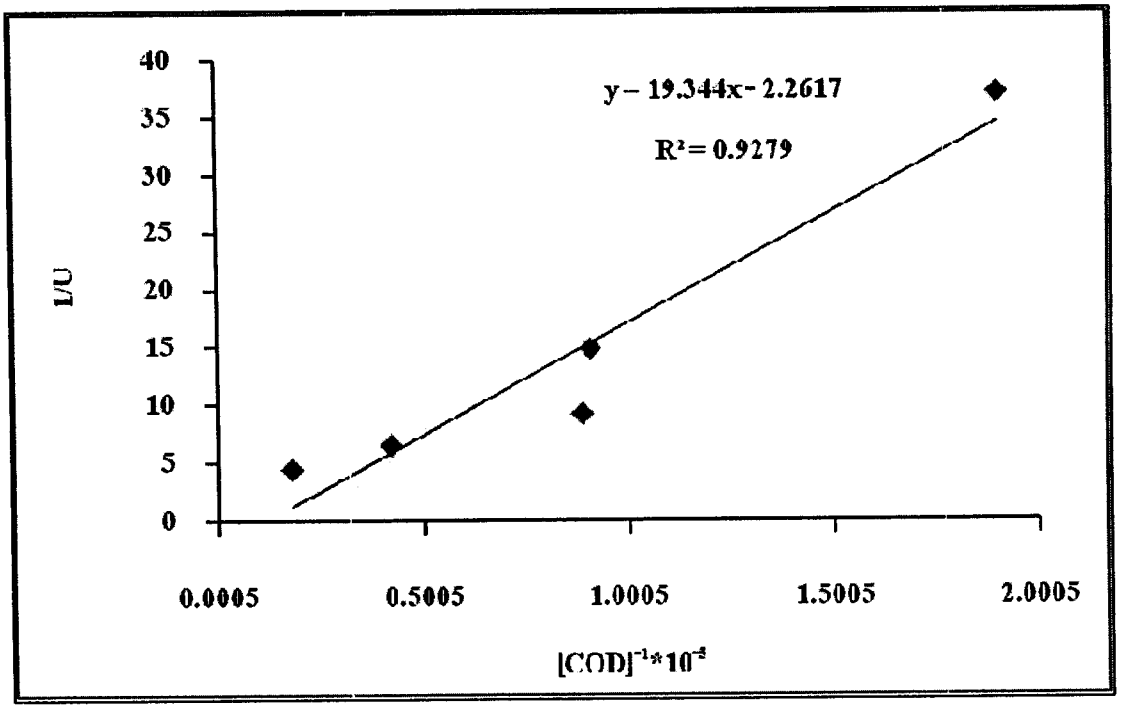


Figure 17 Relationship between $\frac{1}{\mu}$ and $\frac{1}{COD}$ in rubber industrial wastewater system with 6 % Super PS for determination of Km and k

เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) โดยใช้สมการที่ (13) ทำการคำนวณค่า กราฟระหว่าง $\frac{dS}{Xt}$ และ $\frac{dX}{Xt}$ ดังตารางที่ 7 แล้วนำไปพล็อตกราฟที่มีแกน x คือ $\frac{dS}{Xt}$ และแกน y คือ ค่า $\frac{dX}{Xt}$ (ภาพที่ 18) ความชันกราฟคือสัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (Y) และจุดตัดแกน y คืออัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d)

$$\frac{dX}{Xdt} = Y\frac{dS}{Xdt} - k_d \qquad (13)$$

Table 7 COD and MLVSS in rubber industrial wastewater system with 6% (v/v) Super PS for determination $\frac{dS}{Xt}$ and $\frac{dX}{Xt}$

Day (t)	COD effluent (S) (mg/L)	MLVSS (X) (mg/L)	dS/Xt	dX/Xt
0	38100	1,235		
2	22725	1405.18	5.47	0.06
4	15453	1525.59	1.19	0.02
6	10908	2037.43	0.37	0.01
8	5432	2478.17	0.28	0.02
10	2701.3	2647.67	0.10	0.01

หมายเหตุ: S หมายถึง ความเข้มข้นสารอาหาร (ซีโอดีในถังปฏิกรณ์) (มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร)
X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS ในถังปฏิกรณ์) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
t หมายถึง เวลา (วัน)

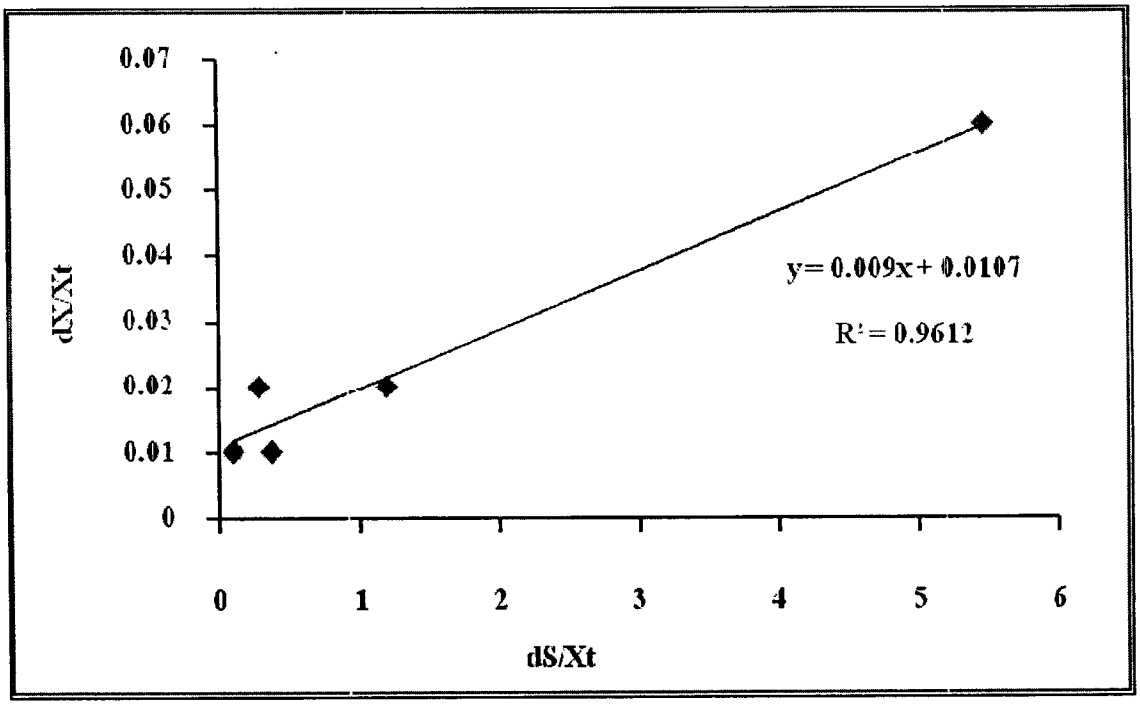


Figure 18 Relationship between $\frac{dS}{Xt}$ and $\frac{dX}{Xt}$ in rubber industrial wastewater system with 6 % Super PS for determination of Y and k_d

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟ (ภาพที่ 18) ความชันของกราฟเท่ากับ 0.009 และจุดตัดแกน y เ ท่ากับ 0.0107 สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) ได้ดังนี้

Y = ความชันของกราฟ
= 0.009 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมซีโอดี

k_d = จุดตัดแกน y
= 0.0107 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน

สัมประสิทธิ์การเจริญของจุลินทรีย์ (Y) หมายถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณการย่อยสลายสารอาหาร ในการทดลองนี้เท่ากับ 0.009 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมซีโอดี การตายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้เนื่องจากการที่แบคทีเรียใช้สารอาหารที่มีอยู่จนหมดแล้วจึงเริ่มทำการย่อยสลายส่วนประกอบในเซลล์จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการตายขึ้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2523) อัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.0107 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่

ลดลงต่อมิลลิกรัมจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Kaewsuk และคณะ (2010) อัตราการตายของจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม โดยใช้การบำบัดแบบใช้อากาศมีค่าเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน จากรายงานของเสริมพลและไชยยุทธ (2518) และอุษากร นิยม (2535) มีอัตราการตายของจุลินทรีย์ในระบบน้ำเสียเท่ากับ 0.045 และ 0.048 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งค่าอัตราการตายที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าอัตราการตายของรายงานดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าซุปเปอร์พีเอสมีอัตราการตายที่ต่ำ และสามารถที่จะเจริญในน้ำเสียโรงงานยางได้

หลังจากนั้นคำนวณหาค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (μ_m) และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการอัตราการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (half velocity coefficient, K_s) โดยใช้สมการที่ (15) คำนวณหา $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$ จากตารางที่ 8 แล้วนำไปพล็อตกราฟโดยจะได้แกน x คือความเข้มข้นของสารอาหารหรือซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) และแกน y คือค่า $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$ จากสมการที่ 15 จะได้ความชันกราฟคือ $\frac{1}{\mu_m}$ และจุดตัดแกน y คือ $\frac{K_s}{\mu_m}$

$$S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right] = \frac{1}{\mu_m \times S} + \frac{K_s}{\mu_m} \qquad (15)$$

Table 8 COD and ϕ_c in rubber industrial wastewater system with 6% (v/v) Super PS for determination $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$

ϕ_c (day)	COD effluent (S) (mg/L)	$S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$
0	38100	
2	22725	43777.6
4	15453	57424.7
6	10908	58718.8
8	5432	37696.0
10	2701.3	22680.9

หมายเหตุ: $\emptyset_c$ หมายถึง ระยะเวลากักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (วัน)

k_d หมายถึง อัตราการตายของจุลินทรีย์ (วัน)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร)

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟ (ภาพที่ 19) ความชันของกราฟเท่ากับ 1.1299 และจุดตัดแกน y เท่ากับ 30729 สามารถนำมาคำนวณ μ_m และ Ks

μ_m = ความชันกราฟ$^{-1}$ (9)

= 1.1299^{-1}

= 0.88 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน

Ks = จุดตัดแกน Y × μ_m (10)

= 30729 × 0.88

= 27,041.52 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร

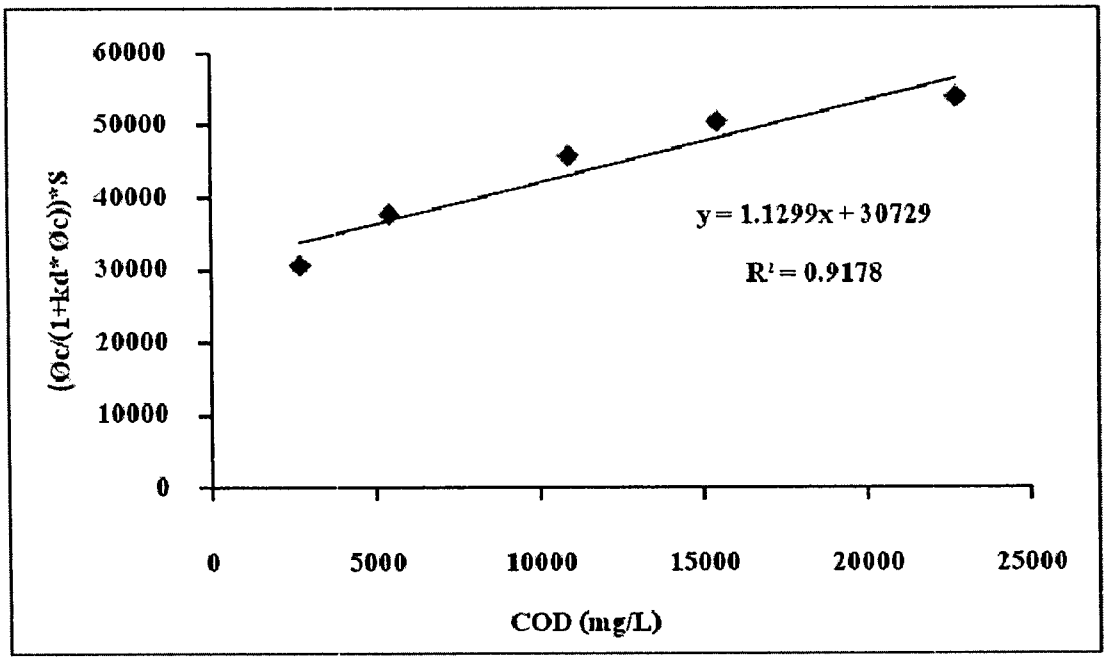


Figure 19 Relationship between COD (S) and $S\left[\frac{\phi_c}{1+(k_d \times \phi_c)}\right]$ in rubber industrial wastewater system with 6 % Super PS for determination of μ_m and Ks

อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสารอาหารเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วสารอาหารที่ย่อยสลายได้ยากจะมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะต่ำ ในทางตรงกันข้ามสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายจะมีค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูง (μ_m) (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2523) ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.88 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Kaewsuk และคณะ (2010) ที่ได้ค่า μ_m ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเท่ากับ 0.76 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน

Ks อยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสารอาหารของจุลินทรีย์เช่นเดียวกับ μ_m แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม กล่าวคือหากระบบใดที่ค่าความเข้มข้นของสารอาหาร เมื่อค่า Ks มาก แสดงให้เห็นว่าสารอาหารนั้นย่อยสลายได้ยากส่งผลให้จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญต่ำ สำหรับในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 27,041 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรและหากจะเปรียบเทียบการย่อยสลายของน้ำเสียต่างชนิดกันโดยใช้แบคทีเรียประเภทเดียวกันแล้วก็จะสามารถสรุปได้ว่าน้ำเสียชนิดใดที่ย่อยสลายได้ง่ายและเหมาะกับแบคทีเรียชนิดนั้น จากการทดลองของ Kaewsuk และคณะ (2010) เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงโดยมีสารอาหารเป็นน้ำเสียของนม พบว่ามีค่า Ks เท่ากับ 329 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของนมย่อยสลายได้ง่ายกว่าน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของน้ำเสียยาง อย่างไรก็ตามการย่อยสลายของสารอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ด้วย ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองสรุปแสดงดังตารางที่ 9 สามารถใช้ในการออกแบบและควบคุมอัตราการเจริญจุลินทรีย์ของระบบบำบัดของน้ำเสียโรงงานยางอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Table 9 Kinetic coefficients in rubber industrial wastewater treatment in batch system with 6% (v/v) Super PS

Kinetic coefficients	Constant
Maximum rate of substrate degradation, k (mg-COD/mg-MLVSS/d)	0.44
half velocity coefficient, Ks (mg-COD/L)	27,041
yield coefficient, Y (mg- MLVSS/mg- COD)	0.009
bacteria decay rate, Kd (mg- MLVSS/mg-MLVSS/d)	0.0107
Maximum specific growth rate constant, μ_m (mg- MLVSS/mg-MLVSS/d)	0.88
Michaelis constant, Km (mg-COD/L)	8.56

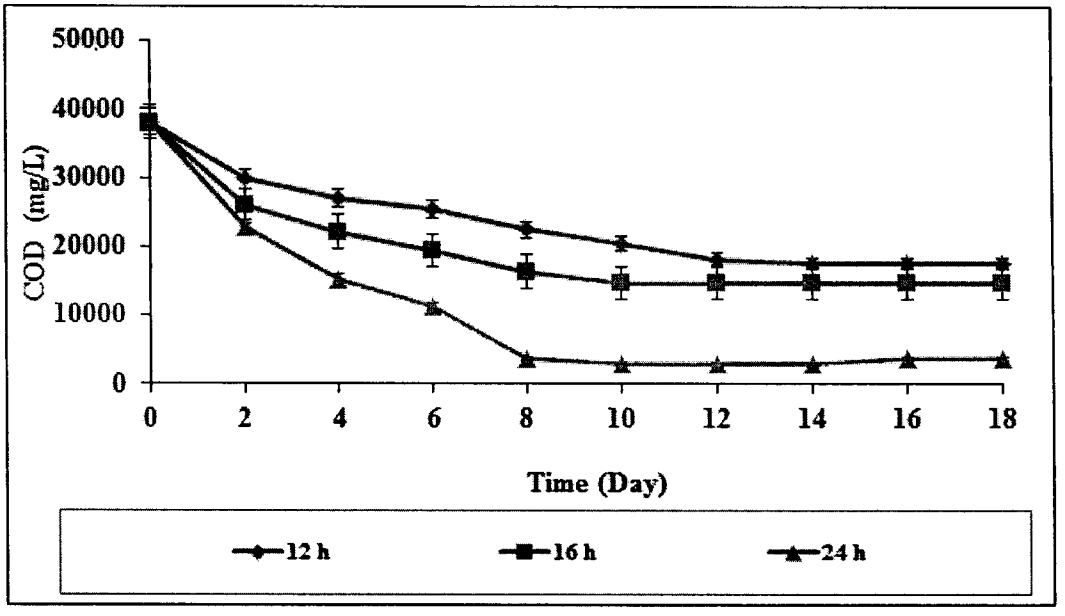
3.4 ศึกษาผลของแสงต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอส

3.4.1 ผลของระยะเวลาการให้แสง

การศึกษาผลของระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมต่อการเจริญในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง โดยทำการเติมปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดไฟทังสเตน โดยเติมน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร มีการให้แสงทางด้านข้าง ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ การทดลองนี้จะแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ทำการให้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ให้แสงตั้งแต่เวลา 8.00-20.00 น.) ชุดการทดลองที่ 2 ทำการให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมง (ให้แสงตั้งแต่เวลา 8.00-24.00 น.) และชุดการทดลองที่ 3 ทำการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ให้แสงตลอดทั้งวัน) (Honda., 2005) พบว่าระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน (ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน) มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุด หลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 3,056 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 12 และ 16 ชั่วโมง หลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 18,246 และ 14,695 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 20a) จากภาพที่ 20b แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีได้ดีที่สุด ถึง 92 % ระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 16 และ 12 ชั่วโมง หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ 61.1 และ 46.2 % ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณซัลเฟตของซุปเปอร์พีเอสในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง พบว่าระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตได้ดีที่สุด หลังการบำบัดปริมาณซัลเฟตอยู่ที่ 581.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 12 และ 16 ชั่วโมง หลังการบำบัดปริมาณซัลเฟตอยู่ที่ 1,364 และ 1,144 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ภาพที่ 21a) จากภาพที่ 21b แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตได้ดีที่สุด ถึง 82.1 % ระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 16 และ 12 ชั่วโมง หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตที่ 64.8 และ 58.0 % ตามลำดับ

(a)



(b)

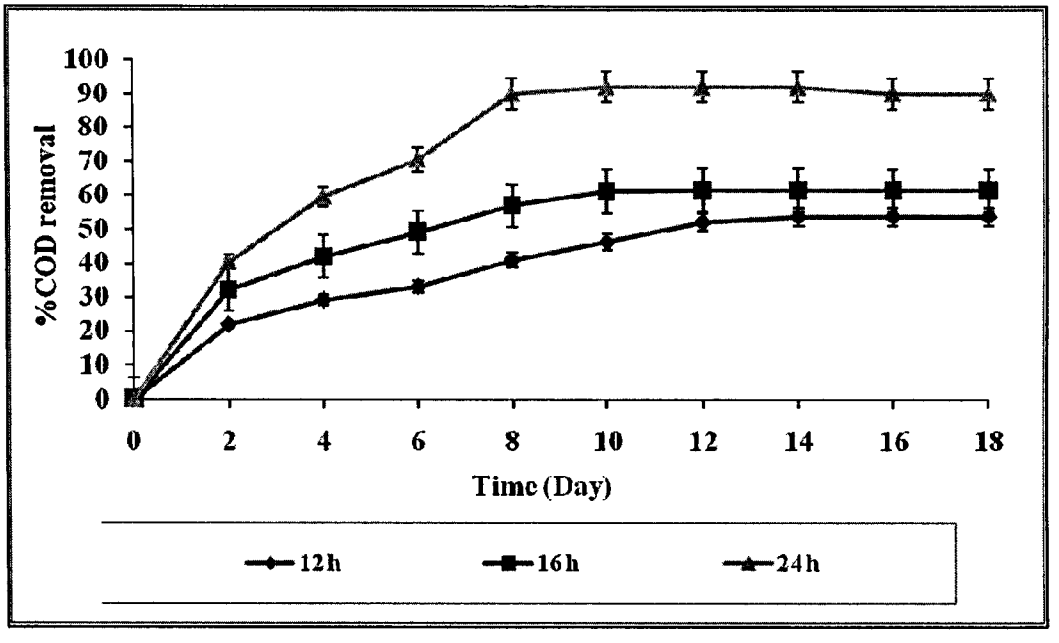
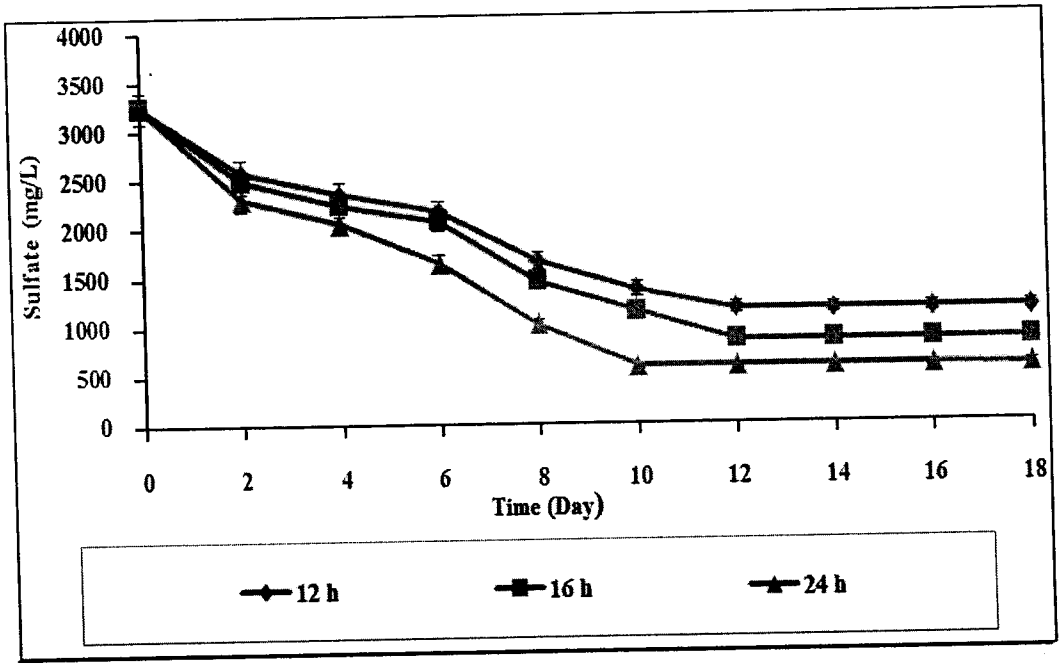


Figure 20 Effect of lighting period on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux (a)concentration of COD and (b) % COD removal

(a)



(b)

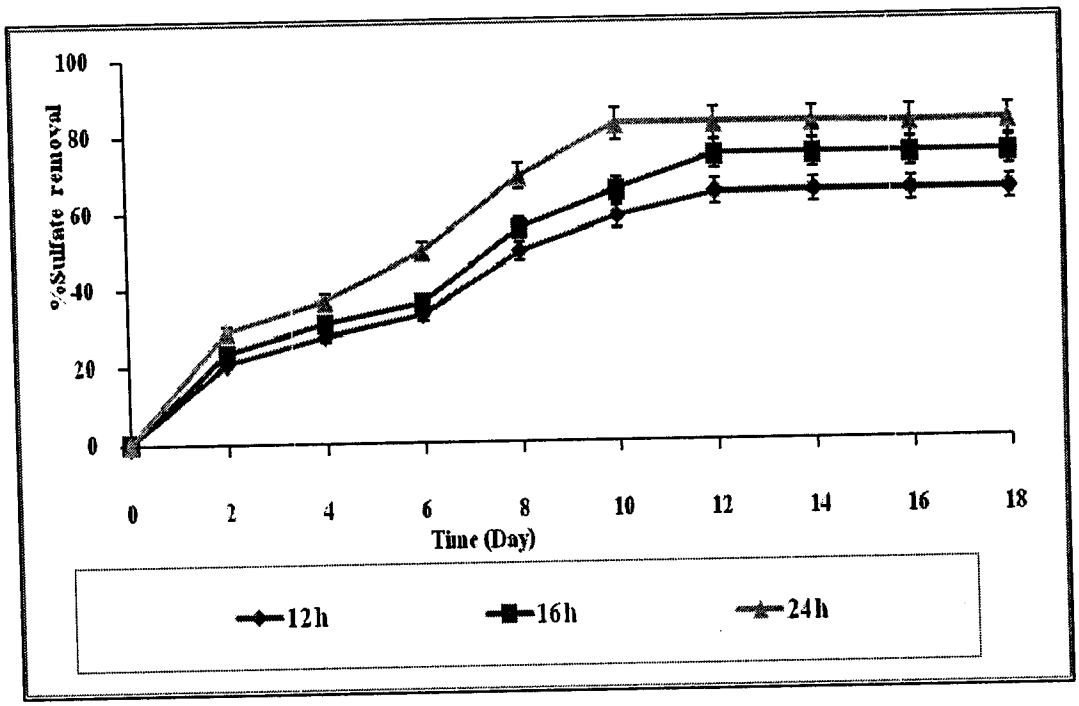


Figure 21 Effect of lighting period on the efficiency of rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux (a) concentration of sulfate and (b) % sulfate removal

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของซุปเปอร์พีเอส ในการบำบัดน้ำเสียพบว่า (ภาพที่ 22) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียจะลดลงตามระยะเวลา หลังจากนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะเริ่มคงที่ ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียจากการทดลองปริมาณเชื้อที่ 6 % (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ดีที่สุดเท่ากับ 75.1 % ระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 16 และ 12 ชั่วโมง หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ 62.5 และ 49.4 % ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบของการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง จากการทดลองพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในระบบของการบำบัดน้ำเสีย (ภาพที่ 23) เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ถึงวันที่ 10 เนื่องจากแบคทีเรียมีการเจริญและเพิ่มจำนวนจากการใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญ หลังจากนั้นปริมาณจุลินทรีย์ในระบบจะเริ่มคงที่ โดยปริมาณ MLVSS ในระบบของการบำบัดน้ำเสีย ก่อนการบำบัดอยู่ที่ 897 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณ MLVSS เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,105 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 12 และ 16 ชั่วโมง หลังการบำบัดปริมาณ MLVSS ในระบบเพิ่มเป็น 1,298 และ 1,679 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

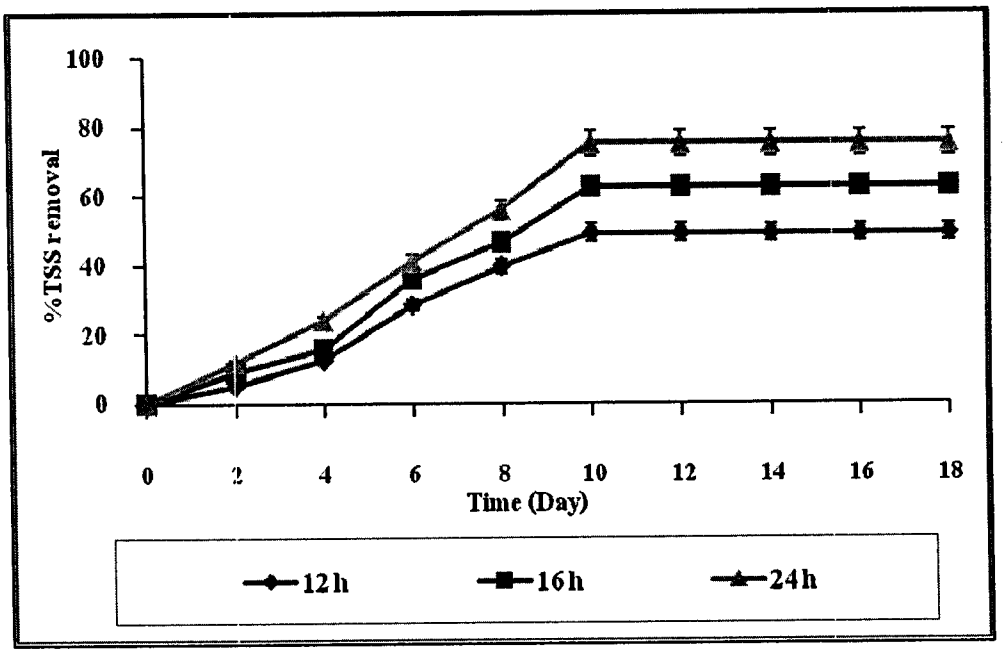


Figure 22 Effect of lighting period on the efficiency of TSS removal in rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux

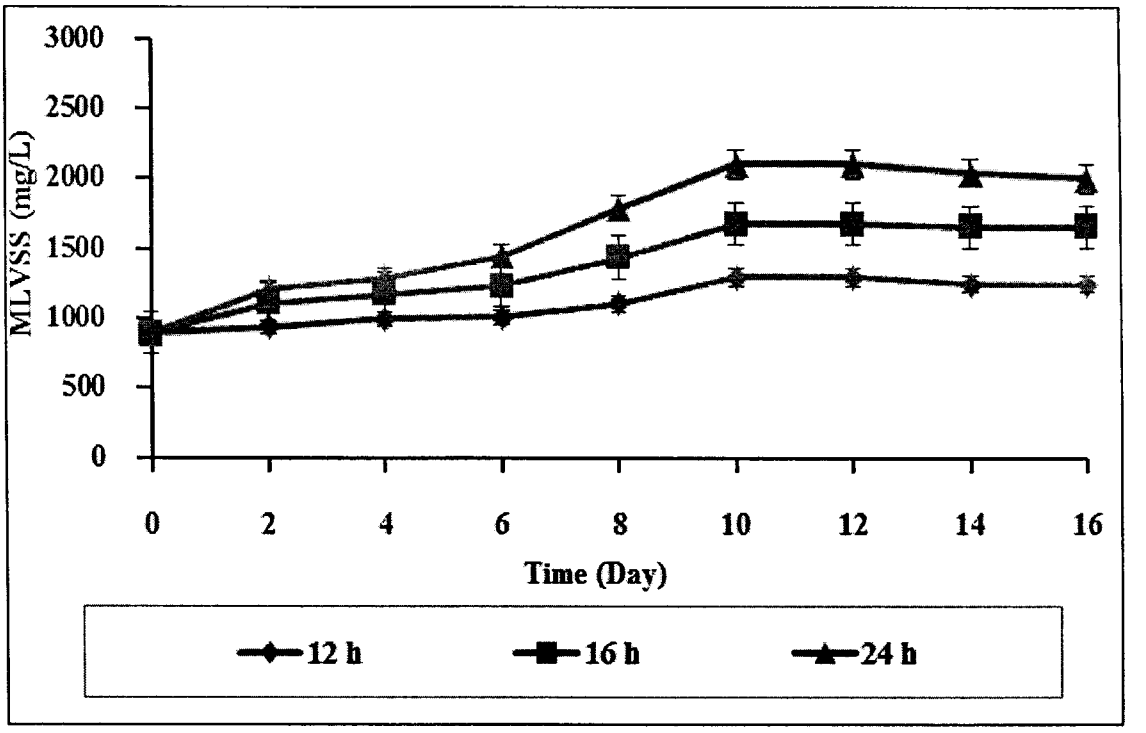


Figure 23 Effect of lighting period on MLVSS in rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux

ดังนั้นระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งอยู่ที่ 24 ชั่วโมง (ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน) เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงซึ่งสอดคล้องกับ Prasertsan *et al.* (1993) สรุปได้ว่าแสงเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและการผลิตรงควัตถุ (Kobayashi and Kurata, 1978) การเจริญในที่มีแสงนั้นจะมีการสร้างรงควัตถุมากกว่าในที่มืด (Kim *et al.*,1999) เมื่อให้ความเข้มแสงมากขึ้นการเจริญและการสร้างรงควัตถุก็เกิดมากขึ้นแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์จึงมีปริมาณมากด้วยดังนั้นในการทดลองถัดไปจึงใช้ระยะเวลาการให้แสงที่ 24 ชั่วโมง (ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน) ซึ่งสามารถลดค่าซีโอดีและปริมาณซัลเฟตได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระบบบำบัดน้ำเสียในระดับอุตสาหกรรม จำเป็นต้องคำนึงในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (ค่าไฟฟ้า) ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากถ้าหากต้องให้แสงเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ ระยะเวลา 12 และ 16 ชั่วโมงต่อวัน (46.2 และ 61.1% ตามลำดับ) พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี) มากกว่าการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส (40.9%) และเมื่อเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีจากบ่อเติมอากาศของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด (58.9%) พบว่าระยะเวลาการให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมงมีความสามารถในการบำบัดซีโอดีได้ดีกว่า ดังนั้นการประยุกต์ใช้ซุปเปอร์พีเอสในระบบบำบัดน้ำเสียในระดับอุตสาหกรรมจึงเป็นเรื่องที่น่าจะทำได้

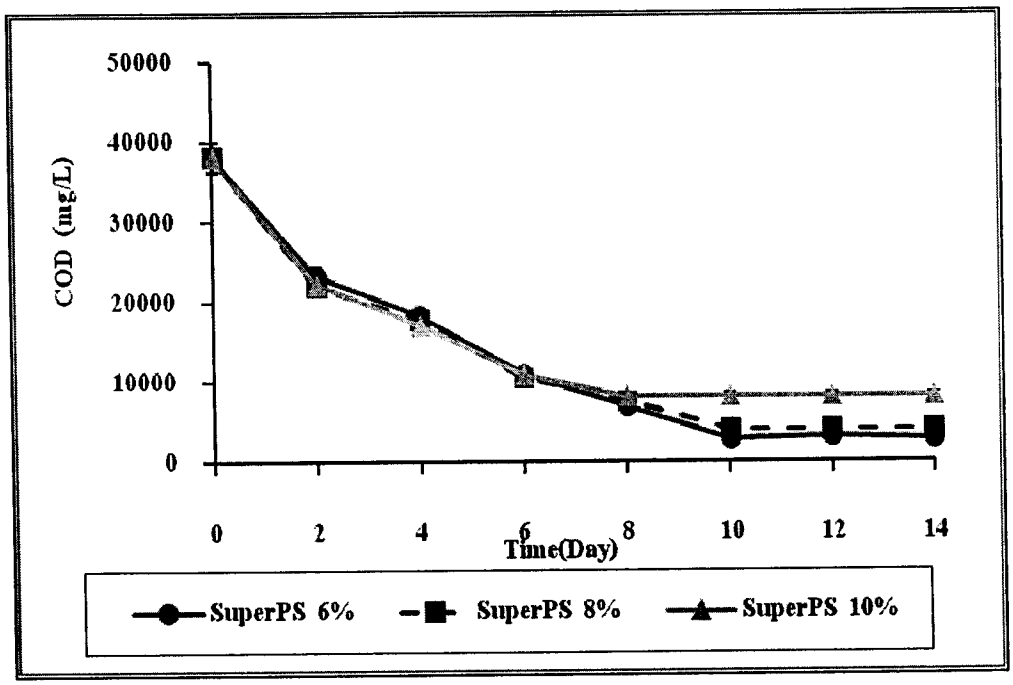
อย่างไรก็ตาม การให้แสงไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพียงอย่างเดียว ทิศทางการให้แสงและเซลล์ที่อยู่ในระบบมีผลต่อการส่องผ่านของแสงในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงทำการทดลองผลของปริมาณเซลล์ต่อการเจริญและประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสีย โดยเปลี่ยนทิศทางการให้แสงจากการให้ด้านข้างอย่างเดียว เป็นการให้แสงทั้งด้านบนและด้านข้าง

3.4.2 ผลของปริมาณเซลล์ต่อการส่งผ่านของแสง

เมื่อทำการศึกษาผลของปริมาณเซลล์ต่อการส่งผ่านของแสง โดยการเติมซุปเปอร์พีเอสในตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียร ของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด ที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอส 6, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) ในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร และเลี้ยงซุปเปอร์พีเอส ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดทังสเตน ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ ซึ่งมีการให้แสงทุกทิศทางรอบถังปฏิกรณ์ (ให้แสงทั้งด้านบนและด้านข้าง) ตลอดทั้งวัน (เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากการให้แสงจากด้านข้างเพียงอย่างเดียวจาก 88.2 % เป็น 89.6% (แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) สำหรับปริมาณซุปเปอร์พีเอส 8% และจาก 87.1 % เป็น 88.8 % (แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) สำหรับปริมาณซุปเปอร์พีเอส 10% ขณะที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่มีการให้แสงจากการให้แสงทั้งจากด้านบนและด้านข้างเท่ากับ 93% เพิ่มขึ้นจากการให้แสงด้านข้างเพียงเล็กน้อย (92.9%) (ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) (ภาพที่ 24)

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณซัลเฟตของซุปเปอร์พีเอสพบว่าที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตที่ 8 และ 10% (ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณซัลเฟตที่มีการให้แสงจากด้านข้างเพียงอย่างเดียว 79.6 และ 79.4% ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นเป็น 80.1 และ 79.6 % ตามลำดับ (แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ขณะที่เมื่อใช้ปริมาณซุปเปอร์พีเอส ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณซัลเฟตที่มีการให้แสงจากด้านบนและด้านข้าง มีค่าเท่ากับ 82.5% ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตไม่เพิ่มขึ้นจากการให้แสงจากด้านข้างเพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 25 และตารางที่ 10)

(a)



(b)

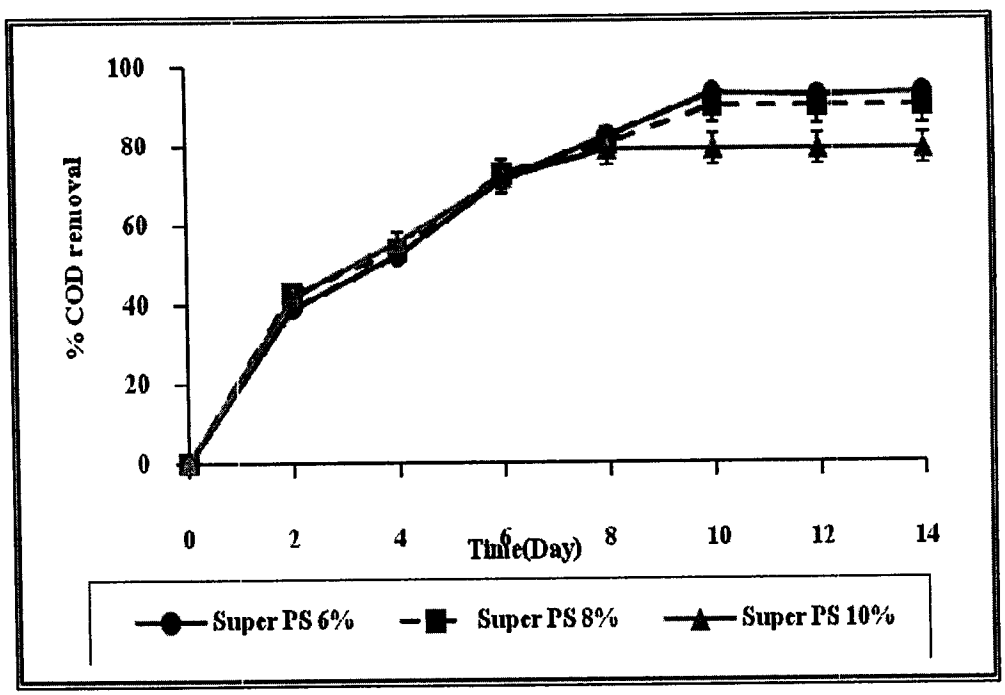
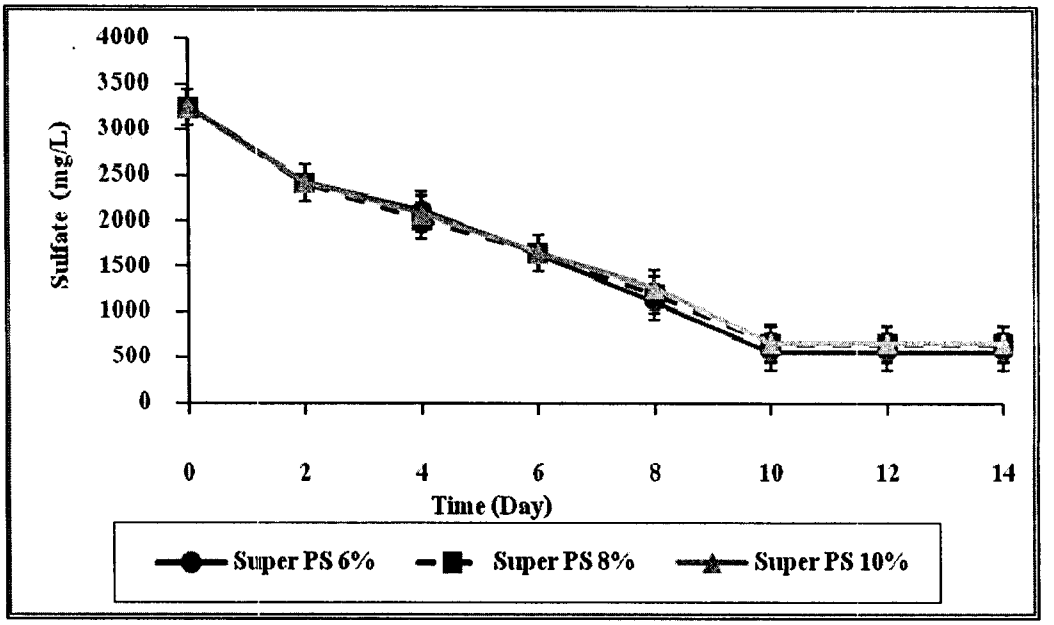


Figure 24 Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor (a)concentration of COD and (b) % COD removal of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

(a)



(b)

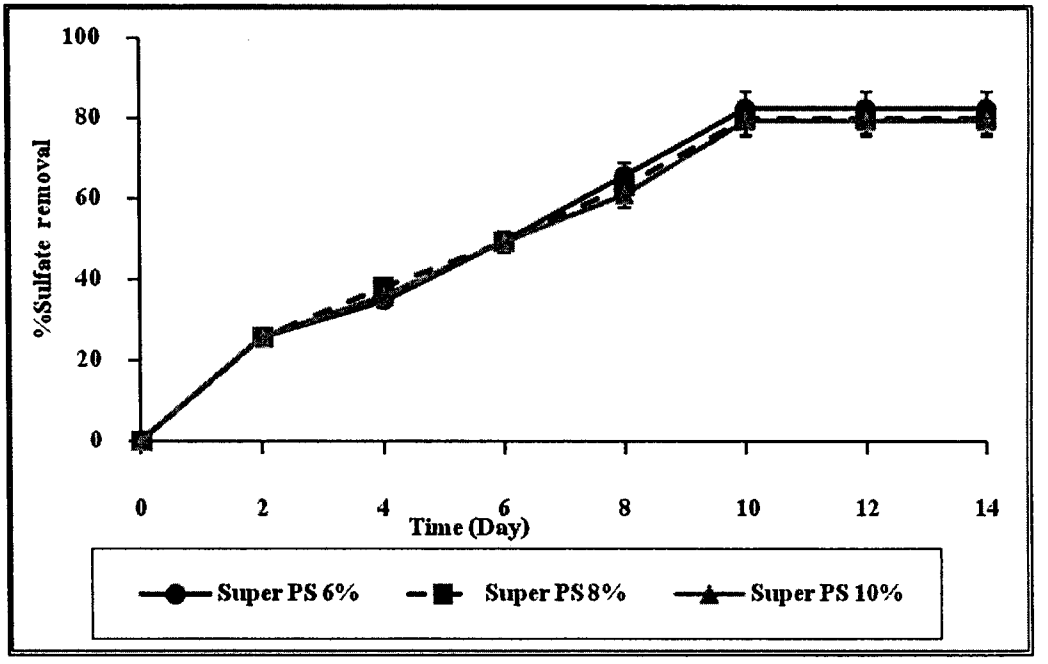


Figure 25 Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor (a) concentration of sulfate and (b) % sulfate removal of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของซุปเปอร์พีเอส พบว่าที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 8 และ 10 % (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ 8 และ 10% (ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่มีการให้แสงจากด้านข้างเพียงอย่างเดียว 63.1 และ 49.9 % ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นเป็น 67.5 และ 58.3 % ตามลำดับ (แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ขณะที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่มีการให้แสงจากด้านบนและด้านข้างเท่ากับ 75.1% ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตไม่เพิ่มขึ้นจากการให้แสงจากด้านข้างเพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 26 และตารางที่ 10)

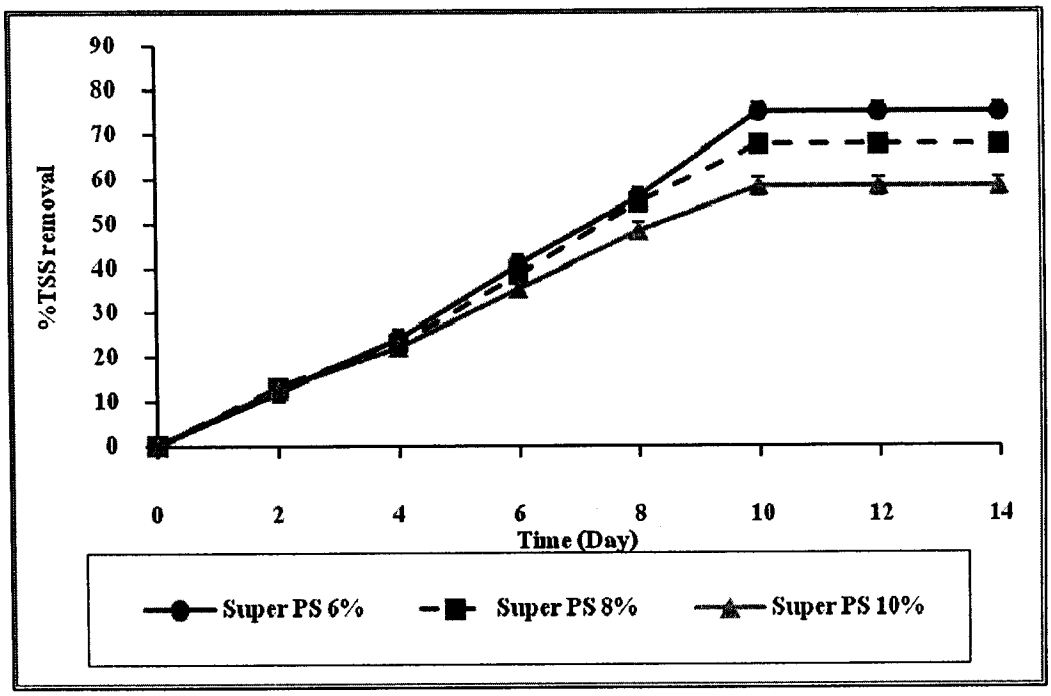


Figure 26 Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor on TSS removal of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของ MLVSS พบว่าที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 6, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) เมื่อมีการให้แสงจากด้านบนและด้านข้าง จะมีปริมาณ MLVSS จากการให้แสงด้านข้างเพียงอย่างเดียว (แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) โดยเพิ่มขึ้นจาก 2,102, 1,911 และ 1,908 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 2,124, 1,952 และ 1,921 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 27 และตารางที่ 10)

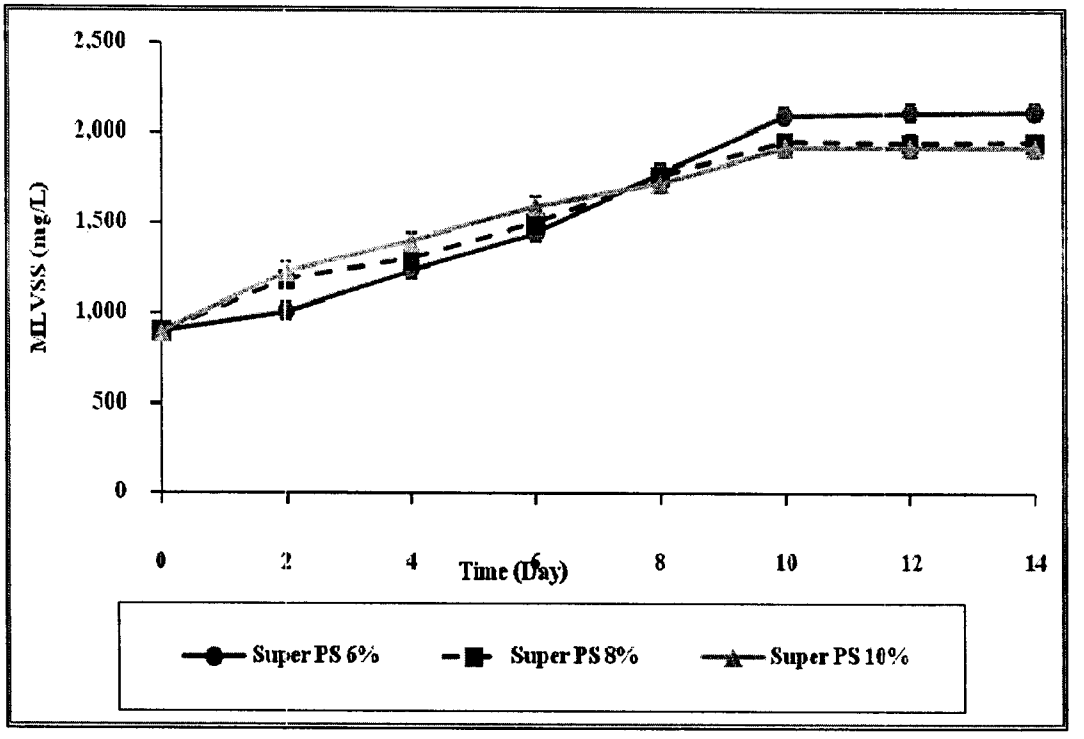


Figure 27 Efficiency of Super PS (6,8 and 10% (v/v)) with lighting on 2 sides and top of reactor on MLVSS of rubber industrial wastewater treatment in batch system with the whole day lighting at intensity 4,000 lux

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณเซลล์ต่อการส่งผ่านของแสง เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง เมื่อในระบบมีปริมาณเซลล์มากเกินไป ทำให้เซลล์เหล่านั้นรับแสงได้ไม่ทั่วถึง ย่อมมีผลต่อการเจริญของเชื้อ และส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ไม่ดีเท่าที่ควร แต่เมื่อทำการให้แสงจากทางด้านข้างและด้านบนทำให้เซลล์จุลินทรีย์เหล่านั้นได้รับแสงอย่างทั่วถึง ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ก็เพิ่มขึ้นด้วยอย่างไรแม้ว่าจะทำการให้แสงอย่างทั่วถึงแล้ว ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 8 และ 10 % (ปริมาตร/ปริมาตร) ก็ยังมีประสิทธิภาพได้ไม่ดีเท่าที่ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 6 % (ปริมาตร/ปริมาตร) อาจเนื่องจากเป็นสารอาหารจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถใช้ได้ในน้ำเสียโรงงานยางมีจำกัด

Table 10 Effect of light direction on efficiency of rubber industrial wastewater treatment with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux

The amount of Super PS as inoculums	Parameters	Direction of light	
		2 sides of reactor	2 sides and top of reactor
6 %	COD removal (%)	92.9[a]	93.0[a]
	Sulfate removal (%)	82.5[a]	82.5[a]
	TSS removal (%)	75.1[a]	75.1[a]
	MLVSS (mg/L)	2,102[a]	2,124[b]
8 %	COD removal (%)	88.2[a]	89.6[b]
	Sulfate removal (%)	79.6[a]	80.1[b]
	TSS removal (%)	63.1[a]	67.5[b]
	MLVSS (mg/L)	1,911[a]	1,952[b]
10 %	COD removal (%)	87.1[a]	88.8[b]
	Sulfate removal (%)	79.4[a]	79.6[b]
	TSS removal (%)	49.9[a]	58.3[b]
	MLVSS (mg/L)	1,908[a]	1.921[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแกนเดียวกันหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS

3.5 ศึกษาผลของซัลเฟตต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอส

จากการศึกษาผลของซัลเฟตต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอสในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง โดยทำการเติมซุปเปอร์พีเอสที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) ในตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด เลี้ยงซุปเปอร์พีเอสในถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 4 ลิตร ภายใต้สภาวะไม่ให้อากาศ-มีแสงจากหลอดไฟทังสเตนตลอดทั้งวัน มีการให้แสงทางด้านข้างที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยปรับปริมาณซัลเฟตโดยใช้โพแทสเซียมซัลเฟตจนกระทั่งความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 6,000 และ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้น้ำเสียที่ไม่มีการเติมโพแทสเซียมซัลเฟตเป็นชุดควบคุม (ความเข้มข้นของซัลเฟตเริ่มต้นในน้ำเสีย เท่ากับ 3,247 มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังจากนั้นเมื่อผ่านการบำบัดปริมาณซีโอดีลดลงตามระยะเวลา และสามารถบำบัดซีโอดีได้สูงสุดในวันที่ 10 ทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 28) จากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะคงที่ จากการทดลองพบว่าปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 3,247 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุด

ควบคุม) มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุด หลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 2,701 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 92.9 % และเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีการปรับความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6,000 และ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ที่ 11,640 และ 19,401 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 69.5 และ 49.1 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซุปเปอร์พีเอสยังสามารถใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ลดลง

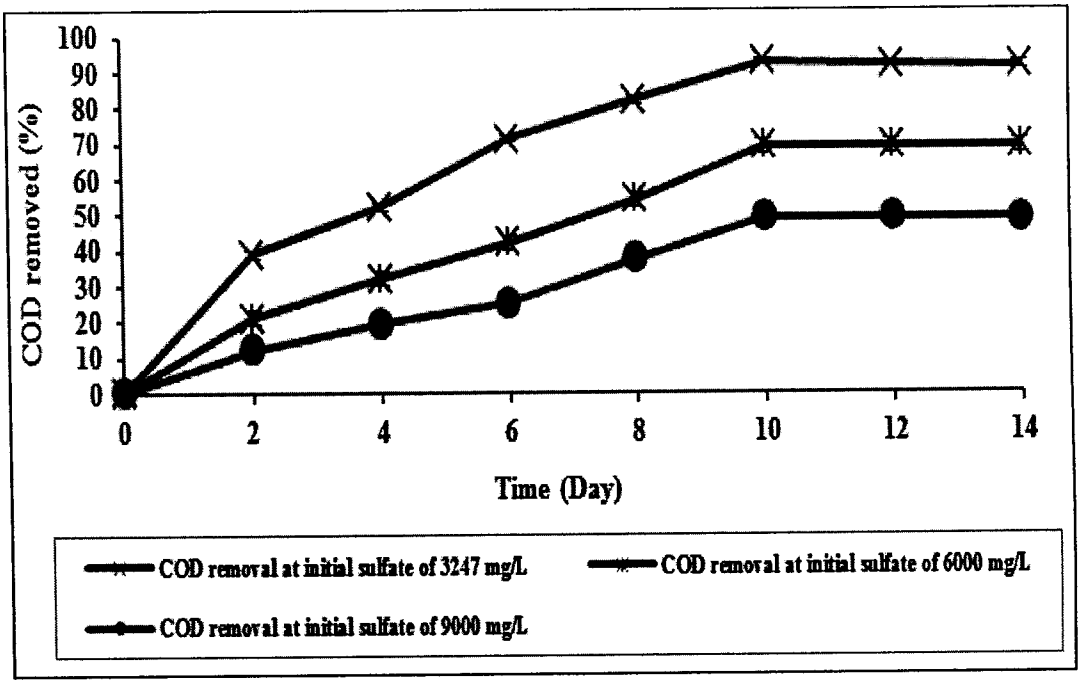


Figure 28 Effect of sulfate concentrations of Super PS on % COD removal of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณซัลเฟตของซุปเปอร์พีเอสในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง (ภาพที่ 29) ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 3,247 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตได้ดีที่สุดเท่ากับ 82.5 % (หลังการบำบัดปริมาณซัลเฟตอยู่ที่ 568.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเมื่อมีการปรับความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 6,000 และ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดปริมาณซัลเฟต มีค่าเท่ากับ 1,928 และ 4,052 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 67.9% และ 55.0% ตามลำดับ

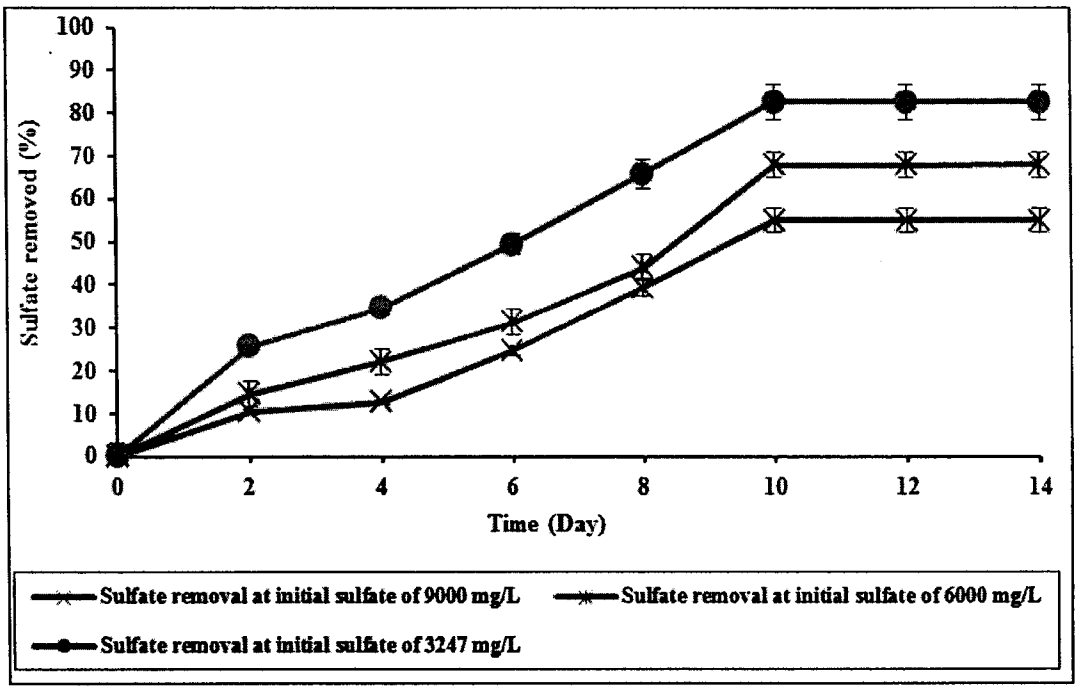


Figure 29 Effect of sulfate concentrations of Super PS on % sulfate removal of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของซุปเปอร์พีเอส ในการบำบัดน้ำเสียพบว่า ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 3,247 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชุดควบคุม) เท่ากับ 75.1 % และเมื่อมีการปรับความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 6,000 และ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 53.6 และ 26.8 % ตามลำดับ (ภาพที่ 30) ซึ่งการลดลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด แสดงว่าซุปเปอร์พีเอสในระบบมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย จึงช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียได้

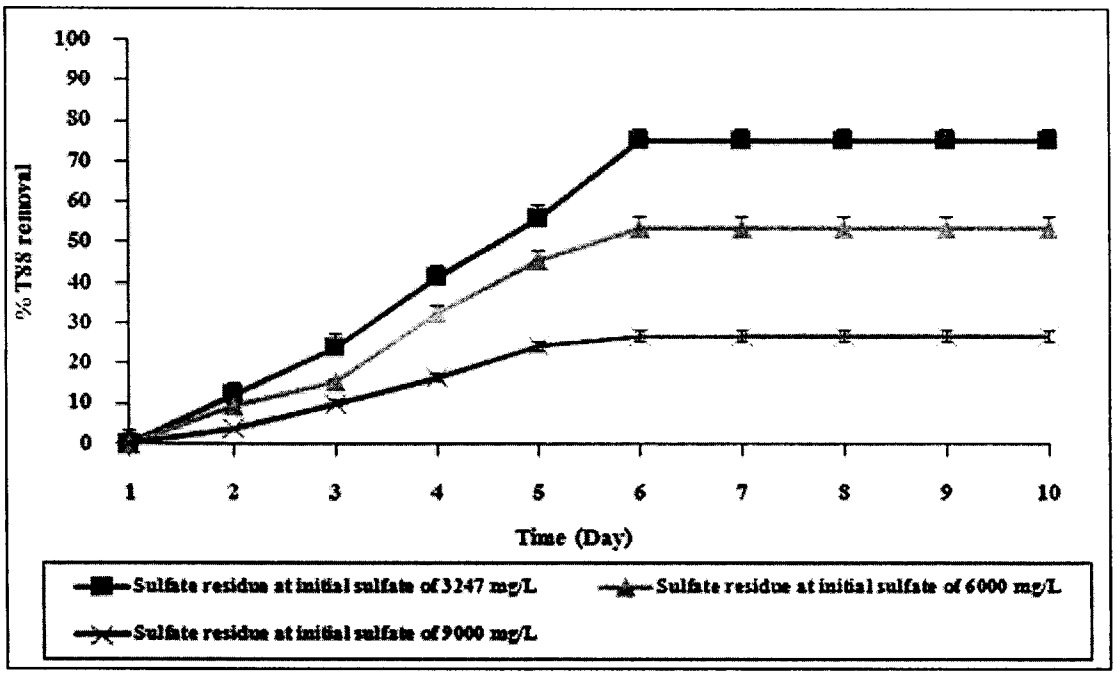


Figure 30 Effect of sulfate concentrations of Super PS on % TSS removal of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของ MLVSS ของการบำบัดน้ำเสียจากการทดลองพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในระบบของการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นและยางแท่งจะเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ถึงวันที่ 10 (ภาพที่ 31) ชุดควบคุม (ปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น เท่ากับ 3,247 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมากที่สุด หลังการบำบัดปริมาณจุลินทรีย์ในระบบอยู่ที่ 2,105 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปรับความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดปริมาณ MLVSS ในระบบอยู่ที่ 1,202 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อปรับความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดปริมาณ MLVSS ในระบบอยู่ที่ 1,041 มิลลิกรัมต่อลิตร

ดังนั้นซัลเฟตมีผลต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอสเนื่องจากถ้ามีการเจริญของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) ในปริมาณที่เหมาะสมในระบบ ย่อมมีการทำงานส่งเสริมซึ่งกันและกันระหว่างแบคทีเรียสังเคราะห์แสงและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) (Honda, 2005; Madigan *et al.*, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 3.6.4 ในการวิเคราะห์ความหลากหลายของเชื้อในน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) ได้แก่ *Desulfosarcina variabilis*

DSM 2060, *Desulfomonaspigra* ATCC 29098T, *Desulfovibrio desulfuricans* และ *Desulfovibrio vulgaris* แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) จะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟตทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (Honda, 2005) ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดขึ้น แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะใช้เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการสังเคราะห์แสง (Staley *et al.*, 1989) แต่เมื่อในระบบมีความเข้มข้นของซัลเฟตที่มาก มีผลทำให้เกิดการเจริญของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) ในระบบมีปริมาณมากเกินไป ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ไปยับยั้งการทำงานของซุปเปอร์พีเอส และเกิดการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและจุลินทรีย์ซุปเปอร์พีเอสในการแย่งชิงสารอาหารนอกจากนี้ยังมีรายงานว่า หากน้ำเสียมีความเข้มข้นของซัลเฟตสูง จะทำให้ sulfate reducing bacteria เจริญขึ้นมาแทนที่และปล่อยสารพิษมายับยั้งการเจริญของ PnSB (Honda, 2005, Hansen and Germerden, 1972) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ซุปเปอร์พีเอส จะเห็นว่า หากมีปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียเริ่มต้นสูงขึ้น ประสิทธิภาพการลดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลง (ภาพที่ 28-31) ทั้งนี้เป็นผลจากจุลินทรีย์ถูกยับยั้งการเจริญ (ค่า MLVSS ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในภาพที่ 32) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ซุปเปอร์พีเอสยังสามารถเจริญได้ในน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซัลเฟต และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 49.1, 55.0 และ 26.8 % ตามลำดับ) ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ซุปเปอร์พีเอสในระบบบำบัดน้ำเสียจริง ที่มีค่าความปรวนแปรของปริมาณซัลเฟตค่อนข้างมาก อาทิเช่น มีปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 8,800 มิลลิกรัมต่อลิตร (ป. จิรวัฒน์ จันทร์ทอง, 2552) จะเห็นว่าซุปเปอร์พีเอสก็ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย และยังมีประสิทธิภาพบำบัดสารอินทรีย์ที่ดีกว่าการไม่ใช้ซุปเปอร์พีเอส (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซัลเฟต และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 40.9, 31.3 และ 19.1 % ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ 3.2)

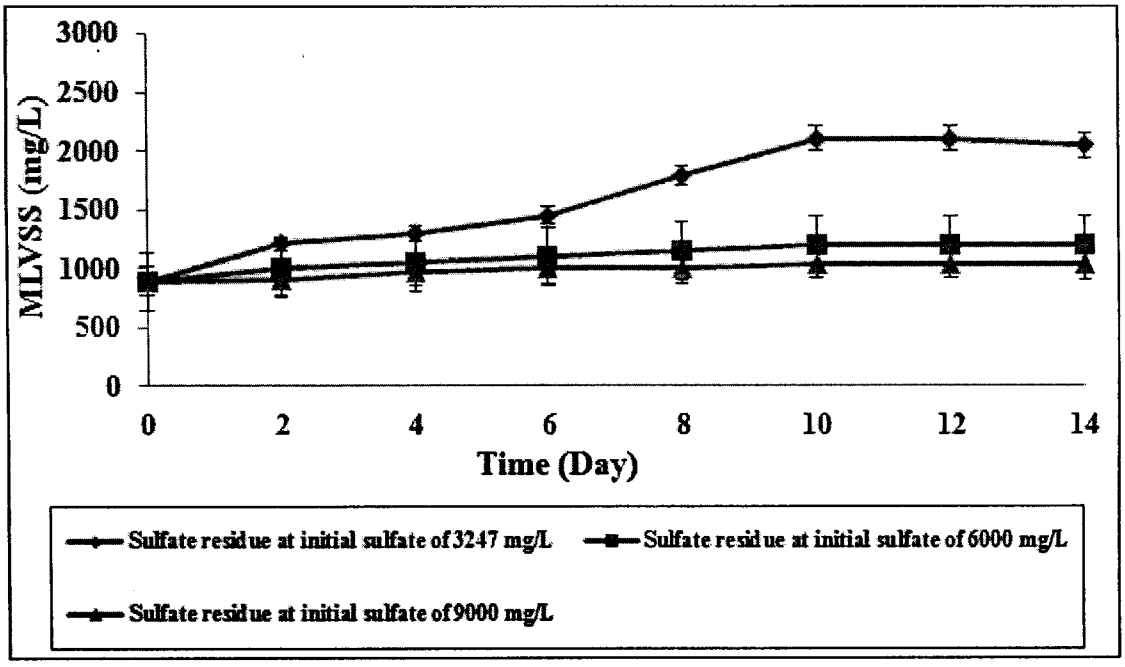


Figure 31 Effect of sulfate concentrations of Super PS on MLVSS of rubber industrial wastewater with 6 % (v/v) Super PS at light intensity 4,000 lux in batch system

3.6 ศึกษาหาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor

3.6.1 การเริ่มต้นระบบ (Start-up)

เริ่มต้นการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งาน 10 ลิตร ทั้งหมด 5 ถัง โดยถังที่ 1-4 ทำการเริ่มระบบโดยการเติมซุปเปอร์พีเอส เติมในแต่ละถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic SBR สำหรับถังที่ 5 ทำการเริ่มระบบโดยไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส ถังปฏิกรณ์ทั้ง 5 ถัง มีการให้แสงทางด้านบน ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (ทำการวัดความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางถังปฏิกรณ์) มีการเติมน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทำการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำประปา) ทำการปล่อยและเติมน้ำเสีย 1 ลิตรต่อวันคิดเป็น OLR (Organic loading rates) เท่ากับ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) เป็นเวลา 10 วัน และมีการกวนผสมเฉพาะเวลาการเติมน้ำเข้าระบบเท่านั้น การทำงานของถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic SBR จะทำงาน 1 วัฏจักรต่อ 1 วัน โดย 1 วัฏจักร (24 ชั่วโมง) จะประกอบด้วย ช่วงการเติมน้ำเสีย ช่วงทำปฏิกิริยา (ให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์) และช่วงปล่อยน้ำทิ้ง ทำการควบคุม oxidation reduction potential (ORP) ให้อยู่ในช่วง -300 และ -200 มิลลิโวลต์ ผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปริมาตรตะกอนจุลินทรีย์ในรูปของ MLVSS ในถังปฏิกรณ์ชนิด micro-aerobic SRB แสดงดังภาพที่ 32 พบว่าตะกอน

จุลินทรีย์เจริญได้มากที่สุดประมาณ 2,450-2,590 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชุดการทดลองที่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส (Reactor 1-4)

ช่วงเริ่มต้นระบบ (28 วัน) เป็นช่วงที่มีการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้มีปริมาณเพียงพอและกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ระยะแรกนี้จุลินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์แล้ว แต่ระบบยังไม่สามารถรับน้ำเสียอย่างเต็มที่ (พัชราภรณ์ จ่าแก้ว, 2546) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) เป็นช่วงเวลาที่จุลินทรีย์แข็งแรงและสมบูรณ์ สังเกตได้ว่าปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชุดที่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส และมีปริมาณคงที่ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอธิบายได้ว่า เมื่อมีการให้อาหาร (ป้อนน้ำเสีย) ในปริมาณคงที่ จุลินทรีย์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่อาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดและการตายจะใกล้เคียงกัน (พัชราภรณ์ จ่าแก้ว, 2546) จากการทดลองจะเห็นว่าระบบเริ่มเสถียรตั้งแต่วันที่ 14 พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า ซุปเปอร์พีเอส (Reactor 1-4) ระบบสามารถลดปริมาณซีโอดีจาก 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือประมาณ 3,900 - 4,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพของการบำบัดปริมาณซีโอดีคิดเป็น 79.0-80.5 % และในชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้าซุปเปอร์พีเอส (Reactor 5) ระบบสามารถลดปริมาณซีโอดีจาก 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือประมาณ 13,302 มิลลิกรัมต่อลิตรประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีคิดเป็น 33.5 % แสดงดังภาพที่ 33

นอกจากนี้พบว่า Oxidation-reduction potential (ORP) ในถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor มีค่าอยู่ในช่วง -275 ถึง -240 มิลลิโวลต์ ทำให้ไม่ต้องมีการเติมก๊าซไนโตรเจนเพิ่มเติมในการรักษา ORP ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Izu *et al.* (2001) ซึ่งพบว่าหากมีการควบคุมค่า oxidation-reduction potential (ORP) ให้น้อยกว่า -200 มิลลิโวลต์ ทำให้แบคทีเรียกลุ่ม PnSB เจริญมากกว่าแบคทีเรียอื่นๆ ในระบบ และค่า OLR ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง -300 และ -200 มิลลิโวลต์ (Kaewsuk *et al.*, 2010)

3.6.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio)

จากผลของการเริ่มต้นระบบในชุดการทดลองที่ 1 (Reactor 1-4) ความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) สูงสุดอยู่ที่ 2,450-2,590 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 32) และปริมาณซีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน อย่างไรก็ตามได้มีรายงานว่าอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นมีค่าเท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (Thonglimp *et al.*, 2005) ดังนั้นใน

การทดลองนี้หากจะใช้อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวันแล้ว จำเป็นต้องเลี้ยงปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) ในปริมาณมาก นอกจากนี้จากภาพที่ 32 แสดงให้เห็นว่าที่ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน สามารถบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 80 % ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการทดลองอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) 4 ค่า คือ 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน ตามลำดับ ในการทดลองจะมีการเลี้ยงตะกอนไว้ในถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic SBR สำรองเพื่อใช้ในการปรับอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 10 วัน โดยทำการปรับความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) ในถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic SBR ในวันที่ 30 หลังที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) จนได้ F/M ratio เท่ากับ 4, 8, 6 และ 10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน แสดงดังภาพที่ 32

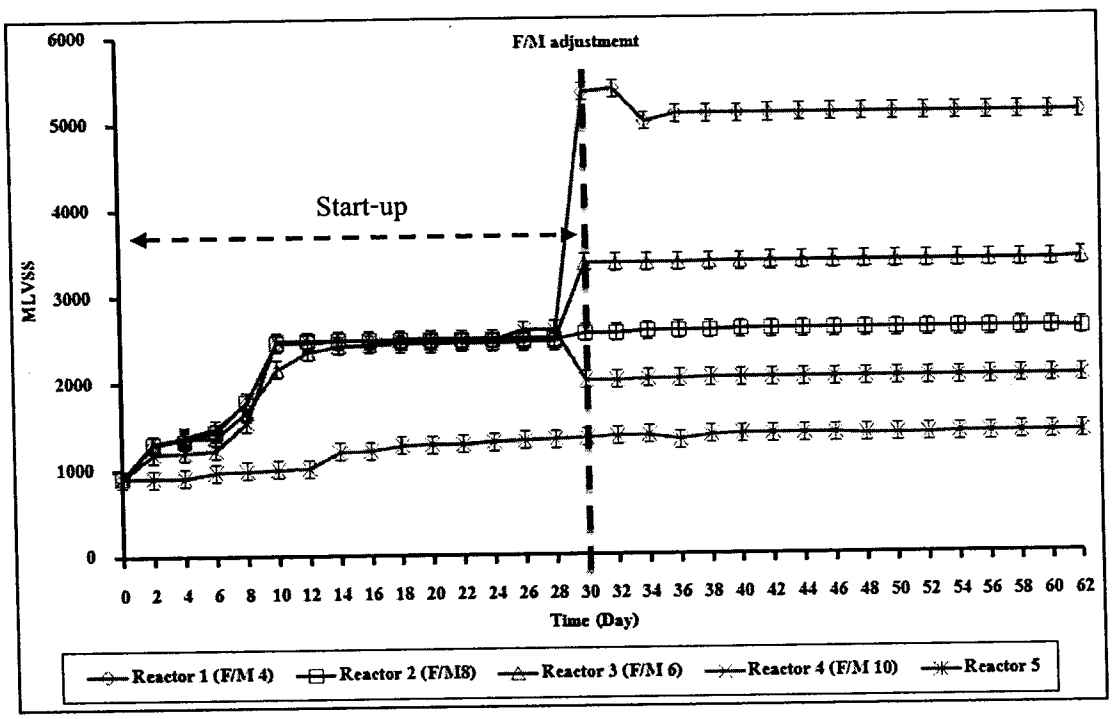


Figure 32 The MLVSS in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) and F/M adjustment at light intensity 4,000 lux

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสีย แสดงดังนี้

3.6.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซีโอดีเมื่อควบคุมให้ HRT คงที่เท่ากับ 10 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้น เมื่อ F/M ratio เพิ่มขึ้นจนถึง F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (Reactor 2) มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงที่สุดเท่ากับ 94.4% ขณะที่ F/M ratioเท่ากับ 4, 6 และ 10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (Reactor 1, 3, 4) มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 60.0, 79.7 และ 69.5 % ตามลำดับ เนื่องจากที่ F/M ratio ต่ำ ปริมาณอาหารในระบบเพื่อใช้ในการเจริญของจุลินทรีย์ขาดแคลน ทำให้เซลล์จุลินทรีย์เบามีลักษณะเป็นเซลล์แคปซูล ส่งผลให้เกิดการตกจมได้ยาก (สุรีรัตน์ แก้วสามดวง, 2552) สอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อใช้ F/M ratio เท่ากับ 4 และ 6 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน จะเห็นตะกอนลอยด้านบนอย่างชัดเจน ในทางกลับกัน ถ้า F/M ratio สูงเกินไป ปริมาณอาหารในระบบมีมากจนเกินไป หรือมีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบน้อยเกินไป จุลินทรีย์จึงไม่สามารถย่อยสลายได้หมดประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์จึงต่ำ (Kaewsuk *et al.*, 2010) และในชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้าซุปเปอร์พีเอส (Reactor 5) ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 42.6 % แสดงดังภาพที่ 33

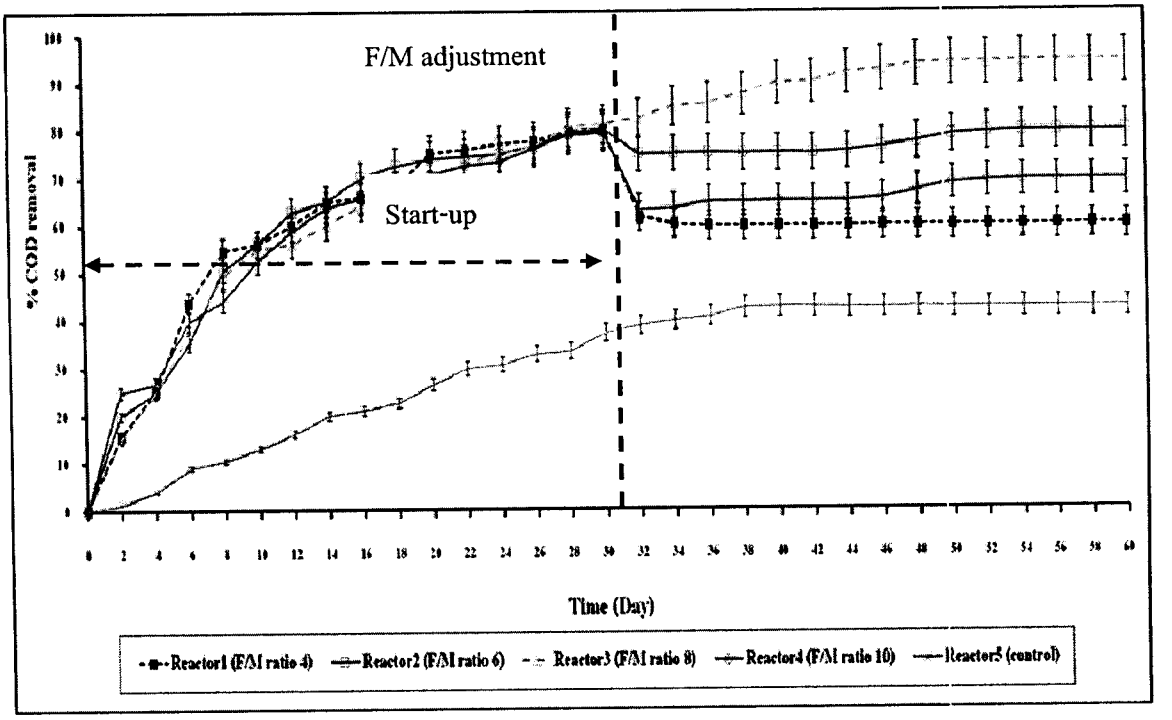


Figure 33 Effect of % COD removal in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) at light intensity 4,000 lux

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ดีที่ค่า F/M เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน หาก F/M ในระบบมีค่าสูงขึ้นหรือลดต่ำลง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของจุฑามาศ แก้วสุข (2549) เมื่อใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว ซึ่งเดินระบบที่ F/M ratio ต่ำกว่ามาก คือ F/M ratio เท่ากับ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากงานของจุฑามาศ แก้วสุข ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนมีการกักเก็บจุลินทรีย์ในระบบ จึงสามารถเดินระบบโดยมีปริมาณ MLVSS ที่สูงและใช้น้ำเสียโรงงานนมซึ่งย่อยสลายสลายได้ง่ายกว่าน้ำเสียจากโรงงานยาง โดยผลการทดลองพบว่า F/M ratio ที่ 0.05 มีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด และเมื่อเพิ่ม F/M ratio สูงขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ต่ำลง

3.6.2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซัลเฟตเมื่อควบคุมให้ HRT เท่ากับ 10 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตเพิ่มขึ้น เมื่อF/M ratio (Reactor 2) เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน มีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตเท่ากับ 82.5% เมื่อ F/M ratio (Reactor 1, 3, 4) เท่ากับ 4, 6 และ 10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน มีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตเท่ากับ 59.2 , 69.4 และ 65.2 % ตามลำดับ และในชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้าซุปเปอร์พีเอส (Reactor 5) ประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตเท่ากับ 40.0% แสดงดังภาพที่ 34

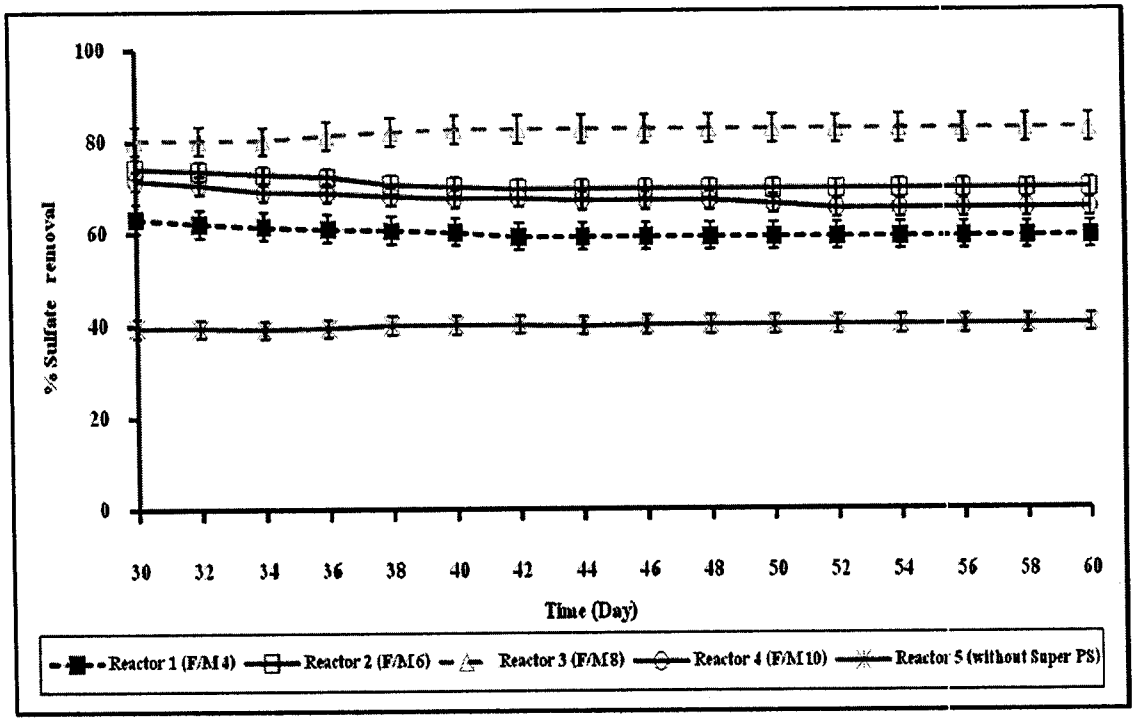


Figure 34 Effect of % sulfate removal in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) at light intensity 4,000 lux

3.6.2.3 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเมื่อควบคุมให้ HRT เท่ากับ 10 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (Reactor 2) มีประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 75.6 % เมื่อ F/M ratio เท่ากับ 4, 6 และ 10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (Reactor 1, 3, 4) มีประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 35.2, 63.6 และ 45.6 % ตามลำดับ และในชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมซุปเปอร์พีเอส (Reactor 5) ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 40.0% แสดงดังภาพที่ 35

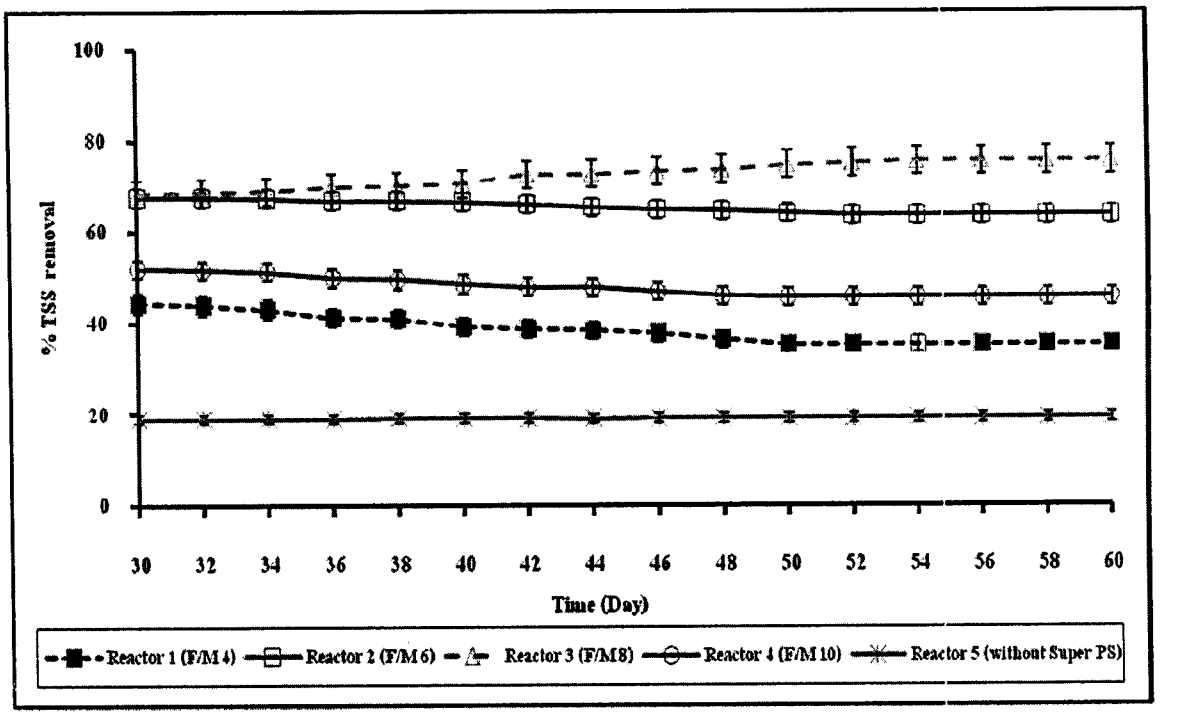


Figure35 Effect of % TSS removal in Micro-aerobic SRB at F/M ratio of 4, 6, 8 and 10 mg-COD/mg-MLVSS/d (OLR 2 g-COD/L/d, HRT 10 day) reactor 1-4 (with Super PS addition) and reactor 5 (control, without Super PS addition) at light intensity 4,000 lux

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่ง โดยการใช้ซุปเปอร์พีเอสจะเห็นว่า F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ดีที่สุด ซึ่งถ้านำซุปเปอร์พีเอส ไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียระดับอุตสาหกรรม จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในระบบ เนื่องจากในการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่จำเป็นต้องมีการให้อากาศ แต่ก็ยังมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูง และสามารถลดปัญหาการหมุนเวียนตะกอน เนื่องจากการใช้จุลินทรีย์ในระบบน้อยตะกอนที่เกิดขึ้นก็จะมีปริมาณน้อยด้วย ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นมีค่าเท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (Thonglimp *et al.*,2005) ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบจึงมีปริมาณมาก ส่งผลให้ระบบการบำบัดต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนการหมุนเวียนตะกอน และการกำจัดตะกอน (ภาพที่ 36)

การตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

เมื่อทำการตรวจวัดอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยอยู่ในช่วง 45-48 องศาเซลเซียส ทุกชุดการทดลอง ซึ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้อุณหภูมิที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Sasikala *et al.* (1993) พบว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสง PnSB สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส

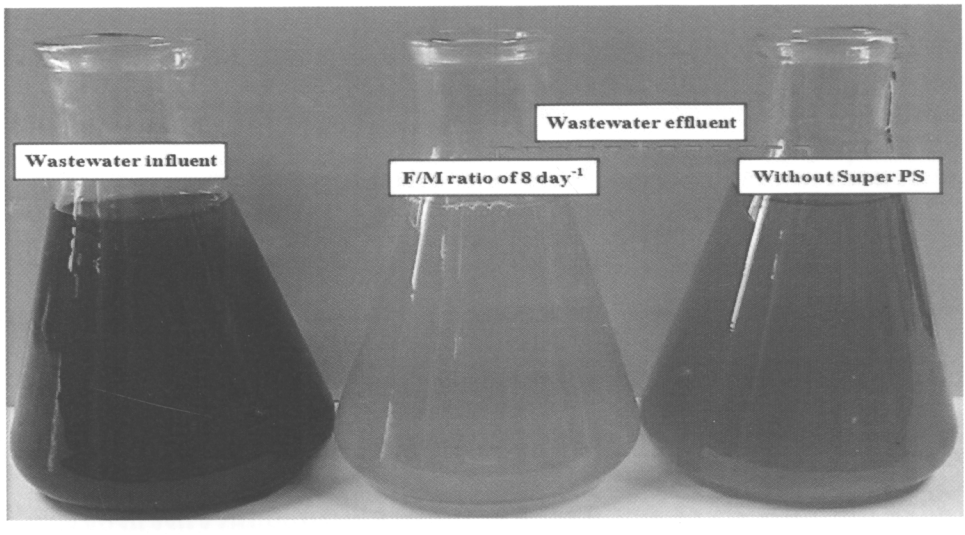


Figure 36 Color of wastewater before and after with and without Super PS

3.6.3 ผลของแหล่งจุลินทรีย์

จากการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของ F/M ratio โดยนำจุลินทรีย์จากก่อนเข้าบ่อเติมอากาศของบริษัท อีฮับฮวด จำกัด มาเลี้ยงพร้อมกับการให้อากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลาย (DO) 1.5-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการควบคุม F/M ratio เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (ชุดการทดลองที่ 1) (ค่าที่โรงงานเดินระบบอยู่, MLVSS เท่ากับ 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (ชุดการทดลองที่ 2) (ค่าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.6.2, MLVSS เท่ากับ 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร) เปรียบเทียบกับระบบที่ใช้ซุปเปอร์พีเอส เดินระบบที่ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (ชุดการทดลองที่ 3) พบว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ F/M ratio เท่ากับ 0.4มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน น้ำส่วนบนขุ่น (ภาพที่ 37) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) สังเกตได้ว่าปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตะกอนมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม และมีปริมาณคงที่ ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบจนมีความเสถียร (เป็นระยะเวลา 20 วัน) ระบบเริ่มเสถียรตั้งแต่วันที่ 14-20 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ซัลเฟตและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 60.4, 62.1และ 52.5 % ตามลำดับ ขณะที่เมื่อใช้ตะกอนจากบ่อเติมอากาศของบริษัทอีฮับฮวดจำกัด F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (ชุดการทดลองที่ 2) น้ำส่วนบนไม่ค่อยขุ่น และตะกอนจะค่อยๆ ตกลงสู่ก้นถังให้อากาศ มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ซัลเฟตและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 26.7, 33.1 และ 26.5% ตามลำดับ จะเห็นว่าการใช้ตะกอนจากบ่อเติมอากาศของบริษัทอีฮับฮวดจำกัด เมื่อเดินระบบที่ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ต่ำกว่า F/M ratio เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน เนื่องจากที่ F/M ratio สูงปริมาณจุลินทรีย์น้อยเกินไปและอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ในระบบไม่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ลดน้อยลงแสดงดังตารางที่ 11

ขณะที่เมื่อใช้ซุปเปอร์พีเอสเดินระบบที่ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (ชุดการทดลองที่ 3) มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซัลเฟตและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 94.4, 81.0 และ 75.2% ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า

การใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานอีฮับฮวด (ชุดการทดลองที่ 1 และ 2) ดังนั้นหากนำซุปเปอร์พีเอสมาประยุกต์ใช้ในโรงงานจริง จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายเรื่องของปริมาณตะกอนที่ใช้ในการบำบัด เนื่องจากปริมาณที่ใช้น้อยและไม่มีการให้อากาศ แต่สามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่ดี นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการใช้ซุปเปอร์พีเอสที่ใช้ F/M ratio เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน (มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 94.4 %) กับรายงานของ Thonglimp *et al.* (2005) พบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นมากกว่า ซึ่งเดินระบบโดยใช้ F/M ratio เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน ในระบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor) (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 92.2 %) (Thonglimp *et al.*, 2005)

Figure 37 Comparison wastewater treatments using sludge from aerobic pond of E-Hub Huad Company between F/M ratio as 0.4 and 8 mg-COD/mg-MLVSS/d at DO 2 mg/L, OLR of 2 g-COD/L/d and HRT of 10 day

Table 11 Comparison of wastewater treatment system between ctivated sludge from E-hub huad Co., Ltd and Super PS

Parameters	F/M ratio (mg-COD/mg-MLVSS/d)		
	Sludge from the plant		Super PS
	0.4	8	8
% COD removal	60.4	26.7	94.4
% Sulfate removal	62.1	33.1	81.0
% TSS removal	52.5	26.5	75.2

3.6.4 ผลของแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้micro-aerobic SBR

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้แสงจากดวงอาทิตย์และชุดการทดลองที่ 2 ใช้แสงจากหลอดไฟทังสเตนที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีการเติมซุปเปอร์พีเอสที่ 6 % (ปริมาตร/ปริมาตร) ไม่มีการให้อากาศ มีการเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 ลิตรต่อวัน และมีการกวนผสมเฉพาะเวลาการเติมน้ำเสียเข้าระบบเท่านั้น คิดเป็น OLR เท่ากับ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน และ HRT เท่ากับ 10 วัน

3.6.4.1 อิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณ MLVSS ในระบบ

จากผลของการเริ่มต้นระบบ พบว่าแสงจากหลอดไฟทังสเตน (4,000 ลักซ์) มีประสิทธิภาพดีกว่าแสงจากดวงอาทิตย์ (period I: 8 ตุลาคม 2554 – วันที่ 27 พฤศจิกายน 2554) (วัดความเข้มแสงช่วงเช้า (8.00-11.00 น.) มีค่าประมาณ 4×10^4-6×10^4, ช่วงเที่ยง (11.00-12.00 น.) มีค่าประมาณ 8×10^4-1.4×10^5 ลักซ์ และช่วงบ่ายจนถึงช่วงเย็น (14.00-18.00 น.) มีค่าประมาณ 9×10^3-5×10^4 ลักซ์) (กรมอุตุวิทยา จังหวัดสงขลา) เนื่องจากหลอดไฟทังสเตนหรือหลอดอินฟาเรดให้ความเข้มแสงมากกว่าและให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกับความต้องการของแบคทีเรีย แต่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายและพืชอื่นๆ (Sawada and Rogers, 1977) นอกจากนี้แสงจากดวงอาทิตย์มีรังสีอย่างอื่นนอกจากรังสีอินฟาเรด ทำให้ซุปเปอร์พีเอสเจริญได้ช้ากว่า ทำให้แสงจากหลอดทังสเตน ระยะเวลาให้แสง 24 ชั่วโมงตลอดเวลาเข้าสู่ steady state ภายใน 14 -16 วัน ซึ่งเร็วกว่าแสงจากดวงอาทิตย์ (เข้าสู่ steady state ภายใน 28-30 วัน) (ภาพที่ 38) อย่างไรก็ตามปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) ในระบบ เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่หลังจากวันที่ 30 มีค่าใกล้เคียงกันปริมาณ

ตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) จากแหล่งให้กำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ และหลอดไฟทังสเตน เท่ากับ 2.5 และ 2.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 38 และในระหว่างทำการทดลองในวันที่ 54-72 (period II: 29 พฤศจิกายน – วันที่ 19 ธันวาคม 2554) เกิดมรสุมเข้าภาคใต้และไม่มีแสงแดด (วัดความเข้มแสงได้ประมาณ 300-700 ลักซ์) ทำให้การทดลองในชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) ในระบบลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) จากแหล่งให้กำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ เท่ากับ 1.9 กรัมต่อลิตรแสดงให้เห็นว่าแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทางการค้า (ซุปเปอร์พีเอส) เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและการผลิตรงควัตถุ (Kobayashi and Kurata, 1987) และจากการตรวจวัดอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ช่วงเที่ยงของทุกวัน พบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีอุณหภูมิในถังปฏิกรณีใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 45-50 องศาเซลเซียส

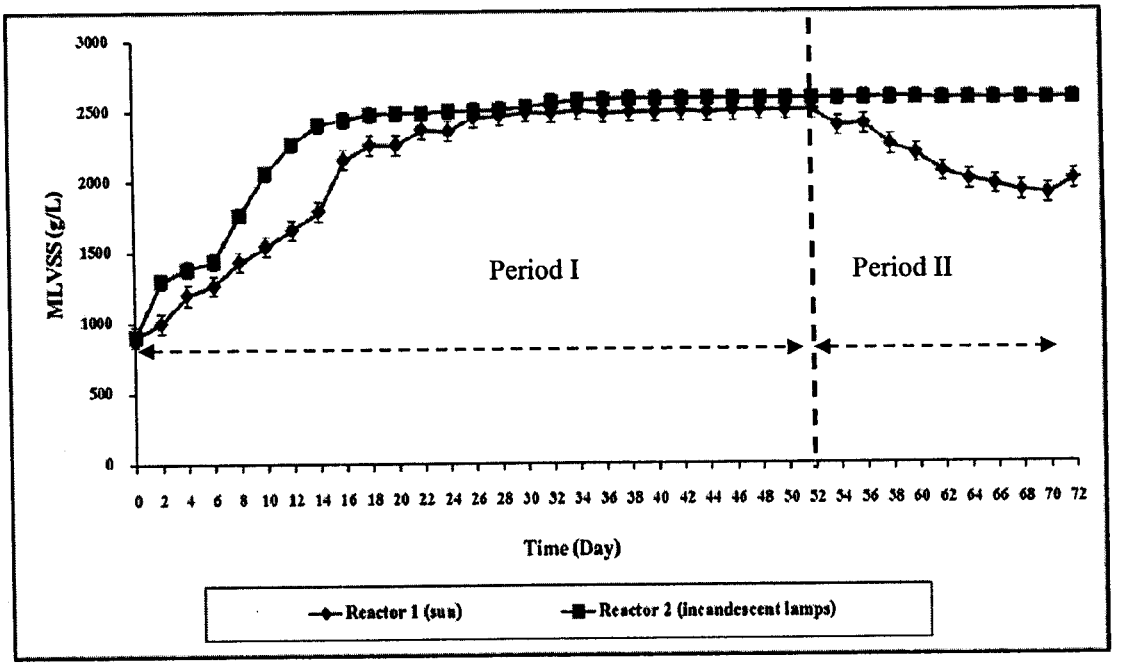


Figure 38 MLVSS concentration of micro-aerobic SBR system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day)

หมายเหตุ Period I วันที่ 8 ตุลาคม 2554 – วันที่ 27 พฤศจิกายน 2554
ความเข้มแสงช่วงเช้า (8.00-11.00 น.) มีค่าประมาณ 4×10^{4}-6×10^{4}
ช่วงเที่ยง (11.00-12.00 น.) มีค่าประมาณ 8×10^{4}-1.4×10^{5}ลักซ์
บ่ายจนถึงช่วงเย็น (14.00-18.00 น.) มีค่าประมาณ 9×10^{3}-5×10^{4}ลักซ์)

Period II วันที่ 29 พฤศจิกายน – วันที่ 19 ธันวาคม 2554

ความเข้มแสงประมาณ 4×10^{4}-6×10^{4}

*ผลจากการทดลองที่ 3.4.1 ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์

3.6.4.2 อิทธิพลของแสงต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบ

จากการศึกษาเปรียบเทียบแหล่งให้กำเนิดแสงที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย (ภาพที่ 39-41) พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย จากหลอดไฟทังสเตนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 94.4, 81.0 และ 75.2% ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้แสงจากดวงอาทิตย์ (Period I) (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 80.9, 78.2 และ 64.2% ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์จากแสงของดวงอาทิตย์ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าแสงของหลอดทังสเตน ระยะเวลาการให้แสงที่ 12 และ 16 ชั่วโมง นอกจากนี้พบว่าจากแสงของดวงอาทิตย์ในช่วงมรสุม (Period II) มีประสิทธิภาพเท่ากับ 54.9, 58.9 และ 52.3% (ตารางที่ 12) ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าแสงของหลอดทังสเตน ระยะเวลาการให้แสงที่ 12 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการใช้แสงของดวงอาทิตย์ในการบำบัดน้ำเสียของซุปเปอร์พีเอส ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมโดยไม่จำเป็นต้องให้แสงจากหลอดทังสเตนหรือแสงจากพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากแสงจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวก็สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการให้แสงจากหลอดทังสเตนได้ โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทั้งในช่วงปกติ หรือในช่วงมรสุม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบการใช้ซุปเปอร์พีเอสกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ของบริษัทอีฮับฮวดจำกัด จากผลการทดลองที่ 3.1 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงปกติลดค่าซีโอดีได้ 80.9% ซึ่งมากกว่าการบำบัดจากบ่อให้อากาศของโรงงาน (บำบัดซีโอดีได้ 58.9%) แต่เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วของโรงงานจะมีประสิทธิภาพโดยรวม เท่ากับ 97.1% ซึ่งดีกว่าการใช้ซุปเปอร์พีเอส หากมีการกำจัดของแข็งแขวนลอยหลังจากการบำบัด อาจทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นได้ จะเห็นว่าการใช้ซุปเปอร์พีเอสสามารถแทนบ่อเติมอากาศของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และลดปัญหาตะกอนส่วนเกินในระบบ เนื่องจากใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในปริมาณน้อย (อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน) ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเดินระบบได้อีกด้วย

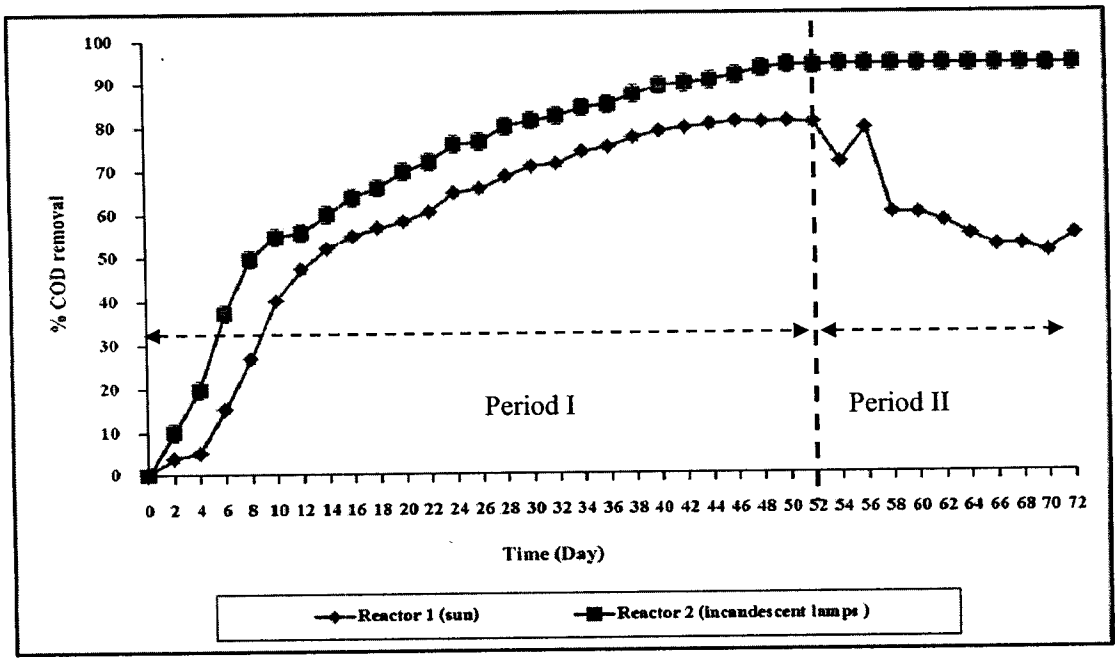


Figure 39 Effect of % COD removal in Micro-aerobic SRB system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day)

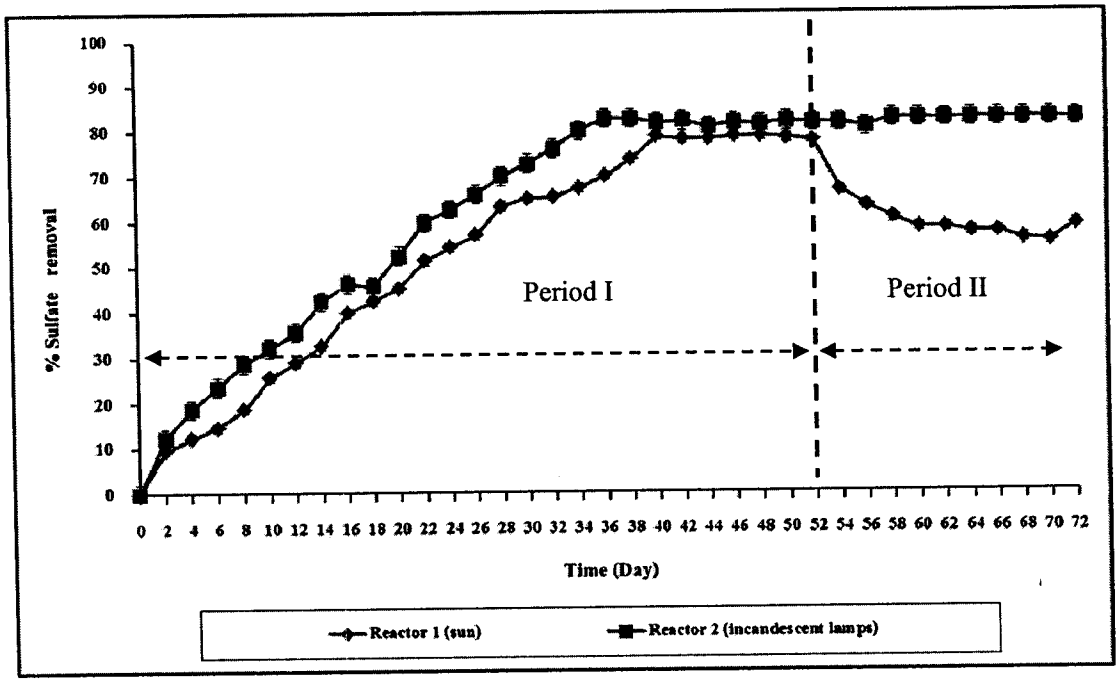


Figure 40 Effect of % sulfate removal in Micro-aerobic SRB system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day)

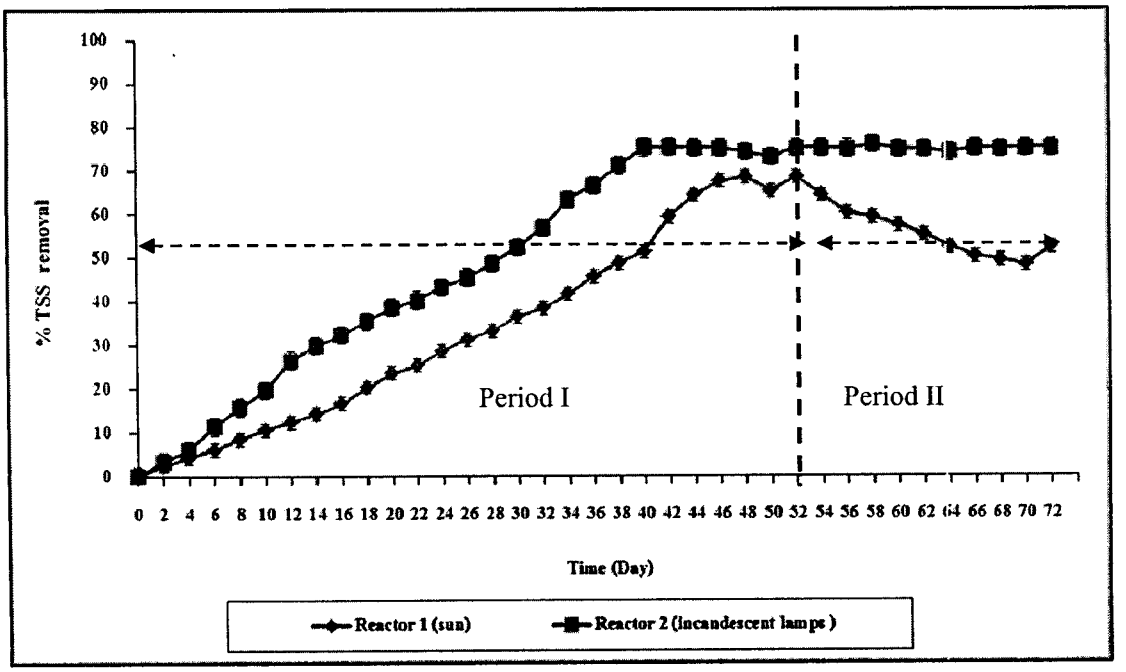


Figure 41 Effect of % TSS removal in Micro-aerobic SRB system with 6% (v/v) Super PS under sunlight and the light from a tungsten lamp at F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day

Table 12 Efficiency of wastewater treatment between the sun and the light from a tungsten lamp

Parameters	**Sun**		**tungsten lamp(hr.) ***		
	Period I	Period II	**24**	**16**	**12**
COD removal (%)	80.9±1.23	54.9±1.03	94.4±1.76	61.1±2.51	46.2±1.46
Sulfate removal (%)	78.2±0.97	58.9±1.38	81.0±1.09	54.8±0.92	58.9±1.09
TSS removal (%)	64.2±0.85	52.3±1.76	75.2±1.25	62.5±0.88	49.4±0.97

หมายเหตุ Period I วันที่ 8 ตุลาคม 2554 – วันที่ 27 พฤศจิกายน 2554
ความเข้มแสงช่วงเช้า (8.00-11.00 น.) มีค่าประมาณ 4×10^4-6×10^4
ช่วงเที่ยง (11.00-12.00 น.) มีค่าประมาณ 8×10^4-1.4×10^5ลักซ์
บ่ายจนถึงช่วงเย็น (14.00-18.00 น.) มีค่าประมาณ 9×10^3-5×10^4ลักซ์)

Period II วันที่ 29 พฤศจิกายน – วันที่ 19 ธันวาคม 2554
ความเข้มแสงประมาณ 4×10^4-6×10^4

*ผลจากการทดลองที่ 3.4.1 ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์

3.5.3 ความหลากหลายของเชื้อโดยใช้เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE)

จากการสกัด DNA ของซุปเปอร์พีเอส, น้ำเสียยังไม่ผ่านการบำบัดและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยซุปเปอร์พีเอส 6 % (v/v) ที่วันที่ 7, 14, 21, 28 และ 35 ด้วย micro-aerobic SBRที่ F/M ratio เท่ากับ 8 เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี DGGE เพื่อแยก 16S rDNA ของแบคทีเรียแต่ละชนิด แสดงดังภาพที่ 42 จากนั้นตัดแบนที่แยกได้โดย DGGE เพื่อนำไปทำ sequence DNA (ตารางที่ 13) พบว่าซุปเปอร์พีเอสมีจุลินทรีย์ 4 ชนิด (Lane 2) คือ *Escherichia coli*, PSB1, PnSB1 และ PnSB2 (เป็นความลับทางการค้า ไม่สามารถเปิดเผยรายละเอียดของสายพันธุ์จุลินทรีย์ได้) จะเห็นว่า *Escherichia coli* เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ได้เป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ทั้งนี้อาจเกิดจากการปนเปื้อนในระหว่างการทดลอง และมีแบคทีเรียสังเคราะห์แสง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สะสมกำมะถัน (1 สายพันธุ์) และกลุ่มที่ไม่สะสมกำมะถัน (2 สายพันธุ์) ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดมีจุลินทรีย์ 7 สกุล (Lane1) คือ *Escherichia coli*, *Pseudovibrio sp.* JE062, *Desulfosarcina variabilis* DSM 2060, *Streptococcus suis* 98HAH33, *Desulfomonaspigra* ATCC 29098T, *Desulfovibriode sulfuricans* และ *Desulfovibrio vulgaris*

ในระหว่างการบำบัดในสัปดาห์ที่ 1-5 พบว่า PnSB1 ปรากฏบนเจลและมีความเข้มของแบนมากในสัปดาห์ที่ 2-6 จึงน่าจะเป็นสายพันธุ์ที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 3.2 – 3.4 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นที่สัปดาห์ที่ 2 จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ อย่างไรก็ตามยังปรากฏ PSB1 และ PnSB2 บนเจลตลอดการทดลองถึงแม้จะมีความเข้มของแบนน้อยกว่า PnSB1 นอกจากนี้จะเห็นว่าระหว่างการบำบัดน้ำเสียด้วยซุปเปอร์พีเอสจะไม่พบ *Pseudovibrio sp.* JE062 และ *Streptococcus suis* 98HAH33 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสียเริ่มต้นก่อนการบำบัด แต่พบ *Desulfosarcina variabilis* DSM 2060, *Desulfomonaspigra* ATCC 29098T, *Desulfovibriode sulfuricans* และ *Desulfovibrio vulgaris* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) และสอดคล้องกับลักษณะน้ำเสียของโรงงานยางพาราที่มีปริมาณซัลเฟตที่สูง แสดงให้เห็นว่าในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นและยางแท่งด้วยซุปเปอร์พีเอสนี้ น่าจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์กลุ่มรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยที่แบคทีเรียกลุ่มรีดิวซ์ซัลเฟตทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟตทำให้เปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (Honda, 2005) และซุปเปอร์พีเอสซึ่งเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่สามารถเจริญในสภาวะไม่มีการให้อากาศได้โดยใช้ H_2S เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการสังเคราะห์แสง (Madigan *et al.*,2000; Kemavongse, 2006) สอดคล้องกับนัสที กรโอชาเลิศ (2552) ได้รายงานไว้ว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถบำบัดน้ำเสียจากสหกรณ์ยางแผ่นรมควัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด ประมาณ 90% ทั้ง BOD และ COD

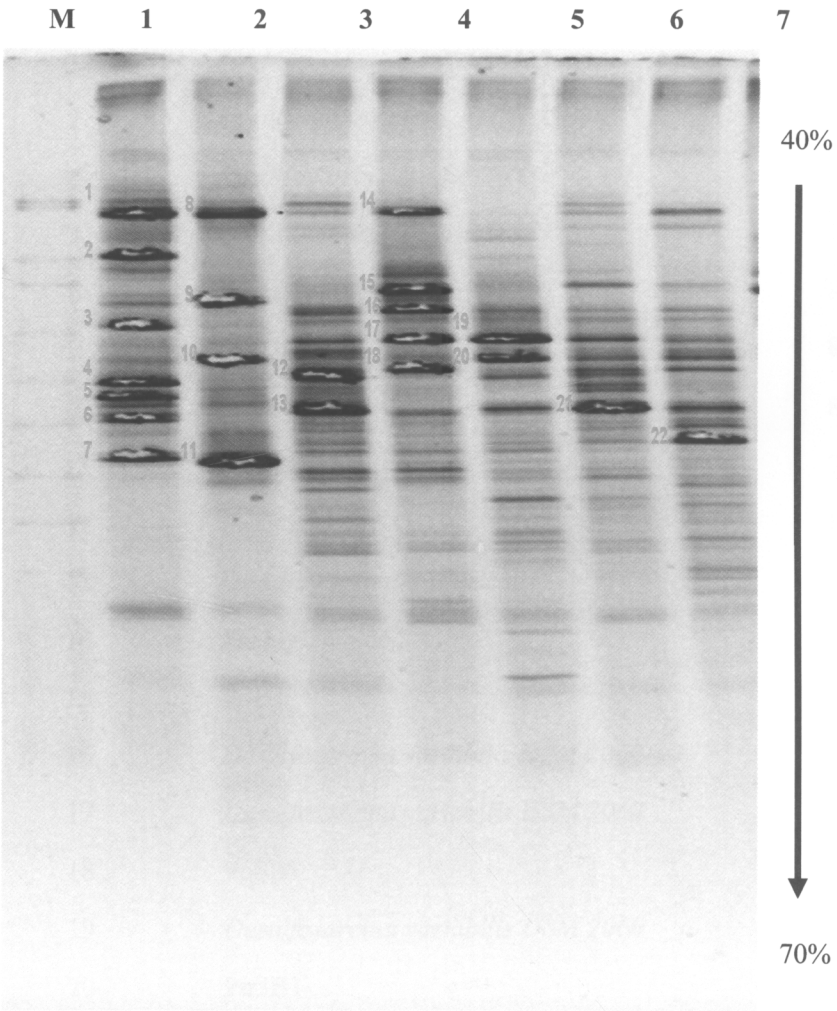


Figure 42 DGGE file, M: Marker; Lane1: Untreated wastewater; Lane2: Super PS; Lane 3- 7: wastewater samples from micro-aerobic SRB at the cultivation of 7, 14, 21, 28 and 35 day, respectively (F/M ratio 8 mg-COD/mg-MLVSS/d, ORT 2 g/L day and HRT 10 day)

Table 13 Sequence analysis of dominant bands excised from DGGE gels derived from bacterial 16S rDNA gene amplicons (% - percentage of similarity between the 16S rRNA gene of dominant band and the closest relative in the NCBI database)

DGGE Band	Closest relative and accession number	Identities (%)
1	*Escherichia coli*	89
2	*Pseudovibrio sp. JE062*	78
3	*Desulfosarcina variabilis DSM 2060*	83
4	*Streptococcus suis 98HAH33*	78
5	*Desulfomonas pigra ATCC 29098T*	79
6	*Desulfovibrio desulfuricans*	81
7	*Desulfovibrio vulgaris*	71
8	*Escherichia coli*	89
9	PSB1.	86
10	PnSB1	89
11	PnSB2	74
12	PnSB1	89
13	*Desulfovibrio desulfuricans*	81
14	*Escherichia coli*	89
15	PSB1	86
16	*Desulfosarcina variabilis DSM 2060*	83
17	*Desulfosarcina variabilis DSM 2060*	83
18	PnSB1	89
19	*Desulfosarcina variabilis DSM 2060*	83
20	PnSB1	89
21	*Desulfomonas pigra ATCC 29098T*	79
22	PnSB2	74

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทอีฮับฮวด จำกัด จังหวัดสงขลา

ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทอีฮับฮวด จำกัดเป็นระบบเอเอสแบบเติมอากาศในบ่อคอนกรีต สามารถบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมที่กฎหมายกำหนด มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและซัลเฟต เท่ากับ 97.1 และ 60.0% แต่จำเป็นต้องใช้บ่อบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดหลายบ่อ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ในการก่อตั้ง และการบำบัดน้ำเสียในบ่อเติมอากาศมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร (ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 58.9%) เมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดน้ำเสียด้วยซุปเปอร์พีเอส จึงเป็นเหตุให้ต้องใช้บ่อบำบัดหลายบ่อในการบำบัดสารอินทรีย์

4.2 ปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสีย

ปริมาณของซุปเปอร์พีเอสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งอยู่ที่ 6% (ปริมาตร/ปริมาตร) (1.6 x106cfu/มิลลิลิตรน้ำเสีย) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ทั้งปริมาณซีโอดี ซัลเฟต และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดดีที่สุด รวมทั้งมีปริมาณ MLVSS ในระบบของการบำบัดน้ำเสียมากกว่าเมื่อใช้ปริมาณซุปเปอร์พีเอสที่ 4, 8 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร)

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

อัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักของจุลินทรีย์ (Maximum rate of substrate degradation; k) เท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมซีโอดีต่อตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน, ความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (Michaelis constant; K_m) เท่ากับ 8.56 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร, ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเมื่อมีการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุด (Half velocity coefficient; K_s) เท่ากับ 27,041 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร, อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (Maximum specific growth rate; μ_m) เท่ากับ 0.88 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบ

ต่อวัน, อัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์ (Yield coefficient: Y) เท่ากับ 0.009 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อซีโอดี และค่าคงที่การตายของจุลินทรีย์ (Bateria decay coefficient; Kd) เท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน

4.4 ผลของแสงต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอส

ระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งอยู่ที่ 24 ชั่วโมง (ทำการให้แสงตลอดทั้งวัน) และปริมาณเซลล์ต่อการส่งผ่านของแสงเมื่อทำการให้แสงจากทางด้านข้างและด้านบนปริมาณเซลล์ได้รับแสงอย่างทั่วถึง ทำให้มีปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอส และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น

4.5 ผลของซัลเฟตต่อการเจริญของซุปเปอร์พีเอส

จุลินทรีย์ซุปเปอร์พีเอสมีความสามารถเจริญได้ในน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 49.1, 55.0 และ 26.9% และยังมีประสิทธิภาพบำบัดสารอินทรีย์ที่ดีกว่าการไม่ใช้ซุปเปอร์พีเอส

4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด Micro-aerobic Sequencing Batch Reactor

อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) เท่ากับ 8 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมเอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน โดยควบคุม OLR (Organic loading rates) เท่ากับ 2 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน และ HRT (Hydraulic retention time) เท่ากับ 10 วัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ดีที่สุดเท่ากับ 94.4, 82.5 และ 75.6% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงระหว่างหลอดไฟทังสเตนกับดวงอาทิตย์ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการความหลากหลายของเชื้อโดยใช้เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) พบว่าซุปเปอร์พีเอสมีจุลินทรีย์ 4 ชนิด คือ *Escherichia coli*, PSB1, PnSB1 และ PnSB2 ส่วนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดมีจุลินทรีย์ 7 สกุล คือ *Escherichia coli*, *Pseudovibrio sp.* JE062, *Desulfosarcina variabilis* DSM 2060, *Streptococcus suis* 98HAH33, *Desulfomonaspigra* ATCC 29098T, *Desulfovibriode sulfuricans* และ *Desulfovibrio vulgaris*

ข้อเสนอแนะ

ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยางโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ micro-aerobic SBR กับซุปเปอร์พีเอสระดับขนาดใหญ่ (Pilot scale) แทนระบบระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์จลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์ไปใช้ในการออกแบบเบื้องต้น

ศึกษาการดำรงอยู่และการบำบัดน้ำเสียร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกับแบคทีเรียทั่วๆ ไป เพื่อควบคุมให้แบคทีเรียแสงทำงานในตอนกลางวันที่มีแสงส่องถึงและให้แบคทีเรียไร้อากาศทำงานในเวลากลางคืนเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมน้ำยางข้น หน้า5-18.

กัลยา ศรีสุวรรณ. 2540. รายงานการวิจัย การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของโรงงานน้ำยางข้น. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กฤษณะ รักษ์วงศ์. 2552. การพัฒนาวิธีควบคุมการบำบัดไนโตรเจนในกระบวนการเอสบีอาร์ โดยใช้พารามิเตอร์โออาร์พีและพีเอช สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ไซฟุตดีน แหละ. 2550. การกระตุ้นการเกิดแกรนูลสำหรับระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ในการบำบัดน้ำเสียโรงน้ำยางข้น. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดวงพร คันธโชติ, สุเมธ ไชยประพันธ์ และนัสที กรโอชาเลิศ, 2552.การใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและน้ำหมักชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากการทำยางแผ่นของสหกรณ์โรงรมยาง. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ป.จิรวัฒน์ จันทร์ทอง. 2552. การควบคุมปัญหาตะกอนลอยที่เกิดจากแบคทีเรียเส้นใยจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในโรงงานแปรรูปน้ำยางพารา. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539. เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13

พนาลี ชีวกิดาการ. 2550. การลดซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นจังหวัดสงขลาโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผา. โครงการวิจัย. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลาร่วมกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พัชราภรณ์ จ่าแก้ว. 2546. การบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ. ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน. ใน:เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, บรรณาธิการ. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538:274-89.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2523. การออกแบบขั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีววิทยา เล่มที่ 2 โมเดลจลศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ยศวริศ เขตอนันต์. 2551. การพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นโดยระบบยูเอเอสบีและระบบไบโอฟิล์มที่ควบคุมพารามิเตอร์โออาร์พี. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วีรชาติ อินทร์ทอง. 2551. การบำบัดซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะของจังหวัดภูเก็ต. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2551. สถิติยางไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก : www.rubberthai.com/news/newsinfo/2551(25 มีนาคม 2554).

สุรีรัตน์ แก้วสามดวง. 2552. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2548. สืบค้นจาก : http://www.nicaonline.com/webboard/index(25 มีนาคม 2554).

อาแอเสาะ เด่นดารา. 2548. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัวอันเกิดจากแบคทีเรียสายใยในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ในโรงงานน้ำยางข้นและอาหารทะเล. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อุษากร นิยม. 2535. การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรนม โดยระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์ และระบบฟิกส์แบดแอเรชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association.

Haifeng L., Guangming Z., Xiao D. And Chunhua H.2010. Photosynthetic bacteria treatmentof synthetic soybean wastewater: Directdegradation of macromolecules. Bioresour. Technol. 101: 7672–7674.

Hansen, T.A., and H. van Gemerden. 1972. Sulfide utilization by purple non sulfur bacteria.Arch. Microbiol. 86: 49–56.

Honda, R. 2005. Organic Wastewater treatment by a photosynthetic pond process fortropical regions and population dynamics of photosynthetic bacteria in the pond.Ph.D. Thesis, University of Tokyo.

Imhoff, J.F. 2001. The Phototrophic Alpha-Proteobacteria, pp.1-22. In M. Dworkin, Eds. The Prokaryotes: An Evolving Electronic Resource for the Microbiological Community, 3thEd. Springer-Verlag, New York. Available source: http://link.springer.ny.com/link/service/books/10125/, September 26, 2004

Izu, K., F. Kurisu, F. Nakajima and K. Yamamoto. 2001. Aeration Conditions Affecting Growth of Purple Nonsulfur Bacteria in An Organic Wastewater Treatment Process. System. Appl. Microbial. 24: 294 – 302.

Kaewsuk, J., Thorasampanb, W., Thanuttamavong, M. and Seo, G.T. 2010.Kinetic development andevaluation of membrane sequencing batch reactor(MSBR) with mixed cultures photosynthetic bacteria for dairywastewater treatment. J. Environ. Manage. 91: 1161–1168.

Kantachote, D., Torpee,S. and Umsakul andK. 2005. The potential use of anoxygenetic phototrophicbacteria for treating latex rubber sheet wastewater. Electronic J. Biotechnol. 8: 314-323.

Kim, J. K., B.K. Lee. S.H. Kim and J.H. Moon. 1999. Chacracterization of Identifying Photosynthetic Bacteria isolated from Photosynthetic Sludge. Aqua. Eng. 19: 179-193

Kobayashi, M. and Tchan, Y.T. 1973. Treatmentof Industrial Waste Solutions and Production of Useful By-products Using a Photosynthetic Bacteria Method. Wat Res. 7(8) : 1291-1224.

Metcalf and Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. McGraw-Hill, Inc. New York

Madigan, M.T., J.M. Martinko and J. Parker. 2000. Brock Biology of Microorganisms. 9th Ed. Prentice-Hall, Inc.

Mohammadi, M.,Man, H.C., Hassan, M.A. and Yeel, P.L. 2010. Treatment of wastewater from rubber industry inMalaysia. African J. Biotechnol. 9(38):6233-6243

Prasertsan, P., W. Choorit and S. Suwanno. 1993. Opimizaton for Growth of Rhodocyclus gelatinosus in seafood processing effluents. World J. microbiol. Biotechnol. 9: 539-596.

Sasikala, C.H. and C.H.V. Ramana. 1995. Biotechnological Potentials of Anoxygenic Phototrophic bacteria. I. Production of Single Cell Protein, Vitamins, Ubiquinones, Hormones, and Enzymes and Use in Waste Treatment. Adv. Appl. Microbiol. 41: 173 226.

Sasikala, C.H. and C.H.V. Ramana. 1995. Biotechnological Potentials of Anoxygenic Phototrophic Bacteria. II. Biopolyesters, Biopesticide, Biofueland Biofertilizer. Advs. Appl. Microbiol. 41: 227-278.

Staley, J.T., M.P. Bryant, N. Pfening and J.G. Holt. 1989. Bergy's Manual of StematicBacteriology. Vol 3. Williams and Wilkins Co., Ltd. Baltimore.

Stanier, R.Y. 1961. Photosynthetic Mechanisms in Bacteria and Planta Development of a Unitary Concept. Bact. Rev. 25(1) : 1-17.

Stainer.R.Y., M. Doudoroff and E.A. Adeberg. 1970. General Microbiology. 3 rd, The Macmillan press Ltd. New Jersey.

Stiffler, H.J. and H. Gest. 1954. Effects of Light Intensity and Nitrogen Growth Source on Hydrogen Metabolism in Rhodospillirum rubum. Sciece. 120(3129) : 1024-1026.

Suwasa, K. 1990. Application of Hollow Fiber Membrane Bioreactor to Anaerobic Treatment of Oily Wastewater by Photosynthetic Bacteria : Rhodobacter sphaeroides. Ph.D. Thesis, AIT, Bangkok, Thailand.

Thonglimp, V., Srisuwan, G. and Jkaew, P. 2005. Treatment of Industrial Latex Wastewater by Activated Sludge System. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE. T11-3.3:1-7

Torsten W. Remmerbacha, Ute G. Brinckmann, Alexander Hemprich, M. Chekol, K. Kühndel, Uwe Gerd Liebert, 2004, PCR detection of human papillomavirus of the mucosa: comparison between MY09/11 and GP5+/6+ primer sets, J. Clinical Virol. 30 (2004) 302–308

Van Niel, C.B. 1944. The Cultural, General Physiology, Morphology and Classification of The Non Sulfur Purple and Brown. Bacteria Rev. 8 (1).

Vidal, F. et al. 2004. Genetic Polymorphisms of ADH2, ADH3, CYP4502E1 and ALDH2 in Spanish Men: Lack of Association with Alcoholic Liver Disease. J. Hepat. 41

Ward, A. and Bora, N. (2004). Workshop on denaturing grad ient gel electrophoresis. 4 – 6th May 2004. Department of Biology. Faculty of Science. Chiang Mai University

Zhou, X. and L. Xie. 1987. Sieving of Non-Sulfur Purple Bacterium and Digesting of High Strength Organic Wastewater. Abstract of Scientific Papers, 1st China-Japan Internation

ภาคผนวก

วิธีวิเคราะห์

1. ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ด้วย pH meter

2. ค่าบีโอดี $_5$ (BOD_5: Biochemical oxygen demand)

วัสดุ - อุปกรณ์

1. ขวด BOD ขนาด 250 – 300 มิลลิลิตร
2. ตู้แช่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส
3. pH meter
4. ปิเปตขนาด 1.0 มิลลิลิตร
5. เทอร์โมมิเตอร์

สารเคมี

1. น้ำกลั่นสำหรับเจือจาง
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1.00 นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 นอร์มัล

วิธีการวิเคราะห์

1. ปรับ pH ของน้ำตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.00 นอร์มัล หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 นอร์มัล (ปริมาตรน้ำตัวอย่างต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 0.5) และควบคุมอุณหภูมิน้ำตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 20 ± 1 องศาเซลเซียส
2. เติมน้ำกลั่นสำหรับเจือจางจนเต็มขวด BOD (ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ)
3. ปิดฝาขวด แล้วเขย่าโดยการกลับขวดอย่างแรงให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ)
4. นำขวดหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณ DO (DO_0)
5. นำอีกขวดไปแช่ในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ DO (DO_5)

$$BOD_5\ (mg/L) = \frac{\left(DO_0 - DO_5\right)}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)}}$$

3. ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO: Dissolved oxygen) โดยวิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric)

วัสดุ - อุปกรณ์

1. ขวด BOD ขนาด 250 – 300 มิลลิลิตร
2. ปิเปตขนาด 1.0 มิลลิลิตร
3. ปิเปตขนาด 2.0 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปกรวย ขนาด 500 มิลลิลิตร
5. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
6. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
7. กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
2. สารละลายอัลคาไลด์ – ไอโอไดด์ – อาไซด์
3. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น (36 นอร์มัล)
4. สารละลายน้ำแป้ง (Starch solution)
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล

วิธีการวิเคราะห์

1. เติมตัวอย่างน้ำที่จะทำการวิเคราะห์ลงจนเต็มขวด BOD (ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ)
2. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไลด์ – ไอโอไดด์ – อาไซด์ 2 มิลลิลิตร (โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของตัวอย่างน้ำในขวด BOD เล็กน้อย)
3. ปิดฝาขวด แล้วเขย่าโดยการกลับขวดอย่างแรงให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ) จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล (หากเกิดตะกอนสีขาว แสดงว่า ตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนละลาย)
4. เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร (ปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปตามข้าง ๆ ขวด ให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำปิดจุก)
5. ปิดฝาขวด แล้วเขย่าโดยการกลับขวดอย่างแรงให้ตะกอนละลายหมด แล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
6. คำนวณหาปริมาตรตัวอย่างที่ต้องใช้ในการไตเตรท แล้วตวงตัวอย่างด้วยปริมาตรที่คำนวณได้ใส่ขวดรูปกรวย
7. ไตเตรทตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลงเป็นสีฟางข้าว (A)

8. เติมสารละลายน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร (จะได้สีน้ำเงิน) แล้วไตเตรทจนสีน้ำเงินหายไป (B) เนื่องจาก สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล 1 มิลลิลิตร สมมูลกับออกซิเจนละลาย 0.200 กรัม ดังนั้นเมื่อปริมาตรตัวอย่างเริ่มต้นเป็น 200 มิลลิลิตร แต่ละมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จะสมมูลกับออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/L) = A + B

4. ค่าซีโอดี (COD: Chemical oxygen demand) โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux)

วัสดุ – อุปกรณ์

1. ขวดย่อย (Digestion Vessels) ฝาเกลียว ชนิดบอโรซิลิเคท (Borosilicate) ขนาด16 × 100 มิลลิเมตร หรือ 20 × 150 มิลลิเมตร หรือ 25 × 150 มิลลิเมตร
2. บล๊อก (Block) หรือที่ใส่หลอดแก้วแบบตัน
3. ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $150 \pm 2^{o}C$
4. บิวเรต
5. ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล
2. สารละลายกรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต
3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล
4. สารละลายเฟอร์โรอีนอินดิเคเตอร์
5. กรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) ใช้ป้องกันการรบกวนของไนไตรท์ (NO_2^-) ปริมาณที่ใช้คือ 10 มิลลิกรัมต่อทุก ๆ 1 มิลลิกรัมของไนไตรท์
6. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาธาเลต
7. กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 20

วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกขนาดของหลอดแก้วสำหรับวิเคราะห์ COD ที่เหมาะสม
2. ล้างหลอดแก้วด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 20
3. เลือกขนาดน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ใส่ลงในหลอดแก้ว

4. เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ตามปริมาณที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 2.4 อย่างช้าๆ สำหรับแบลงค์ ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง และใช้ปริมาตรสารต่าง ๆ เท่ากัน
5. ปิดฝาให้แน่น เขย่าให้เข้ากันดี วางหลอดแก้วในบล็อก
6. ใส่ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $150 \pm 2^{o}C$ 2 ชั่วโมง
7. นำออกจากตู้อบ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเทสารละลายใส่ขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่น กลั้วล้างสารละลายที่ตกค้างในหลอดแก้ว แล้วเทรวมใส่ขวดรูปกรวย
8. เติมเฟอร์โรอีนอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด
9. ไตเตรทแบลงค์ด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล (A)
10. ไตเตรทน้ำตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล (B) (สารละลายเปลี่ยนสีจากเหลือง - เขียวอมเหลือง - ฟ้า - น้ำตาลแดง)

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(A - B) \times \text{ความเข้มข้นของ FAS} \times 8{,}000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (mL)}}$$

5. ปริมาณซัลเฟต โดยวิธีวัดความขุ่น (Terbidimetric)

วัสดุ - อุปกรณ์

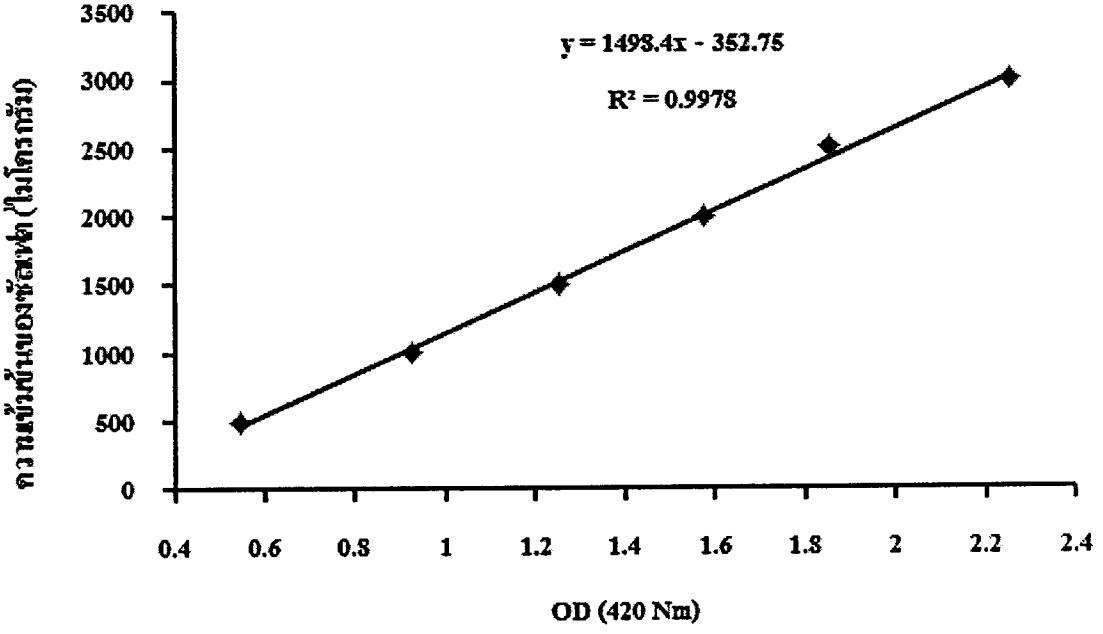
1. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
2. เครื่องวัดความขุ่น (Nephelometer) หรือ
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
4. ช้อนตวงที่มีความจุ 0.2 – 0.3 มิลลิลิตร
5. ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร
7. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
8. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

รีเอเจนต์

1. คอนดิชันนิง รีเอเจนต์ (Conditioning reagent) โดยทำการผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โซเดียมคลอไรด์ 75 กรัม และเติมกลีเซอรอล 50 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน
2. แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ชนิดเกล็ด ขนาด 20 - 30 mesh
3. สารละลายมาตรฐานซัลเฟต

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย (หากน้ำตัวอย่างขุ่นให้กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/C ก่อน)
2. เติมคอนดิชันนิง รีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตร
3. ผสมและกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็ก พร้อมกับเติมผลึกแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 1 ช้อน (เริ่มจับเวลาทันที)
4. เมื่อกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กครบ 1 นาที หยุดกวน แล้วนำไปวัดค่าความขุ่นที่ 420 มิลลิไมครอน Light path 4 – 5 เซนติเมตร ภายใน 10 นาที (เจาะจงเวลาให้เท่า ๆ กันทุกครั้ง) นำค่าที่ได้ไปอ่านปริมาณซัลเฟตจากกราฟมาตรฐาน



$$\text{ปริมาณซัลเฟต (mg/L)} = \frac{\text{ปริมาณซัลเฟตที่อ่านจากกราฟ (ไมโครกรัม)}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวกนกวรรณ เสรีรักษ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5311020001

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษา

ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Sareerak, K. and Boonsawang, P. 2012.Concentrated Latex and Standard Thai Rubber Wastewater Process for Treatment Using Commercial Photosynthetic Bacteria. Oral presentation at The 1st ASEAN Plus Three Graduate Research Congress (AGRC) .Chiang Mai University. Thailand. March 1-2. 2012