



การบำบัดซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น
ด้วยระบบบ่อไร้อากาศและระบบการกรองทางชีวภาพ
Treatment of Sulfate and Hydrogen sulfide in Latex Rubber Wastewater
by Using Anaerobic Pond and Biofiltration

พัฒน์วรรณ วิทยกุล
Pattanawan Wittayakul

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Science Thesis in Environmental Management
Prince of Songkla University
2544

๓

เลขที่	TP 61. Wb ๗๖3 ๒๕๔๔
Bib Key	๒๑๙๓๗๔

๗๖. ๒

ชื่อวิทยานิพนธ์	การบำบัดซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบบ่อไร้อากาศและระบบการกรองทางชีวภาพ
ผู้เขียน	นางสาวพัฒนวรรณ วิทยกุล
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์และซัลเฟตสูง ส่งผลให้ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของบ่อไร้อากาศในระบบบำบัดที่ใช้อยู่ของโรงงาน มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ และทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีกลิ่นเหม็นเป็นพิษ การศึกษานี้เป็นการศึกษาสำรวจถึงผลการบำบัดน้ำเสียในเทอมของสารอินทรีย์และซัลเฟต จากโรงงานน้ำยางชั้นในภาคสนาม และรวมถึงการทดลองเพื่อประยุกต์ใช้ระบบบ่อไร้อากาศและระบบการกรองทางชีวภาพเพื่อบำบัดซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น โดยศึกษาการทำงานของบ่อไร้อากาศในห้องปฏิบัติการในภาวะที่แตกต่างกันของระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (Hydraulic Retention Time, HRT) พบว่าในภาวะ HRT 20 วัน ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในเทอมของ SCOD และซัลเฟตเฉลี่ย $24.09 \pm 7.47\%$ และ $54.76 \pm 9.13\%$ ตามลำดับ ในภาวะ HRT 40 วัน ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในเทอมของ SCOD และซัลเฟตเฉลี่ย $33.25 \pm 2.0\%$ และ $94.55 \pm 1.77\%$ ตามลำดับ

การศึกษาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์สำหรับการย่อยสลาย (k) ของสารอินทรีย์และซัลเฟต ในสภาวะทดลองที่ 1 อัตราส่วน $\text{SCOD}:\text{SO}_4^{2-} = 6.9:1$ ได้ค่า k ของ SCOD เท่ากับ 0.0121 วัน^{-1} และค่า k ของ SO_4^{2-} เท่ากับ 0.2411 วัน^{-1} ภาวะทดลองที่ 2 อัตราส่วน $\text{SCOD}:\text{SO}_4^{2-} = 14:1$ ได้ค่า k ของ SCOD และ SO_4^{2-} เท่ากับ 0.0207 วัน^{-1} และ 0.1999 วัน^{-1} ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปฏิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และซัลเฟตของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นภายใต้ภาวะไร้อากาศสามารถเกิดได้พร้อมๆ กัน ในลักษณะ competition

ผลการศึกษาการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration) ในเงื่อนไขการทดลองที่ต่างกันของ วิธีการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบ ชนิดของตัวกรอง และความสูงของชั้นกรอง พบว่าความสามารถในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะแตกต่างกันเมื่อใช้ตัวกรองต่างชนิดกัน โดยประสิทธิภาพในการบำบัดของ biofilter ที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง ที่ความสูงของชั้นกรอง 20 เซนติเมตร สำหรับตัวกรองโยมะพร้าว composted material

และไยมะพร้าว ร่วมกับ composted material มีค่าเฉลี่ย 56.55 %, 63.72 % และ 59.42 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการบำบัดของ biofilter ที่รับก๊าซที่ส่งผ่านทางเส้นท่อ ที่ความสูงของชั้นกรอง 20 เซนติเมตร สำหรับตัวกรองไยมะพร้าว composted material และไยมะพร้าว ร่วมกับ composted material มีค่าเฉลี่ย 77.54 %, 81.96 % และ 79.58 % ตามลำดับ และเมื่อความสูงของชั้นกรองเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter เพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความสูงของตัวกรองประเภทไยมะพร้าว, composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material โดยคิดในช่วงความสูงของชั้นกรองที่ 20 เซนติเมตรแรก มีค่าในช่วง 2.82 – 3.88 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร 3.17 – 4.10 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร และ 2.94 – 4.0 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความสูงของตัวกรองประเภท ไยมะพร้าว, composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material โดยคิดในช่วงความสูงของชั้นกรองที่ 35 เซนติเมตร มีค่าในช่วง 2.09 – 2.41 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร , 2.24 – 2.59 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร และ 2.16 – 2.54 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร ตามลำดับ

Thesis Title Treatment of Sulfate and Hydrogen sulfide in Latex Rubber
 Wastewater by Using Anaerobic Pond and Biofiltration
Author Miss Pattanawan Wittayakul
Major Program Environmental Management
Academic Year 2001

Abstract

Wastewater from latex rubber factory contains high strength of organic matter and sulfate content. This results in less ability of reducing organic matter in anaerobic pond and causes odor from hydrogensulfide, which is toxicity. This field research was conducted to study latex rubber wastewater treatment in terms of organic matter and sulfate, and to adapt anaerobic pond and biofiltration system to reduce sulfate and hydrogen sulfide by laboratory scale experiment. The experimental investigation of anaerobic pond system with different Hydraulic Retention Times (HRT) shown that the ability in reducing organic matter in terms of SCOD and sulfate at HRT 20 days, was $24.09 \pm 7.47\%$ and $54.76 \pm 9.13\%$ respectively. At HRT 40 days, the average organic matter and sulfate removal was observed to be $33.25 \pm 2.0\%$ and $94.55 \pm 1.77\%$ respectively.

The kinetic constant of degradation (k) of organic matter and sulfate was determined. At $\text{SCOD}:\text{SO}_4^{2-} = 6.9:1$ in the first batch experiment indicated that k value of SCOD was 0.0121 day^{-1} and k value of SO_4^{2-} was 0.2411 day^{-1} . At $\text{SCOD}:\text{SO}_4^{2-} = 14:1$ of the second experiment, the k of SCOD and SO_4^{2-} was 0.0207 day^{-1} and 0.1999 day^{-1} respectively. This experiment shown that the reaction of degradation of organic matter and sulfate in anaerobic condition can occur at the same time in competition condition.

The results of biofiltration study to reduce hydrogen sulfide by applying different gas feeding methods and used different type of media and thickness of media illustrated that the ability of reducing hydrogen sulfide was difference when using different type of media. At 20 centimetres thickness of coconut fiber, composted material,

and mix of coconut fiber and composted material as biofilter which directly gas applied from wastewater indicated that the average efficiency of hydrogen sulfide removal were 56.55%, 63.72% and 59.42% respectively. The average efficiency of hydrogen sulfide removal, when those three media used with feeding gas via tube was observed to be 77.54 %, 81.96 % and 79.58 % respectively. The result indicated that the more thicker media was used, the greater amount of hydrogen sulfide was reduced. The average ratio of hydrogen sulfide removal to the thickness of media observed during 20 cm. thickness of three medias : coconut fiber, composted material and mix of coconut fiber and composted material were calculated to be 2.82 – 3.88 %/cm., 3.17 – 4.10 %/cm. and 2.94 - 4.0%/cm. respectively. The average ratio of hydrogen sulfide removal to the thickness of media observed during 35 cm. thickness of three medias : coconut fiber, composted material and mix of coconut fiber and composted material were calculated to be 2.09 - 2.41 %/cm., 2.24 – 2.59 %/cm. and 2.16 – 2.54%/cm. respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และการแก้ไขข้อบกพร่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมคือ อาจารย์เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และ ดร.อุดมผล พิชนิไพบุลย์ ซึ่งผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล และ ดร.จรัญ บุญกาญจน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเสียสละเวลาในการสอบ การให้คำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานเอ็กซ์เซลรับเบอร์ โรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด โรงงานจะนะน้ำยาง จำกัด โรงงานถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด โรงงานสะเดาอุตสาหกรรมยางพารา (1988) จำกัด และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำเสี้ยว

ขอขอบพระคุณมูลนิธิโทรเพื่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกเกี่ยวกับสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐรุจติ เป้นพุ่ม และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นักศึกษาสิ่งแวดล้อมทุกท่าน และเพื่อนๆ ที่ผู้วิจัยมิได้กล่าวถึงที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และให้กำลังใจในการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ พี่ ที่ให้ความช่วยเหลือทุกสิ่งและเป็นกำลังใจที่สำคัญ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ในสุดท้าย คุณประโยชน์อันใด อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอเป็นเครื่องบูชาพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

พัฒน์วรรณ วิทยกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการตารางภาคผนวก	(11)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	1
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	16
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
2. วิธีการวิจัย	17
วัสดุ	17
อุปกรณ์	17
วิธีดำเนินการวิจัย	18
3. ผลการวิจัย	26
ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานน้ำยางชั้น	26
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ	31
ผลการศึกษาอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์และซัลเฟตในสภาวะจำลอง แบบไร้อากาศ	38
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration) ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. บทวิจารณ์	51
ลักษณะน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น	51
ระบบบ่อไร้อากาศในห้องปฏิบัติการ	55
การทดลอง batch test	60
ระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration)	62
การนำมาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น	65
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก ก (ข้อมูลจากการทดลอง)	74
ภาคผนวก ข (วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสีย)	90
ประวัติผู้เขียน	107

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	2
2. การเปรียบเทียบ biofilters กับวิธีการควบคุมกลิ่นอื่นๆ	16
3. วิธีที่ใช้เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย	21
4. รายละเอียดการผลิตของโรงงานยางที่ทำการวิจัย	26
5. ผลการวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น	28
6. ความเข้มข้นของสารที่เข้าสู่ระบบประสิทธิภาพการบำบัดและ การเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ในระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน และ 40 วัน	37
7. ข้อมูลสรุปของการทดลองที่ HRT 20 วันและ HRT 40 วัน	58
8. ค่าคงที่และประสิทธิภาพการกำจัดจากการทดลอง batch test	61
9. ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของ H_2S ต่อหน่วยความสูงของถังกรอง	65

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1. ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานสะอาดอุตสาหกรรมยางพารา 1988	74
2. ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานถาวรอุตสาหกรรมยางพารา 1982	75
3. ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานเอ็กซ์เซลรับเบอร์	76
4. ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานจะนะน้ำยาง	77
5. ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น	78
6. ค่า pH, SS, SCOD และซัลเฟตของน้ำเสียจากระบบ บ่อไร้อากาศในภาวะ HRT 20 วัน	79
7. ค่าซัลไฟด์ทั้งหมด ซัลไฟด์ละลาย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ น้ำเสียจากระบบบ่อไร้อากาศในภาวะ HRT 20 วัน	80
8. ค่า pH, SS, SCOD และซัลเฟตของน้ำเสียจากระบบ บ่อไร้อากาศในภาวะ HRT 40 วัน	81
9. ค่าซัลไฟด์ทั้งหมด ซัลไฟด์ละลาย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ น้ำเสียจากระบบบ่อไร้อากาศในภาวะ HRT 40 วัน	82
10. ผลการทดลอง batch test	83
11. ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซจากบ่อไร้อากาศ	83
12. ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าว) ในระบบที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง	84
13. ผลการทดลอง biofilter (composted material) ในระบบที่รับก๊าซ ที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง	85
14. ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าวร่วมกับ composted material) ในระบบ ที่รับก๊าซจากน้ำเสียโดยตรง	86
15. ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าว) ในระบบที่รับก๊าซจากเส้นท่อ	87
16. ผลการทดลอง biofilter (composted material) ในระบบที่รับก๊าซจากเส้นท่อ	88
17. ผลทดลอง biofilter (ไยมะพร้าวร่วมกับ composted material) ในระบบ ที่รับก๊าซจากเส้นท่อ	89
18. ช่วงค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง	93

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
19. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่า PK' ณ อุณหภูมิต่างๆ	101
20. แสดงผลของกลิ่นจากน้ำตัวอย่างที่ทดสอบ	104

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. กระบวนการผลิตและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม	5
2. กระบวนการผลิตและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางแท่ง	6
3. ปฏิกริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน	8
4. วัฏจักรซัลเฟอร์	10
5. ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย	19
6. ระบบบำบัดจำลองในห้องปฏิบัติการ	20
7. ลักษณะตัวกรองที่ใช้ในการศึกษาระบบ biofilter	23
8. ระบบ biofiltration ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	24
9. ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซของระบบการกรองทางชีวภาพ	25
10. ลักษณะน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น	29
11. ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยของสารอินทรีย์ ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น	30
12. ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน	31
13. ปริมาณซัลเฟตที่เข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน	32
14. ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดและปริมาณซัลไฟด์ละลายที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน	33
15. ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน	33
16. ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน	34
17. ปริมาณซัลเฟตที่เข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน	35
18. ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดและปริมาณซัลไฟด์ละลายที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน	36

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
19. ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน	36
20. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SCOD ในการทดลองแบบ batch test	39
21. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซัลเฟต ในการทดลองแบบ batch test	39
22. การหาอัตราการย่อยสลายของ SCOD, TOC และซัลเฟต	42
23. ปริมาณก๊าซ H ₂ S ใน biofilter ซึ่งใช้ไยมะพร้าว (a), composted material (b) และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material (c) เป็นตัวกรอง และเป็นระบบที่รับก๊าซน้ำเสียโดยตรง	46
24. ปริมาณก๊าซ H ₂ S ใน biofilter ซึ่งใช้ไยมะพร้าว (a), composted material (b) และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material (c) เป็นตัวกรอง และเป็นระบบที่รับก๊าซโดยส่งผ่านทางเส้นท่อ	47
25. ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ให้ก๊าซแก่ระบบโดยใช้ก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง	50
26. ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ให้ก๊าซแก่ระบบโดยใช้ส่งผ่านก๊าซทางเส้นท่อ	50
27. การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ในระบบไร้อากาศ HRT 20 และ 40 วัน	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ ประเทศไทยผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูก 12.7 ล้านไร่ พื้นที่ร้อยละ 90 อยู่ใน 14 จังหวัดภาคใต้ ส่วนที่เหลืออยู่ในภาคตะวันออก 5 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 15 จังหวัด และภาคตะวันตก 2 จังหวัด ในปี 2542 ประเทศไทยส่งออกยางพารา 2,031,327 ล้านเมตริกตัน มูลค่าส่งออกประมาณ 43,941.7 ล้านบาท โดยส่งออกในรูปแบบยางแผ่นรมควันร้อยละ 53 ยางแท่งร้อยละ 28 น้ำยางข้นร้อยละ 18 และอื่นๆ ร้อยละ 1 (ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2542) จึงก่อให้เกิดอุตสาหกรรมยางพาราขึ้นจำนวนมาก เพื่อรองรับวัตถุดิบที่เกิดขึ้น

โรงงานยางพาราเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญอีกแห่งหนึ่ง ที่อาจสร้างปัญหาความเดือดร้อนรำคาญให้กับชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง ทั้งนี้เกิดขึ้นจากสภาพปัญหาของการจัดการน้ำเสียของโรงงานอันมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โรงงานน้ำยางข้นนับเป็นโรงงานประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพสูงที่มีโอกาสในการก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางน้ำและทางอากาศหากมีการจัดการน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นให้น้ำเสียมีการปนเปื้อนของสารมลพิษต่างๆ มากมาย ซึ่งมีลักษณะเด่นๆ คือ ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์สูงและปริมาณไนโตรเจน โดยเฉพาะในรูปแบบแอมโมเนียไนโตรเจนสูง มีปริมาณซัลเฟตและสารแขวนลอยสูง รวมถึงค่า pH ของน้ำเสียจะสูงหรือต่ำขึ้นกับช่วงเวลาการผลิต (วันชัย แก้วยอด, 2540 และแกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์, 2539) ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียกลางแจ้ง ซึ่งประกอบด้วยบ่อดักยาง บ่อหมักไร้อากาศ บ่อกึ่งมีอากาศ-ไร้อากาศ และบ่อมีอากาศ จากสภาพที่เป็นระบบเปิดและเงื่อนไขของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน พบว่าได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โดยเฉพาะกลิ่นที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่มีกลิ่นเหม็นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หากมีความเข้มข้นสูง ก๊าซ H_2S เกิดขึ้นจากการย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะไร้อากาศของน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงมากกว่า 300 มิลลิกรัม/ลิตร (แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์, 2539)

ดังนั้นการที่จะบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดที่หลากหลายรวมกัน ทั้งในการบำบัดน้ำเสีย และลดปัญหากลิ่นและก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดของโรงงานน้ำยางชั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้ระบบบ่อไร้อากาศ (anaerobic pond) และระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration) ในการจัดการน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงด้วยระบบบ่อไร้อากาศ และกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็น by-product จากการบำบัดด้วย anaerobic pond ของโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบการกรองทางชีวภาพ ระบบบ่อไร้อากาศเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงในปริมาณมาก อีกทั้งเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานน้ำยางชั้นทั่วไป และระบบการกรองทางชีวภาพเป็นระบบที่มีหลักการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก เมื่อผ่านก๊าซเสียเข้าไปในระบบการกรองทางชีวภาพ ในชั้น media ของ biofilter จะเกิดการดูดซับ (adsorption/absorption) และ/หรือ การย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการลดค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซเสียได้ ซึ่งหากผลการวิจัยสามารถแสดงให้เห็นว่าระบบที่ทำการศึกษามีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียและก๊าซได้สูงแล้ว ก็จะเป็นทางเลือกสำหรับการจัดการน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นต่อไป โดยเป็นการช่วยให้ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมยางพาราบรรเทาลง และทำให้เป็นธุรกิจทางด้านยางพารายั่งยืนสำหรับท้องถิ่นในภาคใต้ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว หรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มี pH ประมาณ 6.5-7.0 ความยืดหยุ่นไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีด และฤดูกาล เป็นต้น น้ำยางสดมีส่วนประกอบดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content , TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content ,DRC)	33
สารประเภทโปรตีน	1-1.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำในปริมาณที่รวมกับสารอื่นๆ แล้วเป็น 100	

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531

กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา ณ ที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการผลิตน้ำยางข้น (latex concentrate) การผลิตยางโดยใช้หางน้ำยาง (skim crepe) ยางแท่ง (block rubber) เนื่องจากโรงงานที่ศึกษามีการผลิตยางประเภทดังกล่าว

1. การผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางสดจากสวนจะมีประมาณน้ำยางแห้งเพียงประมาณ 25-45% นอกนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำ และมีสารของแข็งที่ไม่ใช่ยาง ฉะนั้นหากต้องการนำน้ำยางไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ ในโรงงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ไกลจึงเป็นการไม่สะดวก นอกจากนั้นสารต่างๆ บางอย่างที่อยู่ในน้ำยางยังอาจมีผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางไม่ดีอีกด้วย เหตุผลเหล่านี้ คือที่มาของการทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางที่มีความเข้มข้นคือมีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60%

วิธีการผลิตน้ำยางข้นที่ทำกันในเชิงการค้ามี 3 วิธี คือ วิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีปั่น (centrifuging) และอีกวิธีหนึ่งซึ่งไม่สามารถทำการค้าได้เพราะไม่สะดวกและลงทุนสูง คือ การใช้กระแสไฟฟ้าแยก (electrodecantation) สำหรับในประเทศไทย ปัจจุบันการผลิตน้ำยางข้นดำเนินการโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว (วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2531) กรรมวิธีการปั่นน้ำยางข้น เริ่มจากการรวบรวมน้ำยางสดที่ได้จากสวนยางจะโดยวิธีการใดๆ ก็ตาม ข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึงและถือปฏิบัติคือ การรักษาความสะอาด การใช้สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางอย่างถูกต้องและเพียงพอ ปกติจะใช้แอมโมเนียตามลำพัง หรือร่วมกับสารช่วยเช่น Tetramethyl tiuram disulphide (TMTD) กับ Zinc oxide (ZnO) ควรนำน้ำยางที่รวบรวมได้เข้ากระบวนการผลิตให้เร็วที่สุด จึงจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี เมื่อนำน้ำยางเข้าโรงงานแล้วจะถ่ายลงถังรวม เก็บตัวอย่างตรวจสอบปริมาณน้ำยางแห้ง และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ตลอดจนปริมาณธาตุแมกนีเซียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับสมบัติน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อไป ในทางปฏิบัติโรงงานจะปล่อยให้ยางตกตะกอนแมกนีเซียม โดยการเติม Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) อย่างน้อยใช้เวลา 1 วัน ในการตกตะกอนดังกล่าว ต่อจากนั้นจะใส่น้ำยางออกจากถังเก็บ สูการปั่นด้วยเครื่องปั่น ซึ่งน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่นส่วนหนึ่ง คือน้ำยางข้นที่ต้องการ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลพลอยได้ คือ หางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งยังคงมีปริมาณเนื้อยางอยู่บ้าง ประมาณไม่เกิน 8% หางน้ำยางนี้ถูกนำไปผลิตเป็นยางสกิม

2. การผลิตยางโดยใช้หางน้ำยาง

ในการผลิตน้ำยางข้นจะมีผลพลอยได้คือน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางอยู่ประมาณ 8% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและการปรับเครื่องปั่นน้ำยาง หางน้ำยางเหล่านี้ถูกนำไปแปรรูปเป็นยางดิบแท่ง ชนิดสกิมบล็อก (skim block) หรือชนิดสกิมเครพ (skim crepe) จำหน่ายต่อไป

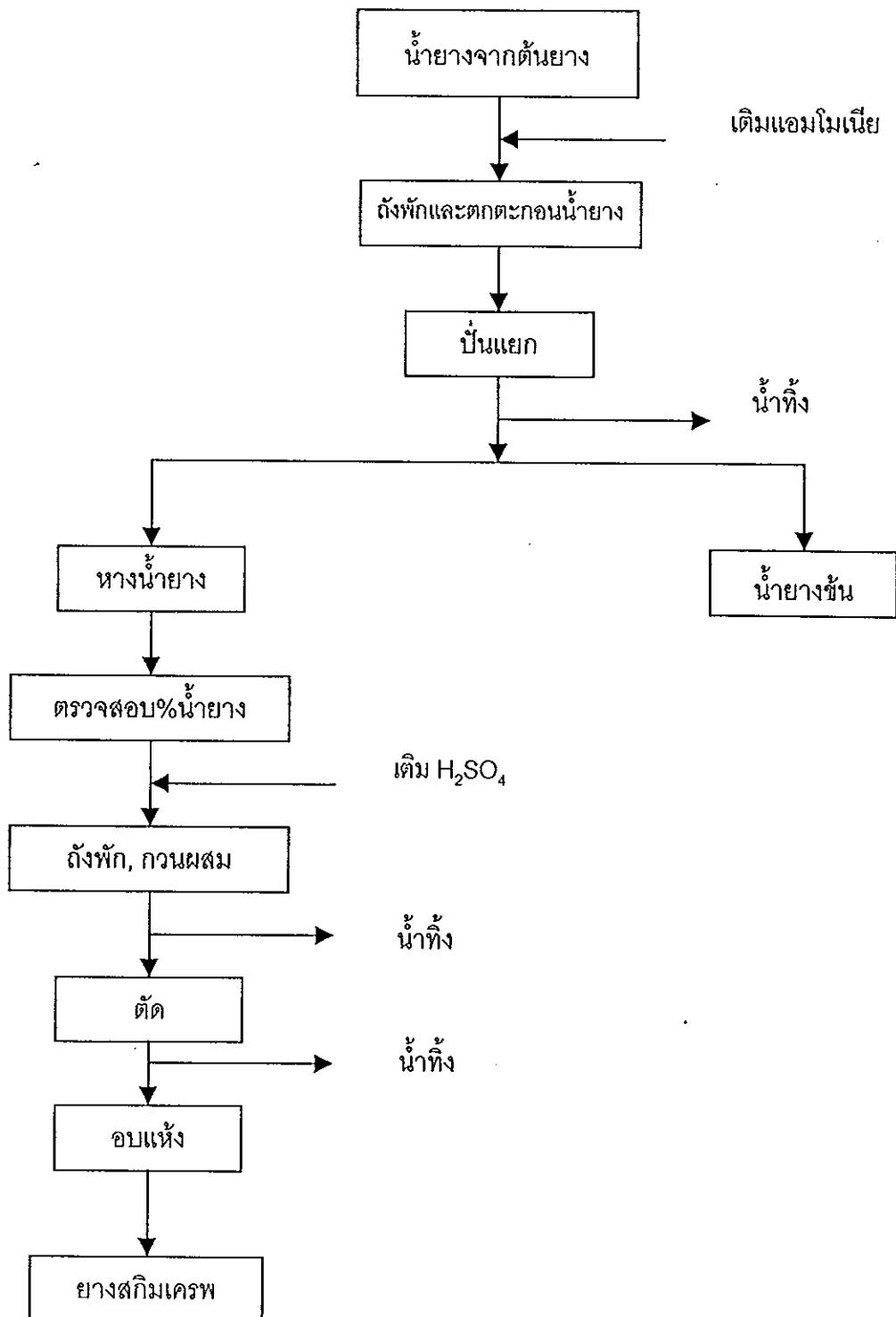
ขั้นตอนการผลิตเริ่มจาก หางน้ำยางเมื่อออกจากเครื่องปั่นจะผ่านการไล่แอมโมเนียโดยวิธีการปล่อยให้หางน้ำยางไหลไปตามรางรองรับ ซึ่งมีอากาศพัดผ่านลงสู่บ่อพักที่อยู่ในที่โล่งมีอากาศพัดพาช่วยไล่ก๊าซแอมโมเนียได้ดี หางน้ำยางควรเหลือแอมโมเนียเพียงประมาณ 0.2% (ต่อน้ำหนักหางน้ำยาง) ก่อนการทำการจับให้หางน้ำยางเป็นก้อนด้วยการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เมื่อได้ก้อนยางจับตัวแล้วจึงนำไปผ่านการตัดย่อย อบอัดแท่งเป็นสกิมบอล็อค หรือเข้าเครื่องเครพรีดเครพ ผึ่งแห้งอัดก้อนเป็นสกิมเครพ

3. การผลิตยางแท่ง

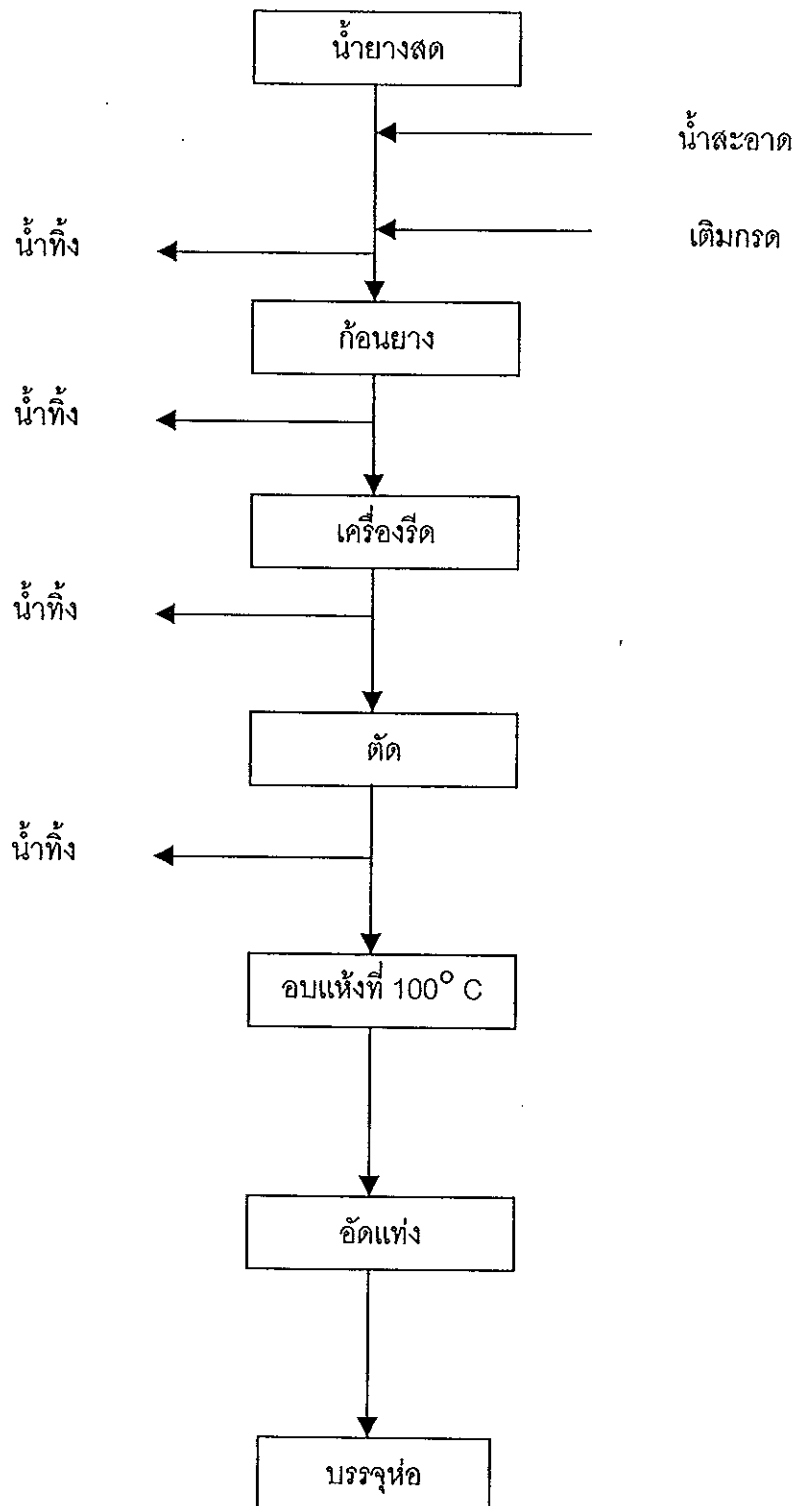
วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่ง ใช้ได้ทั้งน้ำยางสดจากสวนและยางแท่งที่จับตัวแล้ว หลักการสำคัญของวิธีการผลิตยางแท่ง คือ มีขั้นตอนการตัดย่อยก้อนยางให้เป็นเม็ด หรือชิ้นเล็กๆ อย่างรวดเร็ว ล้าง อบแห้ง และอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม

1.2.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางชั้น

จากกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำยางชั้นจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต (ภาพประกอบ 1 และ 2) เช่น การล้างบ่อหรือพื้น การล้างเครื่อง การแยกเนื้อยางน้ำยาง โดยในน้ำเสียเหล่านี้จะมีสิ่งเจือปนต่างๆ ซึ่งได้มาจากเศษยาง สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางชั้นมีลักษณะเด่นๆ ได้แก่ มีปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยจากผลการศึกษาของวันชัย แก้วยอด (2540) พบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นมี BOD_5 โดยเฉลี่ย 2,390 มิลลิกรัมต่อลิตร SS โดยเฉลี่ย 2,412 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกิมของโรงงานน้ำยางชั้นมีค่า BOD_5 โดยเฉลี่ย 10,489 มิลลิกรัมต่อลิตร COD ประมาณ 25,000 - 35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (จรรยา อินทมณี, 2540) มีปริมาณซัลเฟตสูงค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียรวมของโรงงานน้ำยางชั้น อยู่ในช่วง 350 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์, 2539) และนอกจากนี้ยังมีปริมาณแอมโมเนียสูงจากผลการศึกษาของ อภรณ์ รักเกิด (2542) พบว่าน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตของโรงงานน้ำยางชั้น มีค่าไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 543 - 1,268 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 889 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 578 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพประกอบ 1 กระบวนการผลิตและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางสีกิม



ภาพประกอบ 2 กระบวนการผลิตและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางแท่ง

1.2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมทั่วไปในโรงงานน้ำยางข้น คือระบบบำบัดน้ำเสียกลางแจ้ง ซึ่งประกอบด้วย บ่อดักยาง บ่อบดกาก ไร้อากาศ บ่อกึ่งมีอากาศ-ไร้อากาศ และบ่อบี้อากาศ

บ่อดักยาง (rubber trap) ทำหน้าที่แยกกากยางที่หลุดลอยออกมาจากกระบวนการผลิต โดยให้เนื้อยางเหล่านี้จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่อยู่ในบ่อดักยาง และเก็บกลับขึ้นมาใช้ประโยชน์หรือขายเป็นเนื้อยางเกรดต่ำอีกที ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถลดค่าความสกปรกของน้ำเสีย และลดปริมาณสารแขวนลอยที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป

บ่อบดกากไร้อากาศ (anaerobic pond) เป็นระบบบำบัดทางชีวภาพที่อาศัยการเจริญเติบโตและเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจน จึงเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง จึงมักถูกใช้เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียบ่อแรกๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย

บ่อบี้อากาศ (aerobic pond) เป็นบ่อที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไม่สูงมากนัก อาศัยการทำงานของ aerobic bacteria ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

บ่อบดกึ่งมีอากาศ-ไร้อากาศ (facultative pond) เป็นบ่อที่มีความลึกประมาณ 1.2 - 2 เมตร ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในบ่อชนิดนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน โดยชั้นบนส่วนผิวของบ่อมีแสงแดดส่องถึง จะเกิดปฏิกริยาชีวเคมีโดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายและแบคทีเรีย ชั้นของบ่อส่วนนี้จะมีออกซิเจนอยู่ จึงเรียกว่า aerobic zone ส่วนชั้นล่างสุดของบ่อจะเกิดการสะสมของตะกอน และเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เรียกว่า anaerobic zone ส่วนชั้นกลางมีส่วนหนึ่งที่มีออกซิเจนและอีกส่วนหนึ่งที่มีสภาพไร้อากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์อาศัยการทำงานของ facultative bacteria

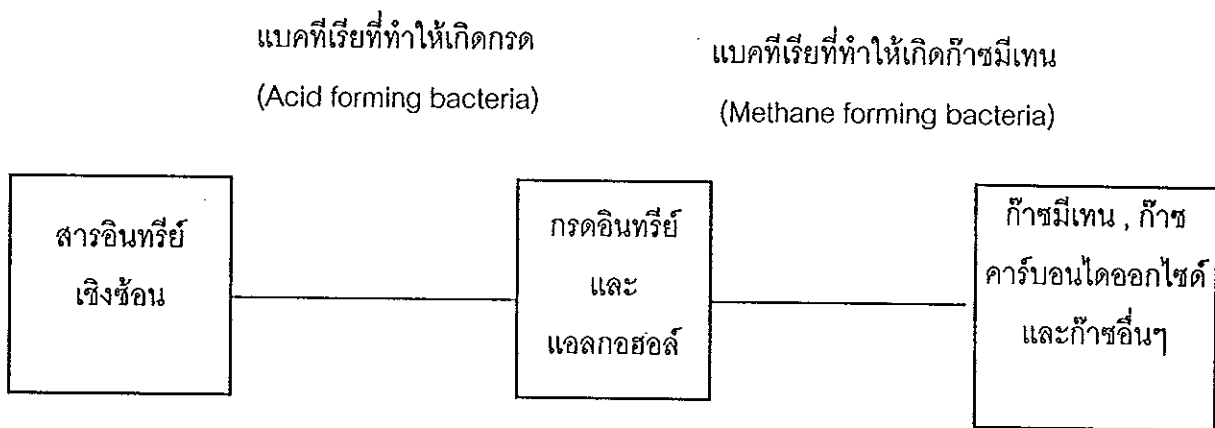
ปัญหาที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นที่พบโดยทั่วไปคือ ปัญหากลิ่นรบกวนที่สร้างความเดือดร้อนรำคาญ แก่ชุมชนที่อยู่รอบๆ โรงงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในบ่อบี้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น

1.2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

สภาพแวดล้อมของปฏิกริยาชีวเคมีแบบแอนแอโรบิกหรือไร้ออกซิเจน (anaerobic) หมายถึงสภาวะที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำน้อยมาก จนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ในสภาวะเช่นนี้สารตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอนจะเป็นสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์ ขบวนการนี้เรียกว่า เฟอว์เมนเตชัน

(fermentation) แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอนินทรีย์ (ไม่ใช่ออกซิเจน) ขบวนการนี้เรียกว่า การหายใจแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic respiration) (มันสิน ต้นทลเวศม์, 2525)

การทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น ประกอบด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีเป็น สองขั้นตอน ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน

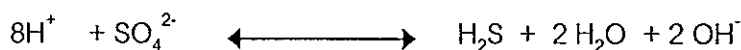
ในขั้นตอนแรกสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำทิ้ง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกแบคทีเรีย ประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มี ออกซิเจนอิสระ (facultative bacteria) และประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้เฉพาะในสภาพที่ไม่มี ออกซิเจน (anaerobic bacteria) กลุ่มหนึ่งซึ่งเรียกว่า กลุ่มผลิตกรด (acid formers) ปล่อย เอนไซม์ออกมาเพื่อไฮโดรไลซ์และทำการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นให้เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ หลายชนิดที่สำคัญได้แก่ กรดแอสติกและ กรดไพรูวอิก ปริมาณสารอินทรีย์วัดเป็นค่าซีโอดีจะ กลายเป็นกรดแอสติกถึง ร้อยละ 72 ในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์เพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ใน การสร้างเซลล์ใหม่ ปริมาณซีโอดีก็ยังไม่เปลี่ยนแปลง เพราะกรดอินทรีย์ต่างๆ นี้เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งแบคทีเรียย่อยสลายได้และวัดเป็นซีโอดีได้เช่นกัน การบำบัดในขั้นนี้จึงเป็นการเตรียมการเพื่อ การบำบัดในขั้นต่อไป

ในขั้นตอนที่สอง กรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ผลิตได้จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพไม่ได้ใน สภาพที่มีออกซิเจนอยู่ (obligate anaerobic bacteria) อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเรียกว่า กลุ่มผลิตมีเทน (methane formers) ทำลายกลายเป็นก๊าซต่างๆ ที่สำคัญได้แก่ มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ปริมาณซีโอดีและบีโอดีลดลง ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพการ

ทำงานของระบบบำบัด ในการบำบัดแบบนี้จำเป็นต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมเพื่อให้แบคทีเรียทั้งสองประเภททำงานได้ต่อเนื่องและสมดุลกัน สภาพแวดล้อมที่สำคัญได้แก่ สภาพไร้ออกซิเจน พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ สภาพต่าง กรดอินทรีย์ระเหย โลหะเป็นพิษ อัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวัน (loading) เวลาในการบำบัด (Hydraulic Retention Time, HRT)

ในน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งมีปริมาณซัลเฟตอยู่สูงทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการหายใจแบบใช้ซัลเฟต เป็นการหายใจที่ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในสภาพไม่มีออกซิเจน (วิลลาวัลด์ อัจฉิมกุล, 2529) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- การรีดักชันซัลเฟตเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตหรืออาจเรียกว่า ดีซัลฟูริเคนท์ (desulfuricants) เป็นพวกที่สามารถใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย



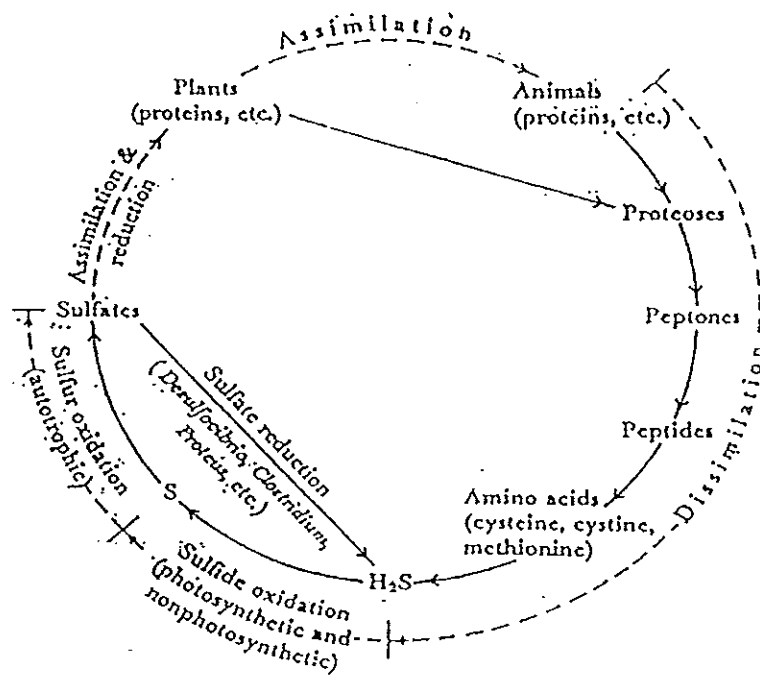
แบคทีเรียพวกนี้เป็นพวกออกพลิเกต แอนแอโรบ จะเจริญเติบโตในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น แบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Desulfovibrio*, *Desulfuricans*, *D.vulgaris*, *D.gigas*, *Desulfotomaculum nigrificans*, *D. orientis*, *D.ruminis* และ *D. acetoxidans*

- การรีดักชันซัลเฟตเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์แบคทีเรียพวกนี้ ได้แก่ *Desulfuromonas acetoxidans* โดยแบคทีเรียนี้สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบคทีเรียพวกนี้มักอยู่ร่วมกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (phototrophic green sulphur bacteria) เช่น *Chlorobium* เพราะแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะให้ซัลเฟตกับแบคทีเรียพวกนี้ ขณะเดียวกันแบคทีเรียพวกนี้จะสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์แก่แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบการหมักแบบไร้อากาศนั้น เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า มีความสามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศจะมีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนได้ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจสิ่งมีชีวิต ถ้าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่า 200 ppm จะทำให้รู้สึกอ่อนเพลีย และสูญเสียประสาททางการดมกลิ่น และถ้าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่า 700 ppm จะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว หายใจ อาจเสียชีวิตหากไม่ได้รับการช่วยเหลือ

1.2.5 การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตปนเปื้อนสูง

ซัลเฟอร์เป็นธาตุที่พบทั่วไปตามธรรมชาติ มีทั้งอยู่ในรูปเป็นอิสระและสารประกอบของซัลเฟอร์ เช่น ในรูปของซัลเฟต หรือซัลไฟด์ ซัลเฟอร์มีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบของกรด อะมิโนซีสตีน ซิสเตอีนและมีไธโอนีน การรวมกันของซัลเฟอร์กับสารอินทรีย์เหล่านี้ต้องใช้ซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟตซึ่งเป็นสภาพ free form ในธรรมชาติจะมีการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่เรียกว่า วัฏจักรของซัลเฟอร์ (ภาพประกอบ 4) ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียที่สำคัญ และการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ในแต่ละปฏิกิริยาก็เกิดจากแบคทีเรียที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4 วัฏจักรซัลเฟอร์

ที่มา : Phillip, 1976

ปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารประกอบซัลเฟอร์นั้นสามารถเกิดได้ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ตัวอย่างเช่น น้ำที่มีการปนเปื้อนของซัลเฟตจำนวนมากที่เกิดจากกระบวนการทำเหมืองแร่ หรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท อย่างไรก็ตามในที่นี้จะกล่าวถึงมลพิษที่เกิดจากซัลเฟตในสถานะของเหลวหรือน้ำ ได้มี

การศึกษาหาวิธีการในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของซัลเฟตสูง (sulfate rich effluents) ที่หลากหลาย เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้ ในการนำมาใช้บำบัดจริง

การบำบัดน้ำเสียโดยชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้มีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ในอุตสาหกรรมหลายประเภท อย่างไรก็ตามการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก็ยังก่อให้เกิดปัญหา บางประการ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการนำกระบวนการบำบัดแบบนี้มาประยุกต์ใช้ ตัวอย่างเช่น ใน น้ำเสียที่มีซัลเฟตปะปนอยู่ จะมีผลกระทบต่อการทำงานของสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Mizuno, *et.al.*, 1994) เนื่องจาก

- ซัลเฟตสามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์จะเป็นตัวการสำคัญที่ไปยับยั้งการทำงานของ แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน (Methane producing bacteria, MPB)
- ซัลไฟด์ทำให้ความต้องการออกซิเจนน้ำทิ้งสูงขึ้น
- ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปลดปล่อยออกมา สามารถก่อปัญหาการกัดกร่อนและมีกลิ่นที่รุนแรง
- เกิดการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียพวก SRB (Sulfate reducing bacteria) และ MPB ในการแย่งชิง substrate เป็นผลให้มีการผลิตมีเทนลดลง

Mizuno, *et.al.*, (1998) ได้ศึกษาพฤติกรรมของ SRB ใน acidogenic phase ภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกันของ Hydraulic retention times (HRT) และ ความเข้มข้นของซัลเฟต ในสภาวะไร้อากาศ สรุปได้ (a) ในสภาวะ HRT และซัลเฟตที่ต่ำ source จะถูก metabolized ไปเป็น VFAs, lactate, ethanol, H_2 และ CO_2 โดย ไฮโดรเจนและซัลเฟตมีน้อยมีไม่เพียงพอสำหรับ SRB และ HRT ที่ต่ำสำหรับการทำงานของ MPB (b) MPB สามารถเปลี่ยน H_2 และ CO_2 ไปเป็นมีเทนได้ในช่วง HRT ที่สูงและมีซัลเฟตน้อย (c) ช่วงที่ HRT ต่ำภายใต้ภาวะที่มีซัลเฟตสูงจะส่งเสริมให้เกิดการทำงานของ SRB ในการสร้างซัลไฟด์ (d) ภาวะที่ HRT ที่สูง H_2 จะมีการถูกแย่งชิงเพื่อนำไปใช้โดย MPB และ SRB ในการสร้างมีเทนหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งก็จะขึ้นกับความเข้มข้นของซัลเฟตใน substrate

Mizuno, *et.al.*, (1994) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของซัลเฟต และอัตราส่วนของ $COD : SO_4^{2-}$ ที่มีต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของ $COD : SO_4^{2-}$ ในช่วง 1.5 – 148 โดยใช้ COD ในช่วงความเข้มข้น 2,500 - 10,000 mg/l และความเข้มข้นของซัลเฟตในช่วง 68 - 1,667 mg/l พบว่า เมื่อใช้ $COD : SO_4^{2-}$ ที่มากกว่า 6 จะเกิดการสร้างมีเทนเป็นปฏิกิริยาหลัก คือประมาณ 80% ของอิลেকตรอนทั้งหมดถูกใช้โดย MPB และที่ $COD : SO_4^{2-}$ 1.5

SRB จะสามารถทำงานได้กว่า 50% ในสภาวะที่มีซัลเฟตน้อย (sulfate depleted) จะเกิดการสร้างมีเทนผ่าน acetate และ hydrogen โดย MPB ในทางกลับกันในสภาพที่มีปริมาณซัลเฟตสูง butyrate จะย่อยสลายเป็น ซัลไฟด์ และ acetate โดย SRB ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของซัลไฟด์สูงจะเกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน

ปัญหาต่างๆ เหล่านี้เป็นอุปสรรคในการนำการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตปนเปื้อนอยู่สูง เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตกรดซัลฟิวริก โรงงานเยื่อกระดาษ โรงงานฟอกหนัง และอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีรู้ และความเข้าใจในผลกระทบของซัลเฟตในน้ำเสียที่มีต่อพฤติกรรมของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการกำจัดซัลเฟตทางชีววิทยาได้มีการพัฒนาเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟต Maree และ Hill (1989) ได้เสนอวิธีการที่ประกอบด้วยขั้น anaerobic, stripping และ ขั้นตอนการสร้างซัลเฟอร์ (sulfur production stages) โดยในขั้นแรกซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะไร้อากาศ ส่วนในขั้นที่สอง ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกทำให้หลุดออกจากน้ำและในขั้นสุดท้ายไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นธาตุซัลเฟอร์ (elemental sulfur)

Parkin, *et.al.* (1991) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตปนเปื้อนอยู่โดยระบบการกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic filter) โดยใช้ propionate เป็น substrate พบว่า ระดับความเข้มข้นของ unionized H_2S และ dissolved sulfide ที่มีผลต่อการลดความสามารถของระบบนี้มีค่าประมาณ 110 mg S/L และ 350 mg S/L ตามลำดับ การรีดักชันซัลเฟตและการเกิดมีเทนมีโอกาสเกิดขึ้นในบริเวณเดียวกัน

Elke, *et.al.* (1996) ได้ศึกษาการบำบัดซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โดยวิธีทางชีววิทยาเป็นระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย ส่วนแรกเป็นถังกวน (stirred tank) และส่วนที่สองเป็นถังปฏิกิริยาแบบ suspended fixed film พบว่าโครเมียม คลอไรด์ ซัลไฟด์ และ COD ที่มีอยู่เดิมในน้ำเสียไม่มีผลต่อการ desulfurization และ pH7 เป็นค่าที่ทำให้เกิดซัลเฟตรีดักชัน (sulfate reduction) สูง

Kabdasli และ Tunay (1993) ได้ศึกษาการกำจัดซัลเฟตออกจากน้ำเสียโดยใช้ปูนขาวตกตะกอนร่วมกับเกลือแบเรียม พบว่าการใช้ปูนขาวตกตะกอนเพียงอย่างเดียวประสิทธิภาพของการตกตะกอนจะขึ้นกับความเข้มข้นของซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ และปริมาณแคลเซียม ($CaSO_4$) ในระบบการตกตะกอนโดยใช้ปูนขาวร่วมกับเกลือแบเรียมได้ผลดีกว่า แต่ค่าใช้จ่ายสูงและต้องอาศัยเวลาสำหรับการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์

1.2.6 ระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration)

ระบบการกรองทางชีวภาพ นับเป็นเทคโนโลยีทางสิ่งแวดล้อมที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดของเสียที่หลากหลายทั้งน้ำเสียและบำบัดก๊าซ การนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดก๊าซและกลิ่นก็เป็นอีกด้านหนึ่งที่นิยม biofilter ได้มีการนำมาใช้ในการควบคุมและบำบัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ที่อยู่ในก๊าซ อาทิเช่น อัลดีไฮด์, กรดอินทรีย์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไนโตรซอกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสามารถบำบัดได้ถึง 98-99% หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับ media ที่ใช้ (Todd and Frederick, 1992)³ โดยหลักการทำงานของระบบการกรองทางชีวภาพประกอบด้วย 2 กลไกคือ adsorption/absorption และ bio-oxidation เมื่อผ่านก๊าซเสียไปใน biofilter จะเกิดการ Adsorb บนส่วนผิวของ biofilter media/หรือ ถูก absorb ไปในชั้นผิวที่ชุ่มของ media (water film) และพวกจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ที่ผิวของ Media จะรับพลังงานจากการ oxidation สารอินทรีย์ และ/หรือ อนินทรีย์ ที่อยู่ในก๊าซเสีย ซึ่งการ oxidation ที่เกิดใน biofilter เป็นกระบวนการย่อยสลายแบบชีววิทยาโดยธรรมชาติเกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ โดยผลิตผลสุดท้ายของปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยสู่ภายนอกมักเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), น้ำ, ไนเตรท, ซัลเฟต ไม่ก่อให้เกิดผลิตผลสุดท้ายที่เป็นอันตราย

biofilter media เป็นส่วนที่สำคัญสำหรับระบบการกรองทางชีวภาพ ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้เป็น Media มีหลากหลาย เช่น ดิน, ถ่านฟอส, ดินเหนียว, เปลือกไม้, ทราย, composted material หรือเป็นแบบผสมเป็นต้น ในการเลือกใช้ก็ขึ้นกับชนิด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซที่ต้องการบำบัดโดยวัสดุต่างชนิดกันก็ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซที่ต่างกัน (George, et.al., 1994) วัสดุที่นำมาใช้เป็น Media ในระบบการกรองทางชีวภาพที่ใช้ในการควบคุมบำบัดก๊าซและกลิ่น ที่นิยมกันมากได้แก่ ดิน ซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่ายและราคาถูก และปัจจุบันวัสดุที่ได้จากการหมัก (compost material) ก็เป็นที่นิยมนำมาใช้เป็น Media เพราะลักษณะที่เด่นกว่าดิน คือ เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ มีพื้นที่ผิวมาก ความสามารถในการซึมผ่านสูงกว่าและ ยังเป็น buffering ที่ดี แต่ข้อเสียของ composted material คือ จะเกิดการย่อยสลายและมีขนาดลดลงเมื่อใช้ไปนานๆ เนื่องจากสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้มีผลต่อความสามารถในการต้านทานการไหลของก๊าซไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้อายุการใช้งานน้อยลง เพื่อการยืดอายุในการใช้งานของ composted media ดังนั้นอาจเติมวัสดุอื่นผสม เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ และเพิ่มความคงทนของ media (Hinrich, 1992) สำหรับลักษณะที่เหมาะสมของ media ที่ใช้ใน ระบบ biofiltration คือ

- มีสภาวะที่เหมาะสมและเอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ pH (ระหว่าง 7-8), สารอาหาร, ปริมาณสารอินทรีย์ (33 - 35 %), ความชื้น (ระหว่าง 50-70%)
- มีพื้นที่สัมผัสมาก เพราะเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสของ media มีมากโอกาสที่จะเกิดการ Adsorption/Absorption และเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ก็มีมาก
- โครงสร้างที่ค่อนข้างคงตัว
- มีความสามารถในการเก็บกักความชื้นได้ดี
- มีความพรุนสูง (high porosity) เป็นเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างในตัว media ที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำหรืออากาศ ซึ่งจะส่งผลในระยะเวลาที่โมเลกุลของก๊าซมีความสามารถอยู่ใน media เพิ่มขึ้น

1.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ ระบบ biofiltration

ในการควบคุมการทำงานของระบบ biofiltration ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น มีหลายอย่างที่ต้องดูแล ไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ, ความชื้น, ค่า pH, pressure drop, ปริมาณ organic matter ปัจจัยที่ควรมีการดูแลและตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่

1.2.7.1 อุณหภูมิ และความชื้น (temperature and moisture content) สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบจะอยู่ระหว่าง 25°C - 35°C เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ใน biofilter (Warren and Raymond, 1997) หากมีอุณหภูมิสูงเกินไปก็อาจใช้น้ำ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิและยังช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นได้อีกด้วย การให้ความชุ่มชื้นก็มีส่วนสำคัญในการปรับและควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่ระบบ biofiltration ซึ่งการควบคุมความชื้นอาจทำได้ 3 ทาง โดย

- ให้ความชื้นแก่ก๊าซที่จะเข้าสู่ระบบอาจทำได้ โดยการสเปรย์น้ำให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กมากเข้าไปในก๊าซที่จะบำบัด
- ให้น้ำโดยตรงบน media โดยใช้ระบบการสเปรย์น้ำ
- เป็นแบบผสมทั้ง 2 แบบเข้าด้วยกัน

1.2.7.2 ค่า pH ช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบ biofiltration คือ ค่า pH 7 - 8 เพราะเป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การเติบโตของจุลินทรีย์ หากมีการเปลี่ยนแปลงไปของค่า pH จะส่งผลต่อการทำงานของระบบปัญหาที่พบบ่อยที่เกิดกับระบบ biofiltration คือการเกิดสภาวะกรดหรือการลดลงของ pH เมื่อมีการย่อยสลายที่ให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกรด ได้แก่

- H_2S และ สารอินทรีย์จำพวกซัลเฟอร์ (sulfur-containing organics) จะก่อให้เกิดกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

- NH_3 และ สารอินทรีย์จำพวกไนโตรเจน (Nitrogen-containing organics) จะก่อให้เกิด กรดไนตริก (HNO_3)

- Chlorinated organics จะก่อให้เกิด กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

หากก๊าซที่นำมาบำบัดมีสารที่กล่าวข้างต้น จึงควรมีการควบคุมและตรวจสอบค่า pH ที่ความลึกต่างๆ ของ biofilter และหาก pH ต่ำเกินไป อาจเติม ปูนขาว, เปลือกหอยบด หรือ ซีเมนต์ เป็นการปรับ pH ให้เหมาะสม

1.2.7.3 ความดันลดและปริมาณสารอินทรีย์ (pressure drop and organic matter content) การลดลงของปริมาณสารอินทรีย์และการเพิ่มขึ้นของความดันลด อาจบอกความสามารถในการทำงานของ media ที่ลดลงถึงเวลาที่ควรเปลี่ยน โดยอายุการใช้งานของ Media จะขึ้นกับ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ ระบบ biofiltration , ความเข้มข้นของสารประกอบในก๊าซที่นำมาบำบัด และอุณหภูมิของก๊าซ (Nora, 1996)

1.2.8 ข้อดีข้อเสียของระบบ biofiltration

ข้อดีของระบบ biofiltration

1.2.8.1 เป็นระบบที่มีการทำงานไม่ซับซ้อนง่ายต่อการบำรุงรักษา

1.2.8.2 กระบวนการบำบัดไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตราย

1.2.8.3 ใช้พลังงานน้อย

1.2.8.4 สามารถบำบัดสารในก๊าซหลายชนิด

1.2.8.5 ค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ

ข้อเสียของระบบ biofiltration

1.2.8.6 อาจไม่เหมาะสมที่จะใช้กับ halogenated compounds และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ไตรคลอโรเอทิลีน (TCE), ไตรคลอโรอีเทน (TCA) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) เพราะสารพวกนี้จะเกิดการย่อยสลายช้าทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ (Hinrich, 1992)

1.2.8.7 อายุการใช้งานของ biofilter media มีจำกัด

1.2.8.8 เป็นระบบที่ใช้พื้นที่มาก

เมื่อพิจารณาระบบ biofiltration กับวิธีการอื่นๆ ที่ใช้ในการบำบัดก๊าซ พบว่าระบบนี้เป็นระบบที่ง่ายต่อการดำเนินการและควบคุมดูแล อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำและประสิทธิภาพสูง (ตาราง 2)

ตาราง 2 การเปรียบเทียบ biofilters กับวิธีการควบคุมกลิ่นอื่นๆ

Method	Operating Costs	Material Costs	Maintenance Costs	Pollution Risk	Removes All Odors	Removal Efficiency
Water Stripping	High	Low	Low	Yes	No	Low
Incineration	High	High	High	Yes	Yes	High
Carbon Sorption	High	High	High	No	Yes	High
Chemical Scrubbing	Low	High	High	Yes	Yes	High
Biofilters	Low	Low	Low	No	Yes	High

ที่มา : Geoffrey, 1990.

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงสภาพการกำจัดซัลเฟตและไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น และศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบบ่อไร้อากาศและระบบการกรองทางชีวภาพ เพื่อบำบัดซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นโดยทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบปริมาณ และการเปลี่ยนแปลงของซัลเฟต และไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดในสถานะไร้อากาศ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาการจัดการน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น

1.4.2 ได้ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตและไฮโดรเจนซัลไฟด์ และข้อจำกัดบางประการของกระบวนการบำบัดด้วยระบบบ่อไร้อากาศและระบบการกรองทางชีวภาพ อันสามารถนำไปพัฒนาเทคนิคการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนด้วยซัลเฟตที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อใช้ขยายผลองค์ความรู้ในห้องปฏิบัติการไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีในระดับปฏิบัติจริงต่อไป

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

วัสดุในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

2.1.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1.1 น้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นตัวแทนในพื้นที่จังหวัดสงขลา 5 โรงงาน ได้แก่ โรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด, โรงงานจะนะน้ำยาง จำกัด, โรงงานถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด, โรงงานเอ็กเซลรับเบอร์ จำกัด และโรงงานสะเดาอุตสาหกรรมยางพารา (1998) จำกัด เพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนต่างๆ ของโรงงานน้ำยางชั้น

2.1.1.2 น้ำเสียจากโรงงานเอ็กเซลรับเบอร์ จำกัด ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ

2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (ระบุในภาคผนวก ข)

2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

- ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
- ถังพลาสติกขนาด 30 ลิตร
- กล้องโพรบสำหรับแช่ตัวอย่าง

2.2.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ บี ไอ ดี
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ ซี ไอ ดี
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ ที ไอ ซี Zellweger analytics Lab TOC 2100
- ชุดวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) รุ่น UV-1601
SHIMADZU, Japan
- เครื่องมือวัดความเป็นกรด ด่าง (pH meter)
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (thermometer)
- เครื่องวัดก๊าซ PERKIN KEIKI GX-91
- ตู้อบ (oven)
- เครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง
- เดสซิเคเตอร์ (dessicator)

2.2.3 อุปกรณ์สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ

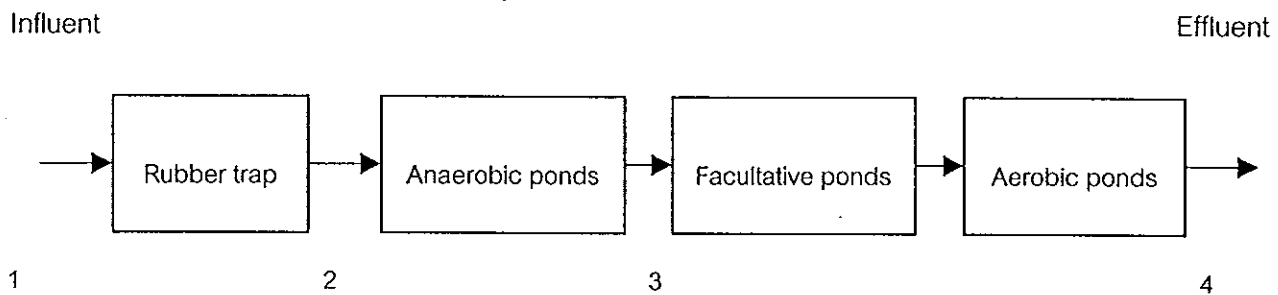
- บ่อไร้อากาศจำลองทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำจากแก้ว มีขนาด ความกว้าง×ยาว×สูง คือ 40×120×60 เซนติเมตร มีปริมาตร 240 ลิตร จำนวน 6 บ่อ ส่วนบนใช้พลาสติกคลุมเพื่อกักก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้อากาศ
 - ปั๊ม (peristaltic pump) สำหรับให้น้ำเสียแก่ระบบ
 - ชุดทดลอง biofilter เป็นพลาสติกใส ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดความกว้าง×ยาว×สูง คือ 20×50×30 เซนติเมตร จำนวน 4 ใบ และขนาดความกว้าง×ยาว×สูง 20×50×45 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ
 - เส้นท่อก๊าซใช้ติดใน biofilter เพื่อให้ก๊าซแก่ระบบ

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

2.3.1 การศึกษาลักษณะสมบัติ ทั้งทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสียและน้ำหลังจากผ่านการบำบัดในขั้นตอนต่างๆ ของโรงงานน้ำยางชั้น

โดยศึกษาตัวแปรคุณภาพน้ำในท่อม พีเอช, อุณหภูมิ, DO, BOD₅, COD, SS, Total sulfide, Dissolved sulfide, Hydrogen sulfide และกลิ่น ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบ grab sampling โดยทำการเก็บตัวอย่างขณะที่ทางโรงงานมีการปล่อยน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางชั้น ยางแท่ง และยางสกิม จากโรงงานน้ำยางชั้น 5 โรงงาน ในเขตจังหวัดสงขลา จำนวน 15 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียดังกล่าวข้างต้น โดยใช้วิธีการดังแสดงในตาราง 3 แต่ละโรงงานทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 4 จุด ดังภาพประกอบ 5 ได้แก่

- จุดที่ 1 น้ำเสียรวมที่ออกจากกระบวนการผลิต
- จุดที่ 2 น้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยาง
- จุดที่ 3 น้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศ
- จุดที่ 4 น้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการบำบัดของโรงงานน้ำยางชั้น

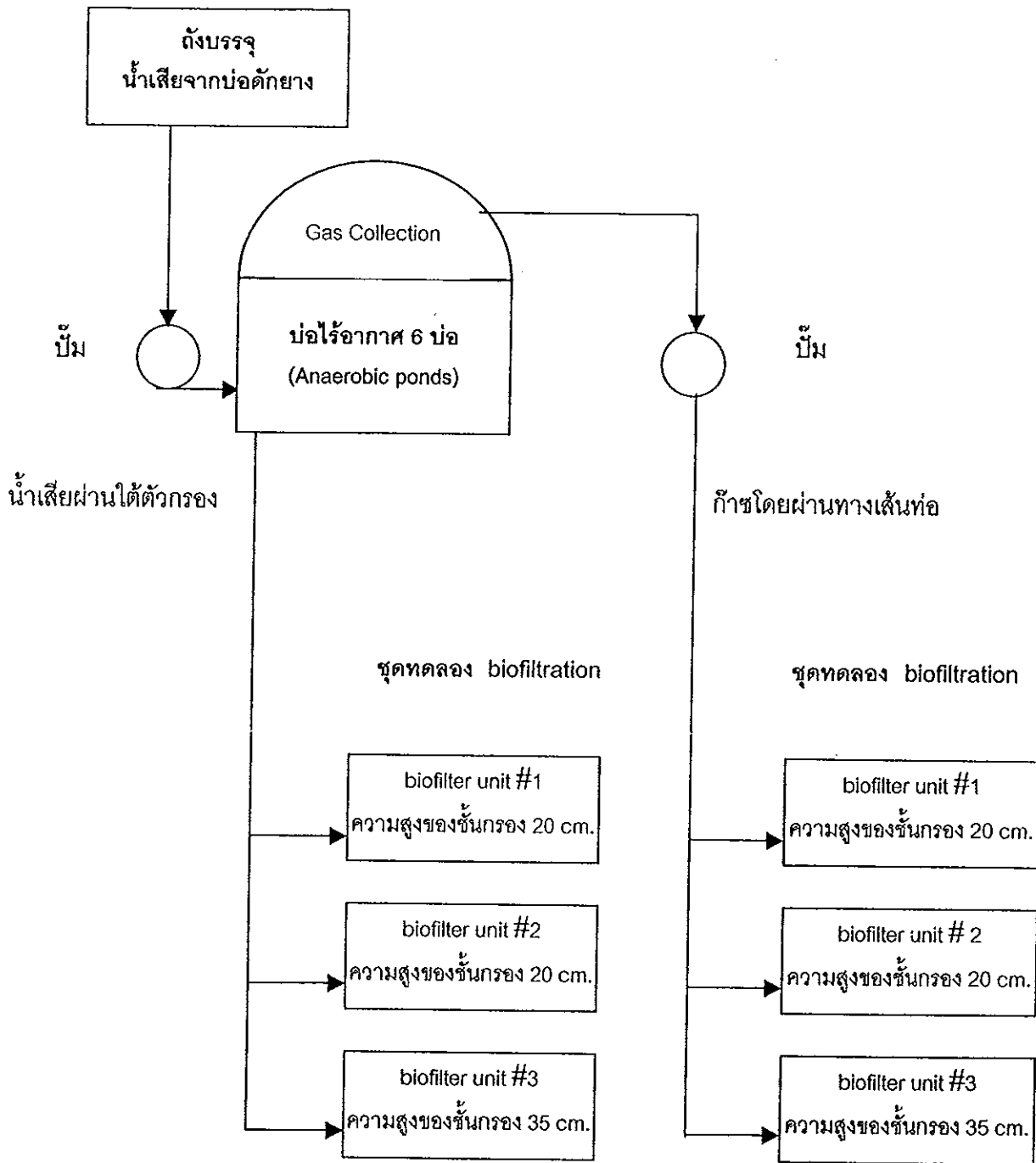


ภาพประกอบ 5 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

2.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบ่อไร้อากาศจำลองในห้องปฏิบัติการ

บ่อไร้อากาศจำนวน 6 บ่อ ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด ความกว้าง×ยาว×สูง คือ 40×120×60 เซนติเมตร แต่ละบ่อมีปริมาตร 240 ลิตร ที่ส่วนบนมีการคลุมด้วยพลาสติกเพื่อใช้ในการกักก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายไร้อากาศ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีการนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซ ได้แก่ CH_4 , N_2 , O_2 , CO_2 (โดยส่งวิเคราะห์ที่สถาบัน AIT) และ H_2S โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมี Cadmium sulfide method (Jacobs, 1960) และก๊าซที่เกิดขึ้นจะได้นำไปใช้ ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการกรองทางชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาพประกอบ 6) น้ำเสียที่บ่อน้ำสูบบ่อไร้อากาศจำลองเป็นน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยางของโรงงานน้ำยางชั้น โดยก่อนบ่อน้ำเสียเข้าสู่บ่อไร้อากาศจำลองจะมีการปรับ pH ของน้ำเสียให้มีค่าประมาณ 7 ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไข อัตราน้ำเสียที่บ่อน้ำสูบบ่อที่ต่างกันคือ HRT 20 วัน และ HRT 40 วัน

ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ ซัลเฟต และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการตรวจสอบค่า pH, SCOD, Sulfate, Total sulfide, Dissolved sulfide และ Hydrogen sulfide ของน้ำเสียก่อนเข้า และออกจากบ่อไร้อากาศด้วยวิธีวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 3



ภาพประกอบ 6 ระบบบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

ตาราง 3 วิธีที่ใช้เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์ *
pH	pH meter
DO	DO meter
Temperature	Thermometer
BOD ₅	Azide Modification method
COD	Dichromate Reflux method
SCOD	Filter/ Dichromate Reflux method
SS	Gravimetric method
Sulfate	Turbidimetric method
Total Sulfide	Iodometric method
Dissolved Sulfide	Iodometric method
Hydrogen sulfide	Iodometric method
Odour	Odour Test

* APHA, AWWA and WEF, 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th edition, American Public Health Association, Washington D.C

2.3.3 การศึกษาอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ และซัลเฟตในสภาวะจำลองแบบไร้อากาศ

โดยจัดเป็น 2 ชุดทดลองที่แตกต่างกันที่ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนสู่ระบบ ที่ปริมาณสูงและต่ำ ในลักษณะการทดลองแบบ batch test ดังรายละเอียดคือ

ชุดทดลองที่ 1 (อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อซัลเฟตต่ำ) ใช้น้ำเสียที่ออกจากปอดักยางผสมกับน้ำเสียจากป่อไร้อากาศของโรงงานน้ำยางชั้น โดยมีอัตราส่วนน้ำเสียที่ออกจากปอดักยางต่อน้ำเสียจากป่อไร้อากาศ 1:1

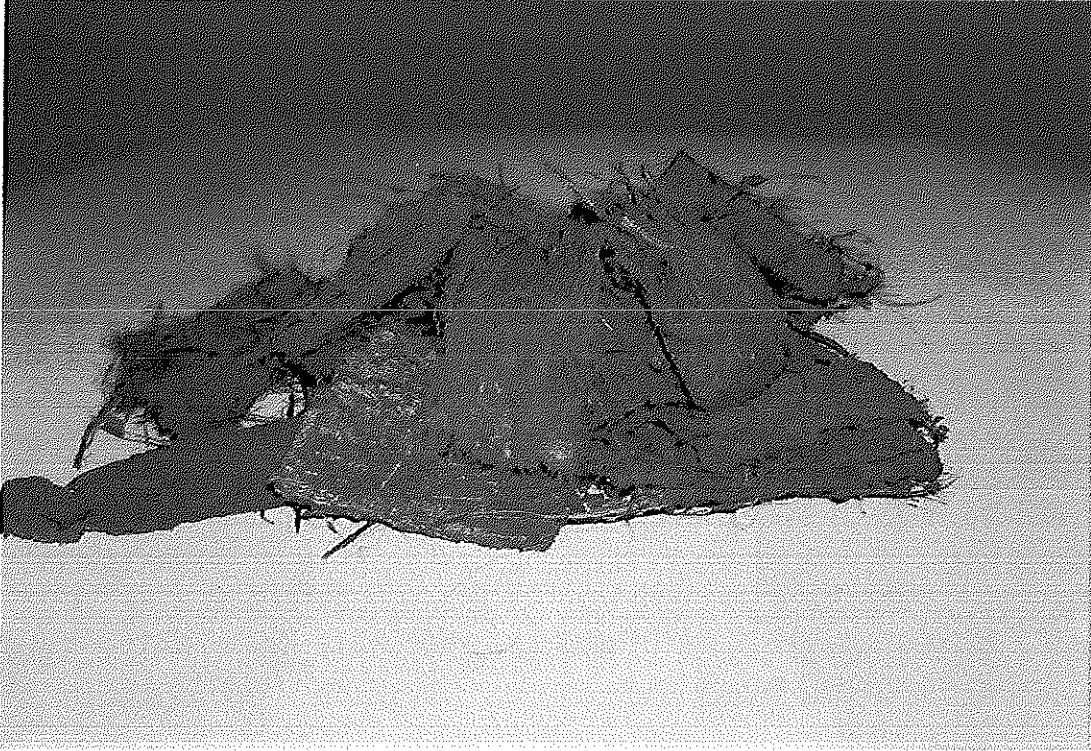
ชุดทดลองที่ 2 (อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อซัลเฟตสูง) ใช้น้ำเสียที่ออกจากปอดักยางผสมกับน้ำเสียจากป่อไร้อากาศของโรงงานน้ำยางชั้น โดยมีอัตราส่วนน้ำเสียที่ออกจากปอดักยางต่อน้ำเสียจากป่อไร้อากาศ 1:2

โดยทั้งสองชุดทดลองจะดำเนินการโดยใช้ขวดแก้วขนาด 100 ml บรรจุน้ำเสียดังกล่าวข้างต้นขวดละ 80 ml การทดลองแต่ละชุดใช้ 12 ขวด ขวดที่เตรียมทั้งหมดได้นำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุม

คุมอุณหภูมิ (incubator) มีการควบคุมอุณหภูมิ 25°C เก็บไว้ 20 วัน และทำการวิเคราะห์ปริมาณ Soluble Chemical Oxygen Demand (SCOD) และ ซัลเฟต จากน้ำเสียในแต่ละขวด ในวันที่ 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 และ 20 ของการทดลอง

2.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration)

ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยระบบการกรองทางชีวภาพ มีความแตกต่างกันของการใช้ตัวกรอง (media) 3 แบบ คือ โยมะพร้าว (ขนาดประมาณ 3×5 เซนติเมตร), composted material และ โยมะพร้าวร่วมกับ composted material ดังภาพประกอบ 7 รวมถึงวิธีการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบในลักษณะที่ต่างกัน 2 ทางคือ ก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง และให้ก๊าซโดยส่งผ่านทางเส้นท่อ โดยแต่ละการทดลอง ประกอบด้วย biofilter 3 ใบ คือ biofilter หมายเลข 1, 2 และ 3 ดังแสดงในภาพประกอบ 8 มี biofilter หมายเลข 1 เป็นชุดทดลองที่มีความสูงของชั้นกรอง 20 เซนติเมตร เท่ากันกับ biofilter อีกใบหนึ่ง (biofilter หมายเลข 2) และ biofilter อีกหนึ่งใบที่มีความสูงของชั้นกรอง 35 เซนติเมตร ก๊าซที่ให้แก่ระบบจะเป็น ก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศที่อยู่ใต้ชั้นกรองโดยตรง โดยใช้ peristaltic pump ป้อนน้ำเสียให้แก่ Biofilter ให้น้ำเสียปริมาณ 0.009 ลูกบาศก์เมตร/วัน (HRT 1 วัน) และก๊าซที่สูบจากบ่อไร้อากาศแล้วนำเข้าสู่เส้นท่อไปยัง biofilter โดยให้ก๊าซในอัตราการใช้ 0.036 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง วันละ 45 นาที ควบคุมความชื้นของชั้นกรองของ Biofilter ให้อยู่ประมาณ 50% ในการทดลองจะติดตามค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อนเข้า และหลังผ่านระบบบำบัด ที่ตำแหน่งต่างๆ ของ biofilter (ภาพประกอบ 9) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีคือ Cadmium sulfide method (Jacobs, 1960) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ



ก. โยมะพร้าว



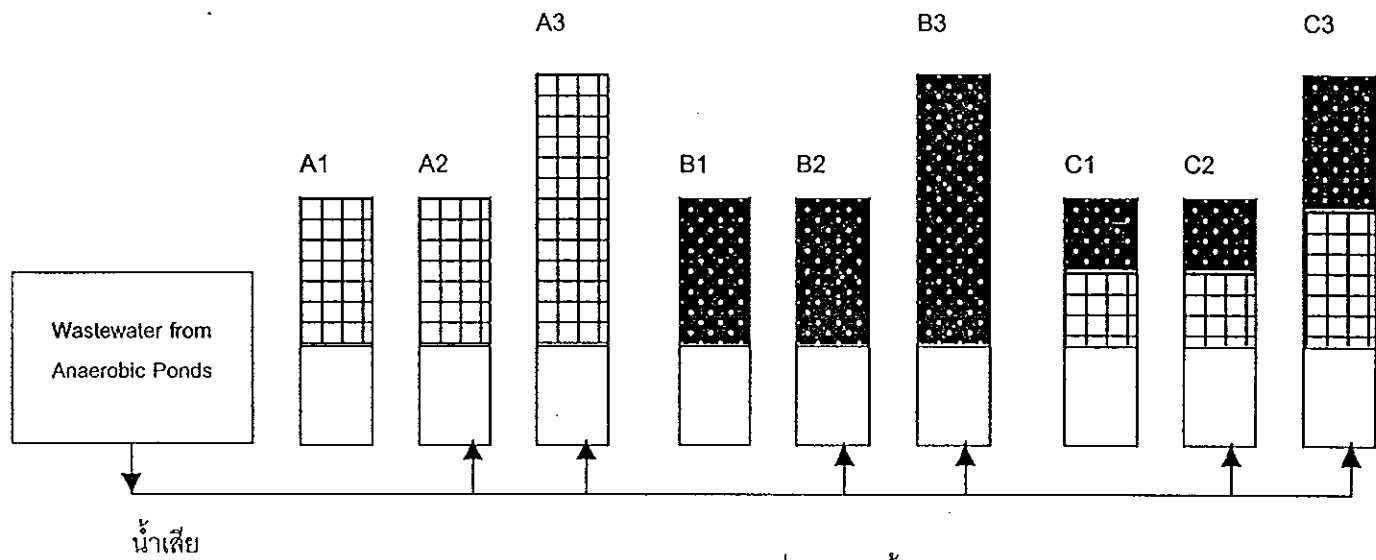
ข. composted material

ภาพประกอบ 7 ลักษณะตัวกรองที่ใช้ในการศึกษาระบบ biofilter

ไยมะพร้าว

composted material

ไยมะพร้าวและ
composted material

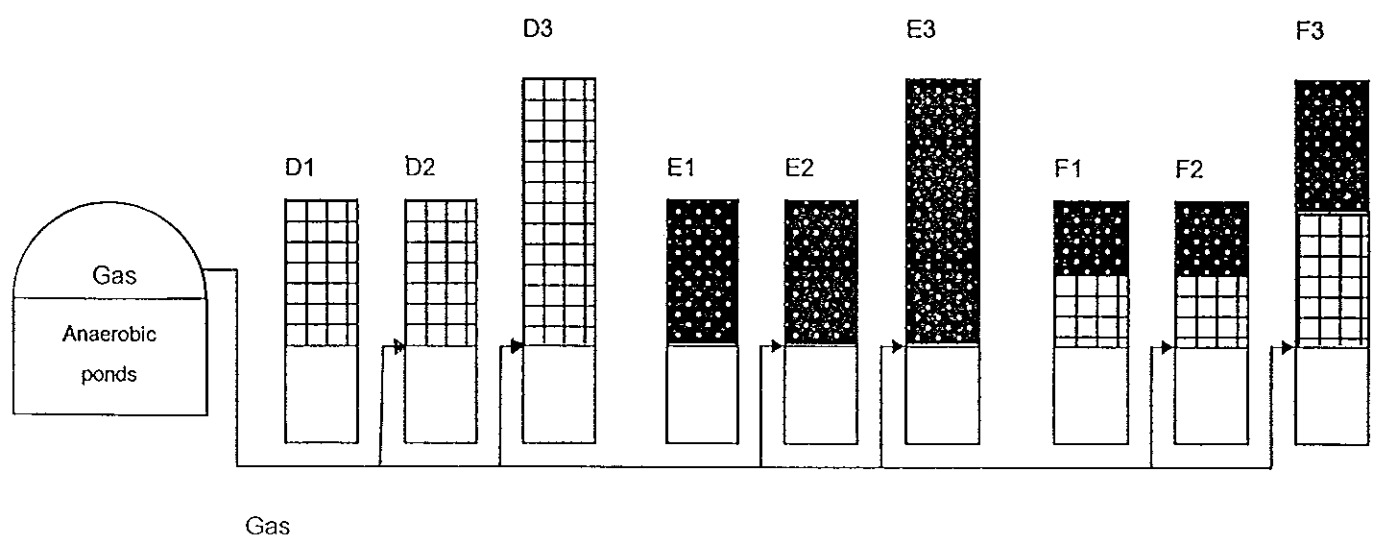


ก. วิธีการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบโดยก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง

ไยมะพร้าว

composted material

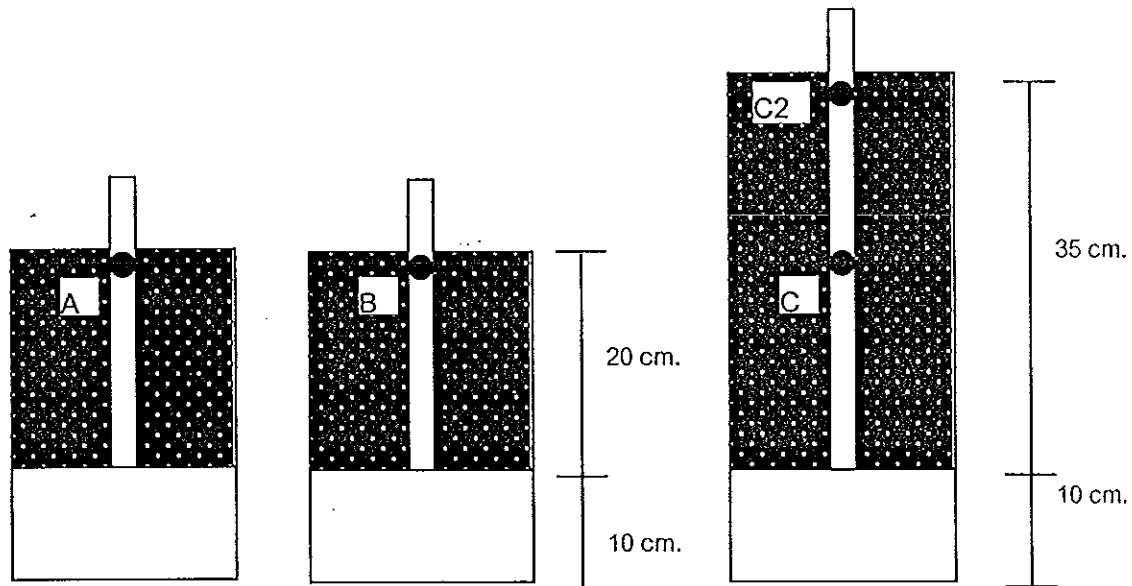
ไยมะพร้าวและ
composted material



ข. วิธีการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบโดยให้ก๊าซผ่านทางเส้นท่อ

หมายเหตุ A1, B1, C1, D1, E1, F1 : ชุดทดลองควบคุม

ภาพประกอบ 8 ระบบ biofiltration ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



Biofilter Unit #1

ชุดควบคุมที่มีความสูงของ
ชั้นกรอง 20 cm.

Biofilter Unit #2

ชุดทดลองที่มีความสูงของ
ชั้นกรอง 20 cm.

Biofilter Unit #3

ชุดทดลองที่มีความสูงของ
ชั้นกรอง 35 cm.

โดย

จุด A คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในbiofilter หมายเลข 2

จุด C คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในbiofilter หมายเลข 3

จุด C2 คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองในbiofilter หมายเลข 3

ภาพประกอบ 9 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซของระบบการกรองทางชีวภาพ

บทที่ 3

ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานน้ำยางชั้น

โรงงานที่ทำการศึกษาคือโรงงานอุตสาหกรรมยางที่ทำการผลิตน้ำยางชั้น ยางสกิม และยางแท่ง ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสงขลา จำนวน 5 โรงงาน ซึ่งรายละเอียดของการผลิตแต่ละโรงงาน ในขณะที่ทำการศึกษ (เดือนพฤษภาคม - เดือนกันยายน 2542) แสดงในตาราง 4

ตาราง 4 รายละเอียดการผลิตของโรงงานยางที่ทำการวิจัย

โรงงาน	การผลิต
1. บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด	น้ำยางชั้น, ยางสกิม, ยางแท่ง
2. บริษัท จะนะน้ำยาง จำกัด	น้ำยางชั้น, ยางสกิม, ยางแท่ง
3. บริษัท ดาวอุตสาหกรรมยางพารา(1982) จำกัด	น้ำยางชั้น, ยางสกิม, ยางแท่ง
4. บริษัท เอ็กซ์เซลรับเบอร์ จำกัด	น้ำยางชั้น, ยางสกิม
5. บริษัท สะเดาอุตสาหกรรมยางพารา(1988) จำกัด	น้ำยางชั้น, ยางสกิม

3.1.1 ลักษณะของน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นที่ทำการศึกษาคือ เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย กลางแจ้ง ซึ่งประกอบด้วย

- บ่อดักยาง (rubber trap)
- บ่อไร้อากาศ (anaerobic pond)
- บ่อผสม (facultative pond)
- บ่อผึ่งหรือบ่อมีอากาศ (aerobic pond)

ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียของแต่ละโรงงานที่ทำการศึกษาคือจะเป็นระบบบำบัด กลางแจ้ง มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน แต่จะมีความแตกต่างกันบ้างในจำนวนของบ่อ และความลึก ของบ่อ โดยจะมีการจัดเรียงเริ่มจากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตในแต่ละส่วนจะมารวมกัน ไหลลงบ่อดักยางผ่านบ่อดักยางลงสู่บ่อไร้อากาศ ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านจากบ่อดักยางพบว่ามี pH ต่ำ

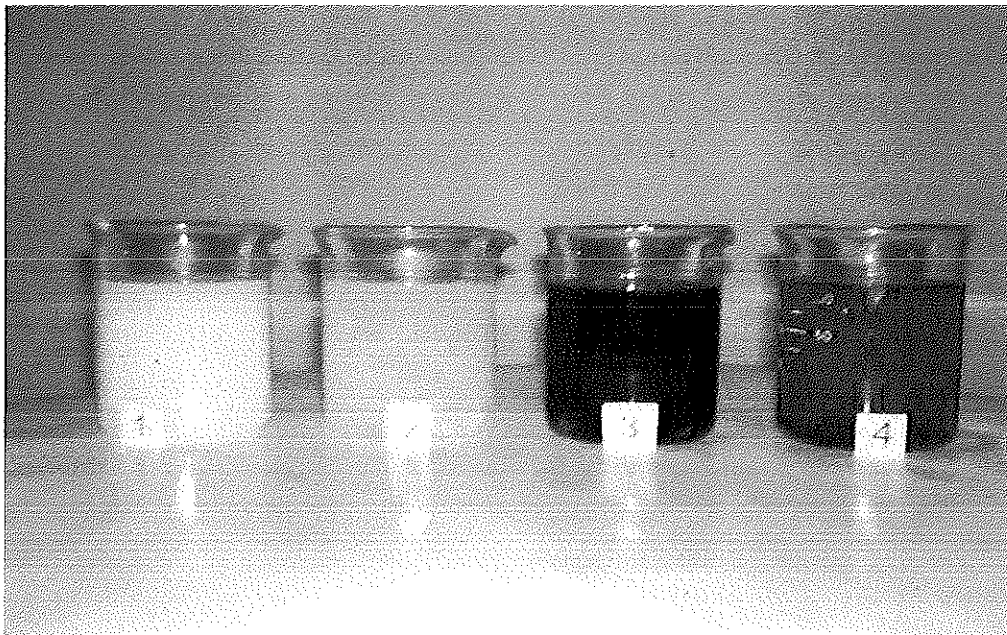
เป็นกรด ดังนั้นก่อนน้ำเสียไหลสู่อ่างบำบัดอากาศ ในบางโรงงานจะมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับ pH ของน้ำเสียให้สูงขึ้นให้มีความเป็นกลางเพื่อเป็น pH ที่เหมาะแก่ระบบบำบัดอากาศ โดยใช้ปูนขาว แต่บางโรงงานไม่มีการจัดการในส่วนนี้ หลังจากน้ำเสียออกจากบ่ออากาศก็ไหลสู่อ่างผสม และบ่อมีอากาศ ตามลำดับ ในบางโรงงานมีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อ และเมื่อน้ำเสียออกจากบ่อมีอากาศ จะไปสู่อ่างปรับสภาพแล้วปล่อยทิ้ง

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น วิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆ ดังในตาราง 5 และลักษณะของน้ำเสียแสดงในภาพประกอบ 10 โดยน้ำเสียจากแต่ละขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางชั้น การผลิตยางสีกิมเครพ หรือจากการผลิตยางแท่ง จะไหลมาผสมรวมกันก่อนเข้าสู่บ่อดักยางซึ่งน้ำเสียรวมจะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น มีเศษยางลอยปะปนอยู่ พบว่ามีค่าพีเอชในช่วง 3.72 ถึง 7.96 มีปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยมีปริมาณ COD และ BOD₅ อยู่ระหว่าง 4,760 - 12,117 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2,450 - 8,200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ อีกทั้งปริมาณซัลเฟตและของแข็งแขวนลอยสูง โดยปริมาณซัลเฟต อยู่ระหว่าง 404 - 2,262 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย อยู่ระหว่าง 350 - 2,680 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำเสียรวมไหลลงสู่อ่างดักยาง เนื่องจากพีเอชที่เป็นกรดของน้ำเสียและลักษณะของบ่อดักยาง ทำให้เศษยางในน้ำเสียมีการจับตัวลอยขึ้นบนผิวของบ่อดักยาง พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกจากบ่อดักยางมีปริมาณลดลงมีค่าระหว่าง 133 - 995 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่า COD BOD₅ และซัลเฟต ในช่วง 2,574 - 7,805 มิลลิกรัม/ลิตร 1,912 - 4,500 มิลลิกรัม/ลิตร และ 290 - 1,456 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยางอยู่ระหว่าง 2.36 - 5.38 หลังจากน้ำเสียไหลออกจากบ่อดักยางก็ไหลสู่อ่างบำบัดอากาศ ซึ่งในแต่ละโรงงานจะมีจำนวนบ่อที่แตกต่างกันไป ลักษณะของน้ำเสียในบ่ออากาศมักมีสีดำและมีกลิ่นเหม็น มีตะกอนเศษยาง (scum) ลักษณะเป็นฝ้าขาว ลอยปกคลุมบนผิวบ่อ ในแต่ละโรงงานจะมีปริมาณ scum ที่ผิวบ่อที่แตกต่างกัน พบว่าน้ำเสียที่ออกจากบ่ออากาศบ่อสุดท้ายของแต่ละโรงงานที่ศึกษาจะมีปริมาณซัลเฟตลดลงมากมีค่าอยู่ระหว่าง 24.7 - 159 มิลลิกรัม/ลิตร แต่มีปริมาณซัลไฟด์เพิ่มขึ้นทั้งในรูปปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด ปริมาณซัลไฟด์ละลายและไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยมีค่าอยู่ในช่วง 21.3 - 72.3 มิลลิกรัม/ลิตร 16.9 - 61.1 มิลลิกรัม/ลิตร 2.4 - 48.6 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับซัลไฟด์ทั้งหมด ปริมาณซัลไฟด์ละลาย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามลำดับ มีค่า pH ของน้ำเสียในช่วง 5.43-7.66หลังจากน้ำเสียออกจากบ่ออากาศจะไหลต่อไปยังบ่อกึ่งมีอากาศไร้อากาศ บ่อมีอากาศและบ่อปรับสภาพที่เรียงต่อกันในระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้ง เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดของโรงงานน้ำยางชั้นสูงสุดปล่อยทิ้ง พบว่าน้ำเสียจะมีลักษณะเป็นสีเขียวอ่อนมีตะกอนและเศษของพีซีบีเอหรือสารร้ายปะปน

อยู่ในน้ำเสีย จึงทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นค่า pH ของน้ำเสียที่จุดนี้มีค่าสูงขึ้นไปในช่วง 6.07 - 10.19 และน้ำเสีย ณ จุดปล่อยทิ้งของโรงงานน้ำยางชั้นส่วนใหญ่มีค่าปริมาณสารอินทรีย์ COD และ BOD₅ สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม โดยค่าความเข้มข้น COD และ BOD₅ ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ระหว่าง 103 - 761 มิลลิกรัม/ลิตร และ 13 -150 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น

ลักษณะสมบัติ	แหล่งน้ำเสีย							
	น้ำเสียรวม		น้ำเสียจากปอดักยาง		น้ำเสียจากป่อไร้อากาศ		น้ำทิ้ง	
	ช่วง	เฉลี่ย±SD	ช่วง	เฉลี่ย±SD	ช่วง	เฉลี่ย±SD	ช่วง	เฉลี่ย±SD
ซีโอดี (มก/ล)	4,760-12,177	8,217±2,152	2,574-7,805	4,742±1,509	812-4,000	2,348±916	103-761	328±177
บีโอดี (มก/ล)	2,450-8,200	4,486±1,534	1,912-4,500	2,913±839	400-2,850	1,527±728	13-150	69.6±40.8
ซัลเฟต(มก/ล)	404-2,262	1,198±616	290-1,456	758±418	24.7-159	82.8±46.6	2-69	23.1±18
ของแข็งแขวนลอย (มก/ล)	350-2,680	1,226±653	133-995	435±243	125-360	194±63	26-220	120±71
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก/ล)	0-8.1	2.55±5.64	3.5-51.6	22.4±13.9	21.3-72.3	41.2±16.2	0-3.2	0.8±1.1
ซัลไฟด์ละลาย (มก/ล)	0-3	0.49±0.94	1.5-51.1	18.1±12.9	16.9-61.1	33.1±16.6	0-1.3	0.09±0.34
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก/ล)	0-2.87	0.27±0.78	0-47.5	15.8±12.7	2.4-48.60	19±14	0	0
กลิ่น (T.O.N)	152-470	255±104	274-1,000	630±215	251-990	622±201	2-13.4	5.5±3.7
พีเอช	3.72-7.96	5.70±1.26	2.36-5.38	4.41±1.06	5.43-7.66	6.84±0.06	6.07-10.19	8.29±1.14



1. คือ น้ำเสียรวม 2. คือ น้ำเสียที่ออกจากปอดักยาง 3. คือ น้ำเสียที่ออกจากระบบป่อไร้อากาศ 4. คือ น้ำทิ้งภาพประกอบ 10 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น

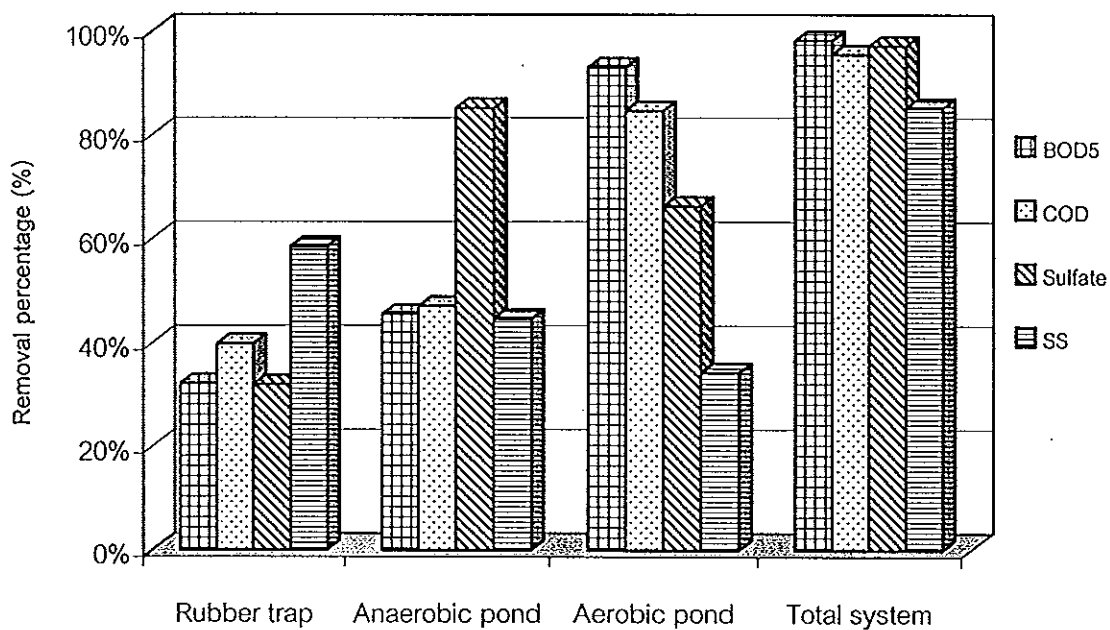
3.2.1 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอมของ COD, BOD₅, ของแข็งแขวนลอย และซัลเฟต ในระบบน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นมีความแตกต่างกันทั้งประสิทธิภาพรวมของระบบและประสิทธิภาพของแต่ละป่อ จากการศึกษพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม BOD₅ และ COD ได้ค่าเฉลี่ยในช่วง 93.9 - 99.7 % และ 84 - 98.7%ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าระหว่าง 87.5 - 99.7 % และ 45.7 - 97.8 %สำหรับการกำจัดซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดในแต่ละป่อของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นพบว่า ในปอดักยางสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม BOD₅ และ COD ได้ค่าระหว่าง 8 - 61 %และ 14 - 75 % ตามลำดับ กำจัดซัลเฟตได้ระหว่าง 1 - 80% ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของปอดักยางมีค่าระหว่าง 12 - 90 % สำหรับป่อไร้อากาศพบว่ามีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในเทอม BOD₅, COD, ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย ในช่วง 8 - 86 %, 13 - 84 %, 64 - 98% และ 5 - 78 %ตามลำดับ ประสิทธิภาพของป่อมีอากาศพบว่ามีค่า

ค่าระหว่าง 71.3 - 98%, 69.2 - 94.3 %, 13.8 - 97.3 % และ 49.6 - 92.85 % สำหรับการกำจัด BOD₅ , COD, ซัลเฟตและของแข็งแขวนลอยตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสารอินทรีย์ และซัลเฟตที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น (ภาพประกอบ 11) จากบ่อไร้อากาศและบ่อมีอากาศพบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์ ในบ่อมีอากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ และ COD โดยเฉลี่ย $93.0 \pm 8.04\%$ และ $84.55 \pm 8.77\%$ ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าในบ่อไร้อากาศที่มีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม BOD₅ และ COD โดยเฉลี่ย $45.51 \pm 26.02\%$ และ $46.98 \pm 22.43\%$ ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตในบ่อไร้อากาศโดยเฉลี่ย $85.16 \pm 11.09\%$ จะเกิดขึ้นสูงกว่าในบ่อมีอากาศที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ย $66.16 \pm 25.68\%$ และประสิทธิภาพเฉลี่ยของทั้งระบบบำบัดน้ำเสียในการกำจัด BOD₅ , COD, ซัลเฟตและของแข็งแขวนลอย มีค่าเฉลี่ย $98.21 \pm 1.51\%$, $95.54 \pm 3.58\%$, $97.09 \pm 3.53\%$ และ $85.22 \pm 14.85\%$ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 11 ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยของสารอินทรีย์ ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้น

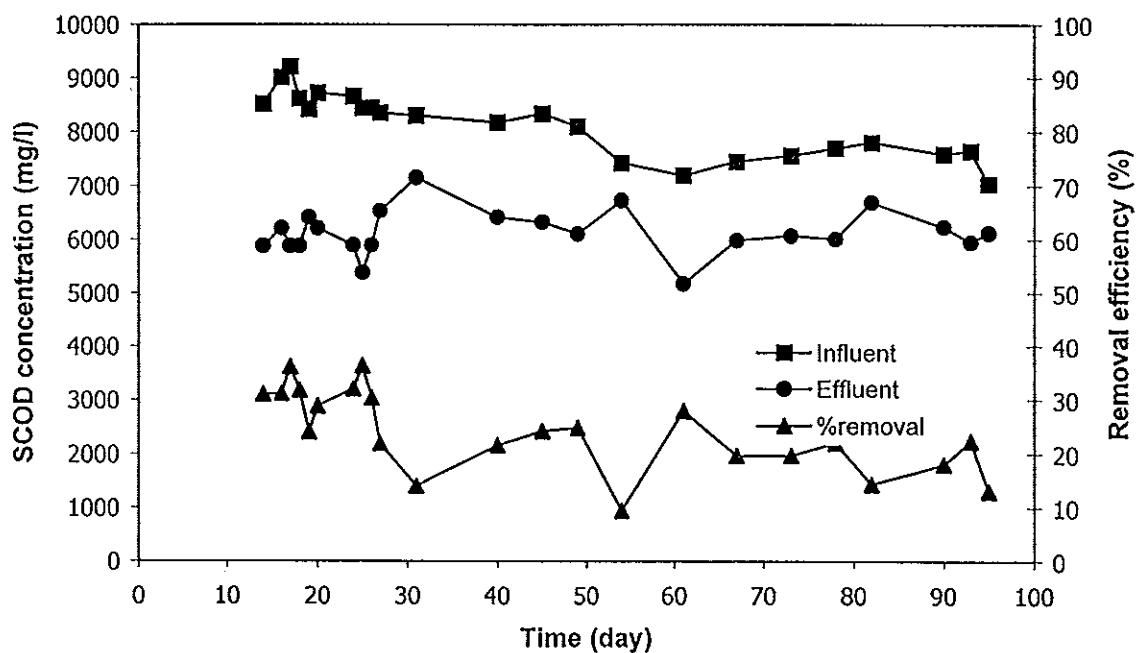
3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของบ่อไร้อากาศจำลองในห้องปฏิบัติการ

หลังจากทำการเติมตะกอนจากบ่อไร้อากาศ (seed) ลงในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง และเติมน้ำเสียด้วยวิธีทิ้งต่อเนื่องประมาณ 2 สัปดาห์ จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณมวลสารต่างๆ ที่เข้าและออกจากระบบบำบัด ในการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพของบ่อไร้อากาศในการบำบัดสารอินทรีย์และซัลเฟตที่ HRT ต่างกัน ในส่วนแรกทำการศึกษาที่ HRT 20 วัน โดยใช้อัตราการป้อนน้ำเสียให้แก่บ่อไร้อากาศเท่ากับ 0.12 ลูกบาศก์เมตร/วัน เป็นเวลา 95 วัน แล้วจึงศึกษาในส่วนที่สองที่ภาวะ HRT 40 วัน โดยอัตราการป้อนน้ำเข้าสู่บ่อไร้อากาศเท่ากับ 0.06 ลูกบาศก์เมตร/วัน เป็นเวลา 264 วัน

3.2.1 การศึกษาระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน

3.2.1.1 สารอินทรีย์ในรูป SCOD

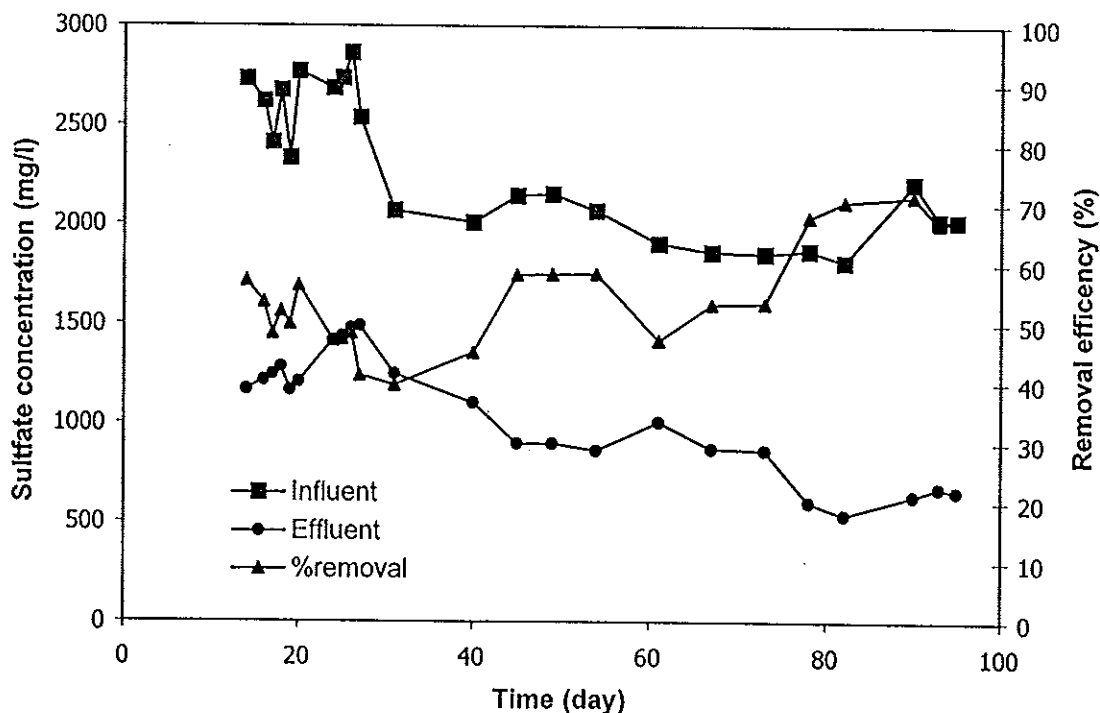
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ในระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศจำลอง พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในรูป SCOD อยู่ในช่วง 7,031 - 9,212 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารอินทรีย์ที่ออกจากระบบจะมีความเข้มข้นลดลงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 5,376 - 7,143 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ อยู่ในช่วง 9.4%-36.4% (เฉลี่ย $24.09 \pm 7.47\%$) ดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน

3.2.1.2 ซัลเฟต (SO_4^{2-})

จากการศึกษาพบว่าในน้ำเสียที่ป้อนให้ระบบนั้นมีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 1,812 – 2,768 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำเสียเข้าสู่บ่อไร้อากาศภายในระบบจะเกิดการรีดักชันของซัลเฟต ทำให้ปริมาณซัลเฟตที่ออกจากระบบบ่อไร้อากาศลดลง พบว่าปริมาณซัลเฟตที่ออกจากบ่อไร้อากาศอยู่ในช่วง 535 – 1,489 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตอยู่ในช่วง 41.3% - 71.4% (เฉลี่ย $54.76 \pm 9.13\%$) ดังภาพประกอบ 13



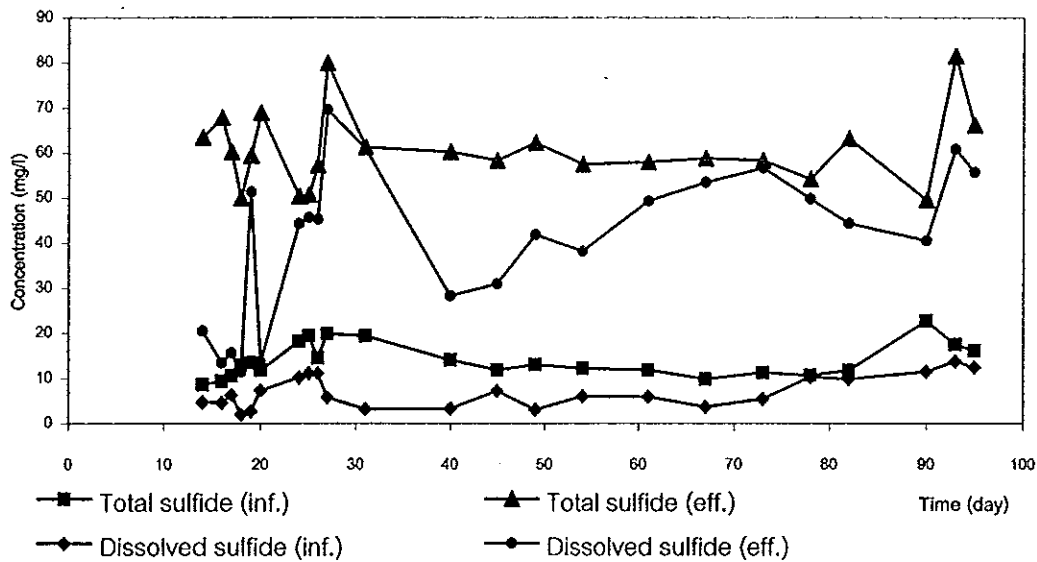
ภาพประกอบ 13 ปริมาณซัลเฟตที่เข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ บ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน

3.2.1.3 ซัลไฟด์ทั้งหมดและซัลไฟด์ละลาย

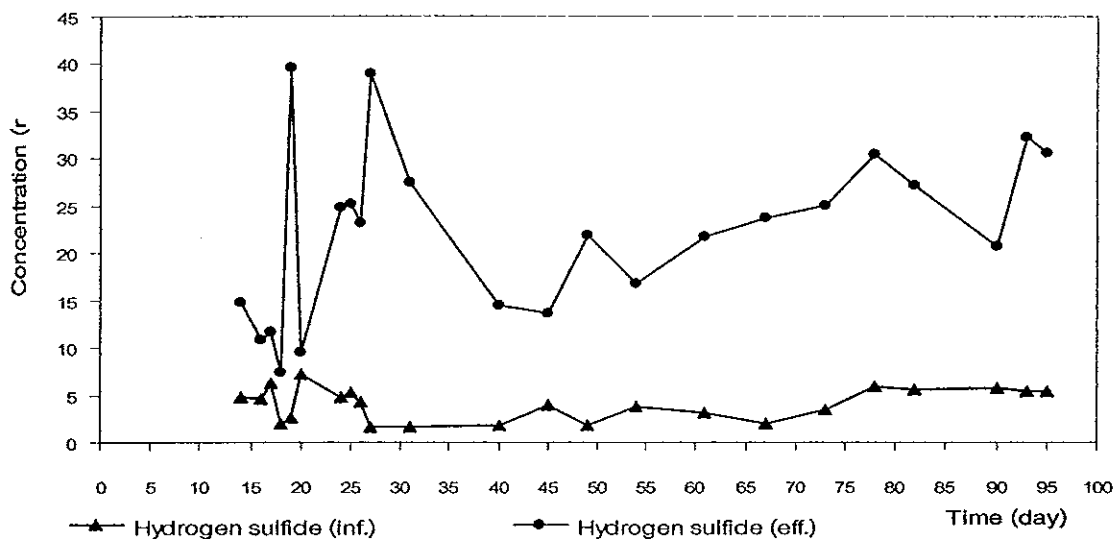
จากภาพประกอบ 14 พบว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบนั้นมีค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ในรูปซัลไฟด์ทั้งหมด และซัลไฟด์ละลายอยู่ในช่วง 8.6 – 19.9 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2 - 11.1 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของซัลไฟด์ในน้ำเสียเป็นซัลไฟด์ ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มีปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด และซัลไฟด์ละลายเพิ่มขึ้นโดยมีความเข้มข้นในช่วง 49.9 – 79.9 มิลลิกรัม/ลิตร และ 11.4 - 69.6 มิลลิกรัม/ลิตร

3.2.1.4 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียที่ผ่านมาจากบ่อดักยาง ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 1.7 – 7.3 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อน้ำเสียถูกบ้อนสู่ระบบบ่อไร้อากาศ ในช่วงเวลาที่น้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงถูกกักเก็บในระบบบ่อไร้อากาศในภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิดเช่น Sulfate Reducing Bacteria จะใช้ซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนทำให้เกิด H_2S ขึ้น พบว่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ออกจากระบบบ่อไร้อากาศ จะมีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.4 - 39.6 มิลลิกรัม/ลิตร ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 14 ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดและปริมาณซัลไฟด์ละลายที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน

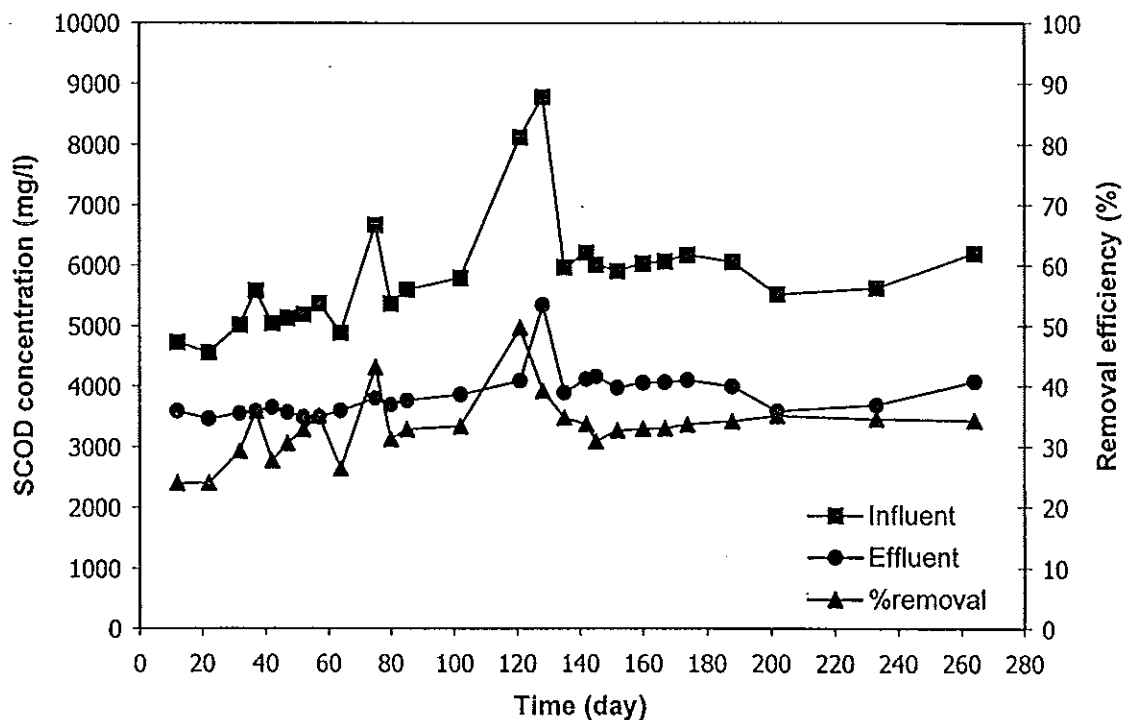


ภาพประกอบ 15 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน

3.2.1 การศึกษาระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน

3.2.2.1 สารอินทรีย์ในรูป SCOD

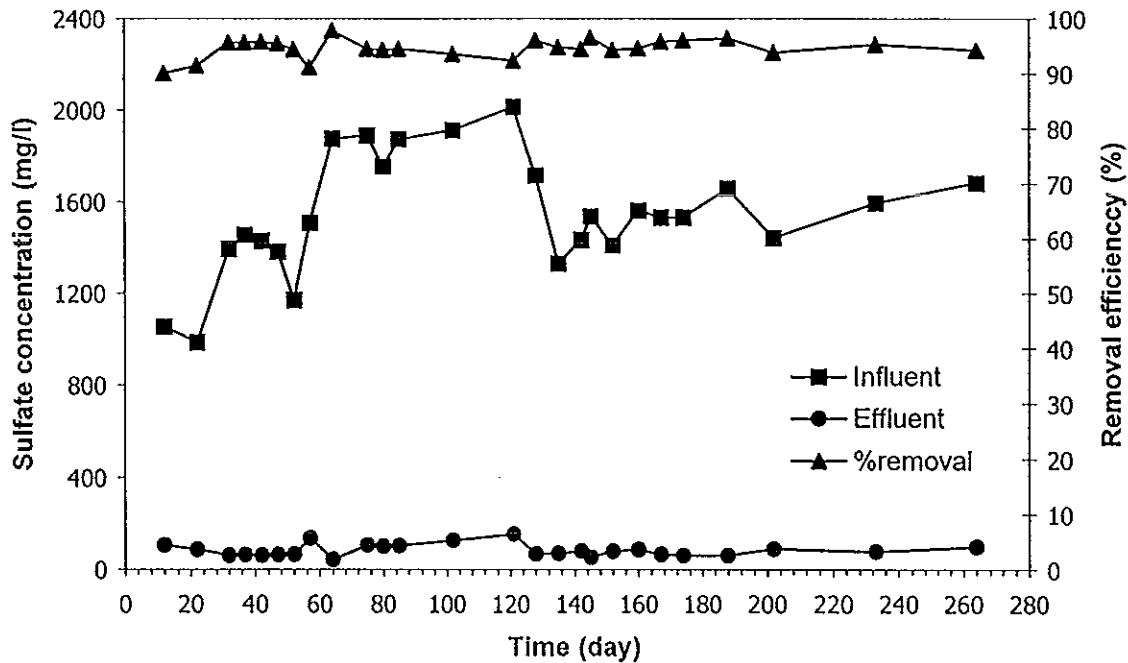
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ ในระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศ จำลอง พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในรูป SCOD มีค่าระหว่าง 4,556 - 8,778 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารอินทรีย์ที่ออกจากระบบมีค่าระหว่าง 3,462 - 5,338 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 24% - 49.6% (เฉลี่ย $33.25 \pm 5.30\%$) ดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน

3.2.2.2 ซัลเฟต (SO_4^{2-})

ความเข้มข้นของซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบอยู่ในช่วง 987 - 2,013 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อน้ำเสียออกจากบ่อไร้อากาศ พบว่ามีความเข้มข้นของซัลเฟตอยู่ในช่วง 41.5 - 35 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟต อยู่ในช่วง 90% - 97.8% (เฉลี่ย $94.55 \pm 1.77\%$) ดังภาพประกอบ 17



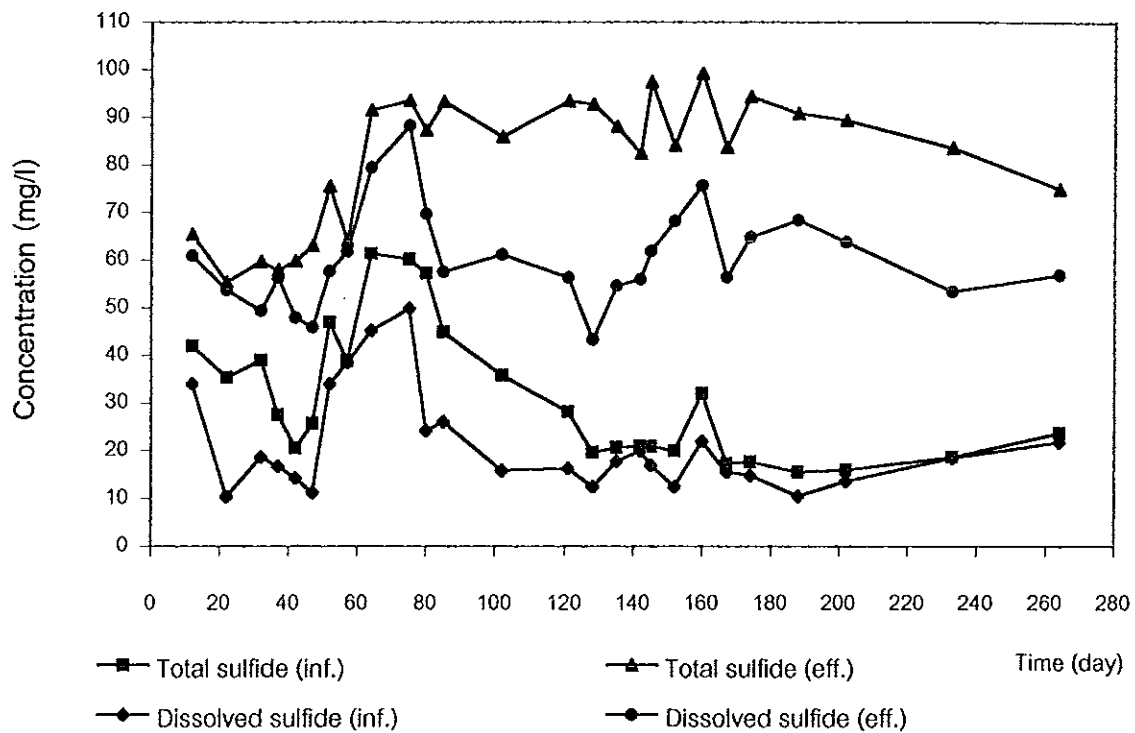
ภาพประกอบ 17 ปริมาณซัลเฟตที่เข้าและออกจากระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ บ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน .

3.2.2.3 ซัลไฟด์ทั้งหมดและซัลไฟด์ละลาย

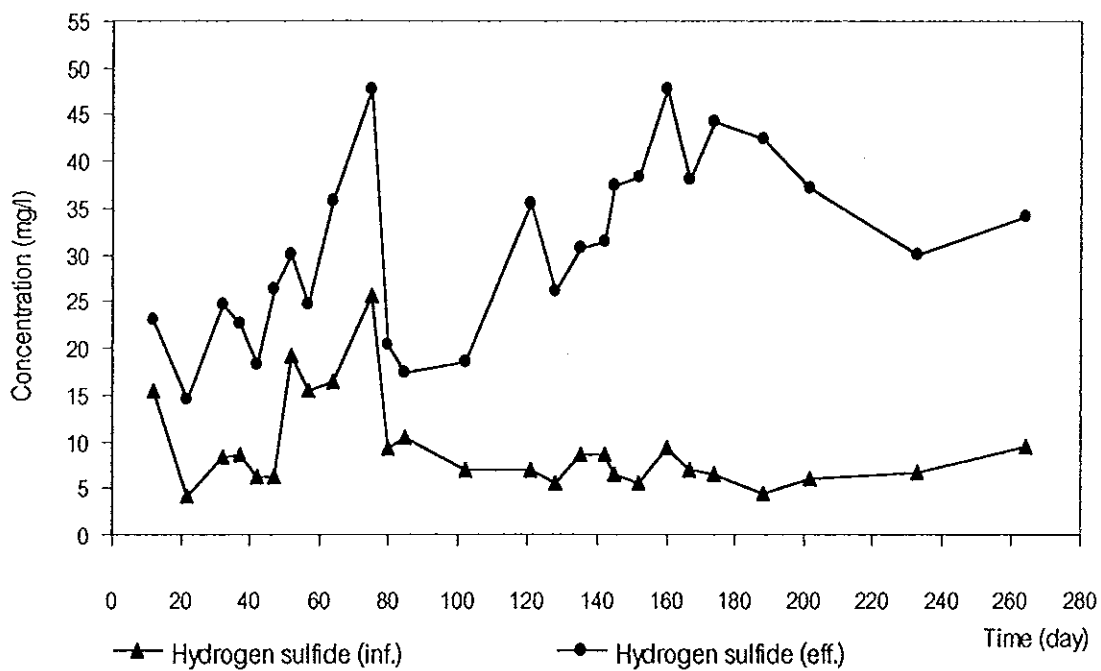
จากการศึกษาระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของซัลไฟด์ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ทั้งหมดระหว่าง 15.6 – 61.4 มิลลิกรัม/ลิตร และความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายอยู่ระหว่าง 10.5 – 49.9 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำเสียผ่านในระบบบ่อไร้อากาศพบว่า มีปริมาณความเข้มข้นของซัลไฟด์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ทั้งหมดและซัลไฟด์ละลายอยู่ระหว่าง 55.4 – 99.3 มิลลิกรัม/ลิตร และ 43.3 – 88.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 18

3.2.2.4 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

จากภาพประกอบ 19 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าสู่ระบบมีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 4.2 – 25.5 มิลลิกรัม/ลิตร และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เมื่อออกจากระบบโดยน้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 14.6 -47.7 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพประกอบ 18 ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดและปริมาณซัลไฟด์ละลายที่เข้าและออกจากระบบบ่อ
ไร้อากาศ HRT 40 วัน



ภาพประกอบ 19 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 40 วัน

จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศที่ภาวะ HRT ที่ 20 วัน และ 40 วัน พบว่าลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบทั้งสองการทดลอง (ตาราง 6) มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และซัลเฟตที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองช่วงแรก ที่ HRT 20 วัน ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบบ่อไร้อากาศมีค่าสูงกว่าในการทดลองหลัง ที่ HRT 40 วัน ค่อนข้างมากคือในภาวะที่ HRT 20 วัน มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ $8,117.48 \pm 589.14$ mg/l และ $2,276.0 \pm 352.43$ mg/l ตามลำดับ ในขณะที่ภาวะ HRT 40 วัน มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ $5,827.15 \pm 934.89$ mg/l และ $1,543.19 \pm 256.54$ mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และซัลเฟตของระบบบ่อไร้อากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม HRT โดยที่ HRT 20 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม SCOD และซัลเฟตมีค่า $24.09 \pm 7.47\%$ และ $54.76 \pm 9.13\%$ ตามลำดับ เมื่อเพิ่ม HRT เป็น 40 วัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม SCOD และ ซัลเฟตก็เพิ่มเป็น $33.25 \pm 2.0\%$ และ $94.55 \pm 1.77\%$ ตามลำดับ

สำหรับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์พบว่าในระบบบำบัดที่ HRT 20 วัน มีการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ ในรูปของซัลไฟด์ทั้งหมด $355.1 \pm 130.52\%$, ซัลไฟด์ละลาย $719.83 \pm 507.43\%$ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ $823.54 \pm 628.86\%$ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นในเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าในระบบบำบัดที่ HRT 40 วัน ที่มีการเพิ่มของซัลไฟด์ทั้งหมด $214.31 \pm 146.44\%$, ซัลไฟด์ละลาย $230.79 \pm 122.56\%$ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ $297.24 \pm 205.97\%$

ตาราง 6 ความเข้มข้นของสารที่เข้าสู่ระบบประสิทธิภาพการบำบัดและการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ในระบบบ่อไร้อากาศที่ HRT 20 วัน และ 40 วัน

HRT (วัน)	SCOD* (mg/l)	SO ₄ ²⁻ * (mg/l)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		การเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ (%)		
			SCOD	SO ₄ ²⁻	TS	DS	H ₂ S
20	$8,117.48 \pm 589.14$	$2,276.00 \pm 352.43$	24.09 ± 7.47	54.76 ± 9.13	355.10 ± 130.52	719.83 ± 507.43	823.54 ± 628.86
40	$5,827.15 \pm 934.89$	$1,543.19 \pm 256.54$	33.25 ± 2.0	94.55 ± 1.77	214.31 ± 146.44	230.79 ± 122.56	297.24 ± 205.97

หมายเหตุ * SCOD = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

SO₄²⁻ = ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

3.2.3 การเกิดก๊าซจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศจำลอง พบว่ามีก๊าซซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศขึ้น จากการสังเกตส่วนบนของบ่อไร้อากาศที่เป็นพลาสติกคลุมไว้เพื่อกักก๊าซมีการพองตัวขึ้น และเมื่อนำก๊าซที่เกิดขึ้นภายในบ่อไร้อากาศในภาวะ HRT 40 วัน ไปทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซในรูปร้อยละของก๊าซต่างๆ ได้แก่ O_2 , N_2 , CO_2 และ CH_4 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน, O_2 (%) อยู่ระหว่าง 2.8 – 17.0 % เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน, N_2 (%) อยู่ระหว่าง 0 – 43.56 % เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์, CO_2 (%) อยู่ระหว่าง 8.99 – 14.38 % และเปอร์เซ็นต์มีเทน, CH_4 (%) อยู่ระหว่าง 38.02 – 73.32 % นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายในบ่อไร้อากาศด้วยวิธี Cadmium sulfide method (Jacobs, 1960) พบว่ามีความเข้มข้นสูงประมาณ 41.60 - 94.47 mg/m^3

3.3 ผลการศึกษาอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์และซัลเฟตในสภาวะจำลองแบบไร้อากาศ

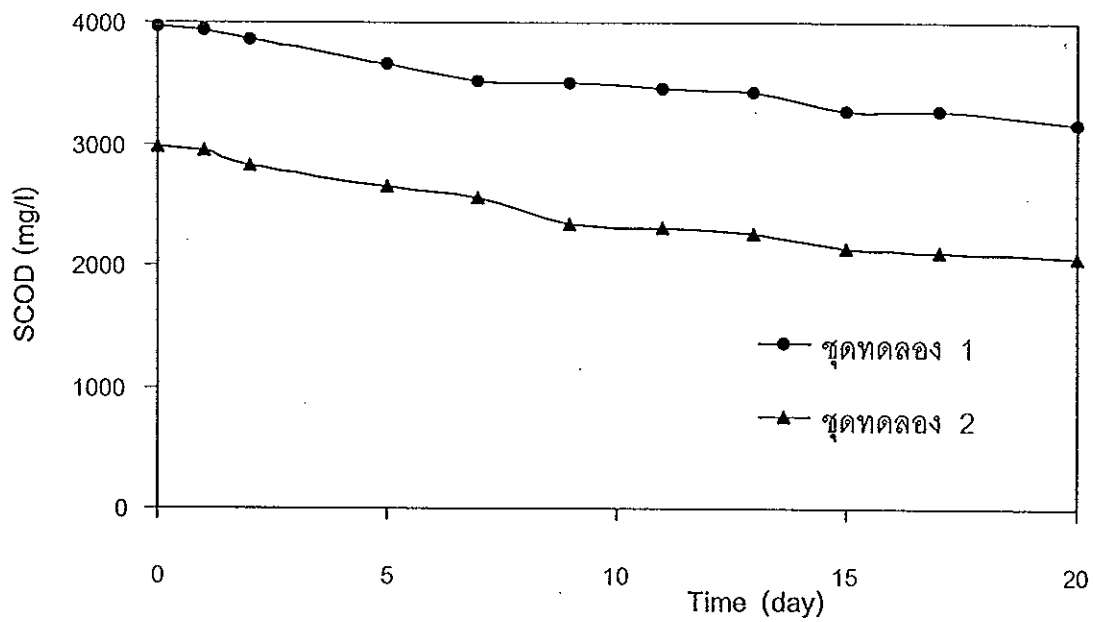
จากการทดลองซึ่งแบ่งเป็น 2 ชุดทดลอง โดยผสมน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศเข้ากับน้ำเสียจากบ่อดักยาง มีอัตราส่วนของปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่อซัลเฟตที่ต่างกันในลักษณะการทดลองแบบ batch test โดย

ชุดทดลอง 1 มีค่าอัตราส่วน $SCOD:SO_4^{2-}$ เท่ากับ 6.9:1 โดยมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD 3,967 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟต 577 มิลลิกรัม/ลิตร

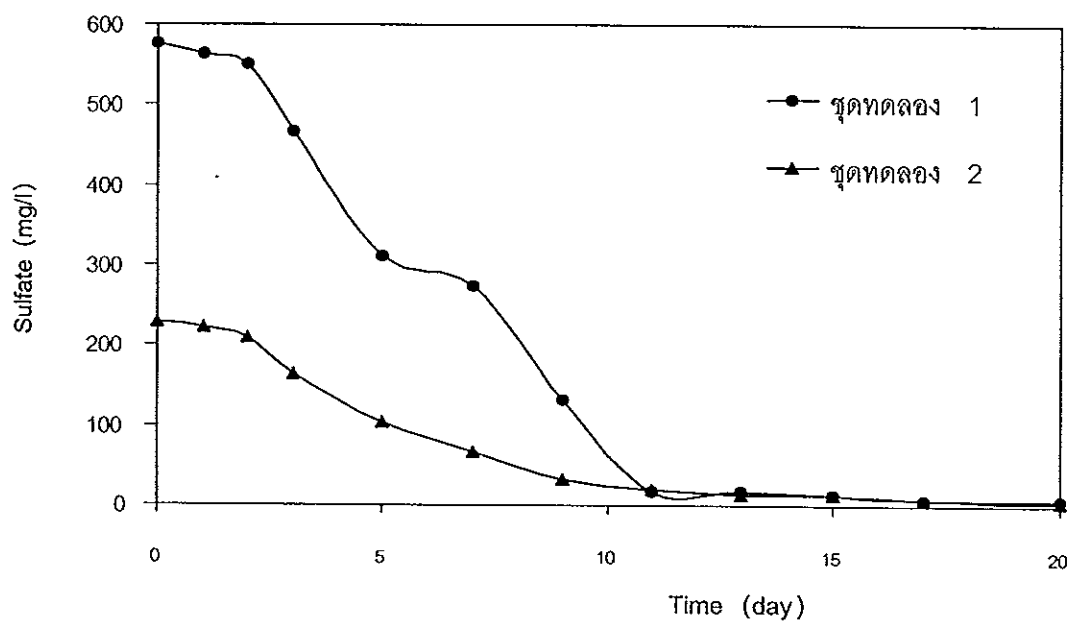
ชุดทดลอง 2 มีค่าอัตราส่วน $SCOD:SO_4^{2-}$ เท่ากับ 13:1 โดยมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD 2,971 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟต 228 มิลลิกรัม/ลิตร

การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD ในชุดทดลอง 1 และชุดทดลอง 2 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยในระยะแรกจะมีการลดลงเร็วกว่าในช่วงหลัง โดยหลังจากวันที่ 9 ของการทดลอง การลดลงของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD ทั้งสองชุดทดลอง จะมีการลดลงน้อยมาก ดังภาพประกอบ 20 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป SCOD ในช่วง 20 วัน ของชุดทดลอง 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 20.37% และ 30.49 % ตามลำดับ สำหรับ

ผ่านไปเช่นเดียวกับปริมาณสารอินทรีย์ โดยในระยะเริ่มต้นการทดลองจนถึงวันที่ 12 ของการทดลอง จะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นความเข้มข้นของซัลเฟตจะมีการลดลงที่น้อยมาก ดังภาพประกอบ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต ในช่วง 20 วัน ของชุดทดลอง 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 99.0% และ 97.75 % ตามลำดับ



ภาพประกอบ 20 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SCOD ในการทดลองแบบ batch test



ภาพประกอบ 21 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซัลเฟต ในการทดลองแบบ batch test

จากการทดลองได้ศึกษาอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ และซัลเฟตภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศ โดยติดตามค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD และซัลเฟต เริ่มต้นแล้วติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในเทอม SCOD และความเข้มข้นของซัลเฟต กับเวลา สามารถนำมาหาอัตราการย่อยสลายในรูปแบบปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (first order reactions) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ (SCOD) และซัลเฟต กับเวลา คือ

$$\text{อัตรา} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -k [A] \quad (1)$$

หรือเขียนในรูปดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation)

$$\frac{d[A]}{dt} = -k [A] \quad (2)$$

หรือ

$$\frac{d[A]}{[A]} = -k dt \quad (3)$$

อินทิเกรต (Integrate) สมการนี้ จะได้

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -k(t - t_0) \quad (4)$$

โดย

$[A]_0$ = ความเข้มข้นของสารที่เวลา = 0 หรือ t_0

$[A]_t$ = ความเข้มข้นของสารที่เวลา = t

t_0 = เวลาเริ่มต้นของปฏิกิริยาซึ่งเท่ากับ 0

k = ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย

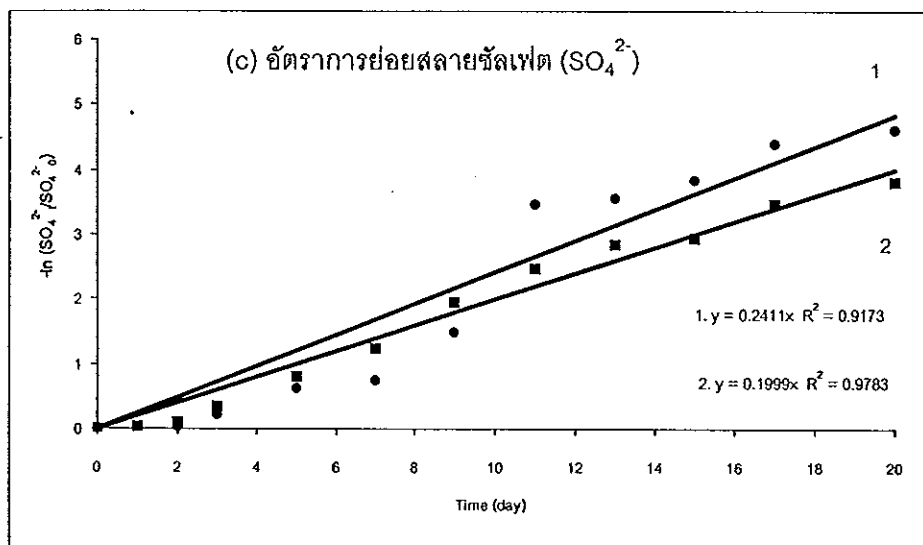
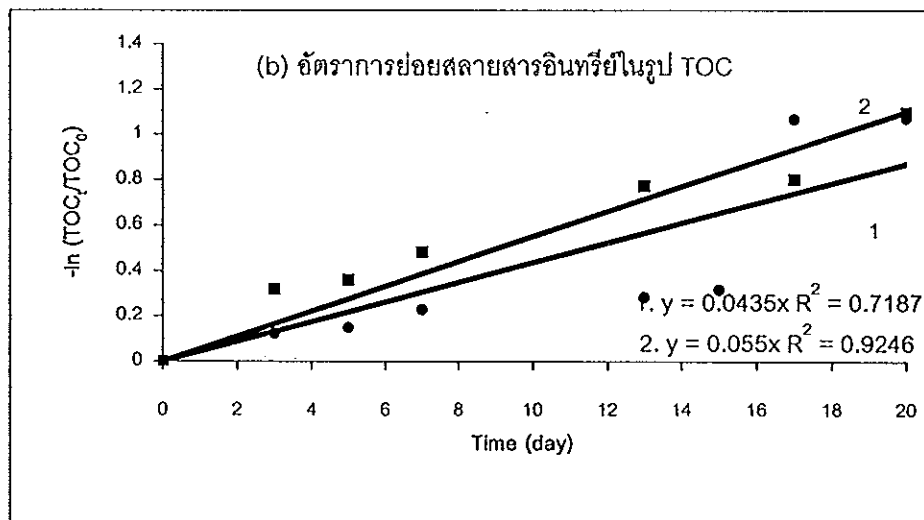
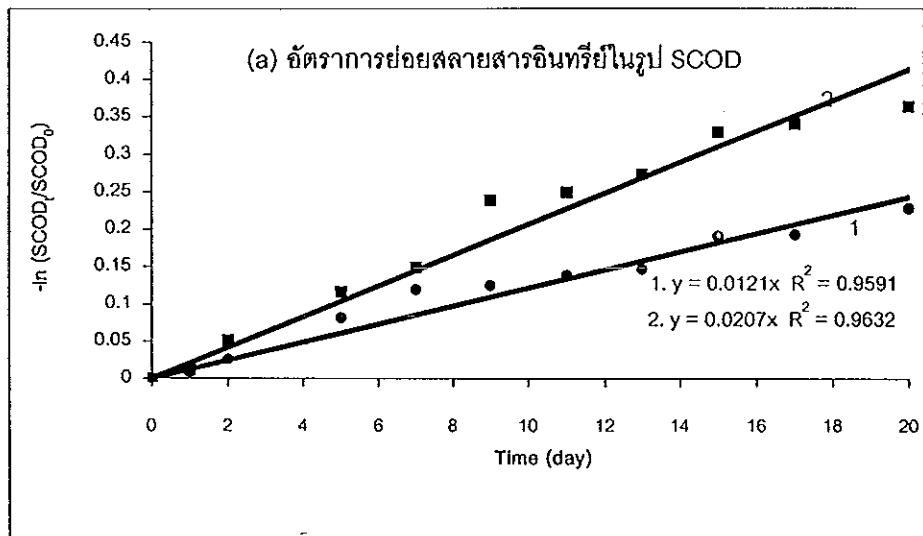
ดังนั้นสมการ (4) จะได้

$$-\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = kt \quad (5)$$

สมการ (5) เป็นสมการเส้นตรง สามารถหาอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ และซัลเฟตได้โดยพลอตกราฟ ความสัมพันธ์ของ $-\ln \frac{[A]_t}{[A]_0}$ กับ เวลา (t) ดังภาพประกอบ 22

พบว่าอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเทอม SCOD และซัลเฟต ภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศของการทดลองแสดงในรูปสมการลำดับที่หนึ่ง มีค่าคงที่อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเทอมของ SCOD ของชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2 มีค่า 0.0121 วัน⁻¹ และ 0.0207 วัน⁻¹ตามลำดับ และค่าคงที่อัตราการย่อยสลายซัลเฟตมีค่า 0.2411 วัน⁻¹ และ 0.1999 วัน⁻¹ สำหรับชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในรูป Total Organic Carbon (TOC) ภายใต้สภาวะแบบไร้อากาศของชุดทดลอง 1 แสดงได้ดังสมการ $Y = 0.0435 X$, $R^2 = 0.7187$ และชุดทดลอง 2 แสดงได้ดังสมการ $Y = 0.055 X$, $R^2 = 0.9246$ ค่าคงที่อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเทอม TOC ของชุดทดลอง 1 และในชุดทดลอง 2 มีค่า 0.0435 วัน⁻¹ และ 0.055 วัน⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าเป็นแนวโน้มเดียวกับการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในเทอมของ SCOD กล่าวคือ ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย (k) ในชุดทดลองที่ 2 จะสูงกว่าในชุดทดลองที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าคงที่อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะที่สัดส่วน สารอินทรีย์ต่อซัลเฟตสูง จะสูงกว่าในภาวะที่สัดส่วน สารอินทรีย์ต่อซัลเฟตต่ำ



ภาพประกอบ 22 (a), (b), (c) การหาอัตราการย่อยสลายของ SCOD, TOC และซัลเฟต
 หมายถึง 1. = ชุดทดลอง 1 2. ชุดทดลอง 2

3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration) ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองทำการศึกษ ปริมาณความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้า และออกจาก biofilter โดยในแต่ละชุดทดลองทำการเก็บตัวอย่างดังนี้

influent คือ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เริ่มให้แก่ biofilter

จุด A คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง H_2S ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง H_2S ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #2

จุด C คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง H_2S ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

จุด C2 คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง H_2S ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงของ H_2S ใน biofilter ของระบบที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง

พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ Biofilter ของระบบนี้มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่าในระบบที่รับก๊าซโดยส่งผ่านทางเส้นท่อคือ มีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง $204.8 - 224.1 \text{ mg/m}^3$ ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงของ H_2S ในการทดลองที่ใช้ตัวกรองต่างกัน 3 ชนิด แสดงในภาพประกอบ 23

3.4.1.1 โยมะพร้าวเป็นตัวกรอง

จากการศึกษการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน biofilter ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นตัวกรอง พบว่าปริมาณก๊าซที่ให้แก่ biofilter ทั้ง 3 โย มีค่าอยู่ระหว่าง $210.8 - 219.6 \text{ mg/m}^3$ และค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจาก biofilter ที่จุด B มีค่าอยู่ระหว่าง $89.8 - 100.9 \text{ mg/m}^3$ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด C และ C2 มีค่าอยู่ระหว่าง $89.0 - 100.5 \text{ mg/m}^3$ และ $51.2 - 67.5 \text{ mg/m}^3$ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด A ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง $0 - 0.07 \text{ mg/m}^3$ แสดงในภาพประกอบ 23 (a)

3.4.1.2 composted material เป็นตัวกรอง

จากการศึกษการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน biofilter ที่ใช้ composted material เป็นตัวกรองพบว่า ปริมาณก๊าซที่ให้แก่ biofilter ทั้ง 3 โย มีค่าอยู่ระหว่าง $204.8 - 209.3 \text{ mg/m}^3$ และค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจาก biofilter ที่จุด B มีค่าอยู่ระหว่าง $73.3 - 75.7 \text{ mg/m}^3$ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด C และ C2

มีค่าอยู่ระหว่าง 71.9 – 82.0 mg/m³ และ 41.6 – 47.9 mg/m³ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด A ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 0-0.07 mg/m³ ดังแสดงในภาพประกอบ 23 (b)

3.4.1.3 โยมะพร้าว ร่วมกับ composted material เป็นตัวกรอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน biofilter ที่ใช้โยมะพร้าวร่วมกับ composted material เป็นตัวกรองพบว่า ปริมาณก๊าซที่ให้แก biofilter ทั้ง 3 โย มีค่าอยู่ระหว่าง 206.3 – 219.7 mg/m³ และค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจาก biofilter ที่จุด B มีค่าอยู่ระหว่าง 79.4 – 93.1 mg/m³ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด C และ C2 มีค่าอยู่ระหว่าง 97.0 – 82.4 mg/l และ 48.2 – 54.2 mg/m³ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด A ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 0 - 0.2 mg/m³ ดังแสดงในภาพประกอบ 23 (c)

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงของ H₂S ใน biofilter ของระบบที่รับก๊าซโดยส่งผ่านทางเส้นท่อ

พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ biofilter ของระบบนี้มีค่าความเข้มข้นที่สูง คือมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 561.5 – 611.0 mg/m³ ซึ่งผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H₂S ในการทดลองที่ใช้ตัวกรองต่างกัน 3 ชนิด แสดงในภาพประกอบ 24

3.4.2.1 โยมะพร้าวเป็นตัวกรอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นตัวกรอง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่ให้แก biofilter ทั้ง 3 โย มีค่าอยู่ระหว่าง 586.1 – 611.0 mg/m³ และค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจาก Biofilter ที่จุด B มีค่าอยู่ระหว่าง 132.1 – 140.4 mg/m³ ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด C และ C2 มีค่าอยู่ระหว่าง 132.5 – 139.0 mg/m³ และ 92.5 – 94.5 mg/m³ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด A ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 0 - 0.07 mg/l ดังภาพประกอบ 24 (a)

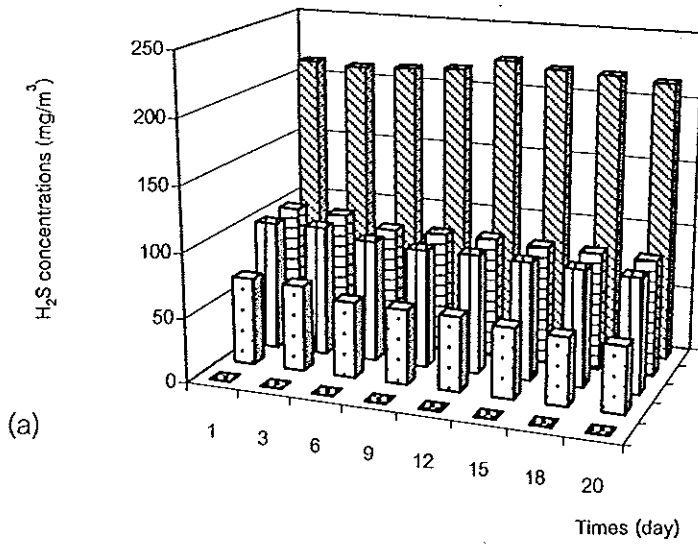
3.4.2.2 composted material เป็นตัวกรอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ใช้ composted material เป็นตัวกรอง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่ให้แก biofilter ทั้ง 3 โย มีค่าอยู่ระหว่าง 561.5 – 591.2 mg/m³ และค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจาก

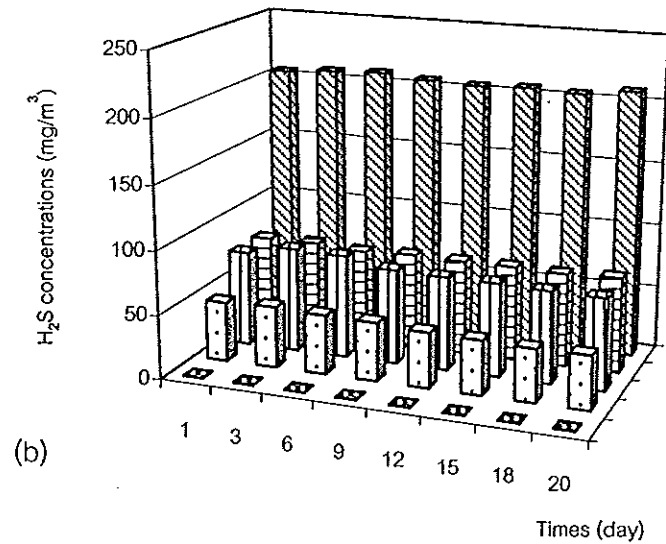
biofilter ที่จุด B มีค่าอยู่ระหว่าง 102.9 – 111.8 mg/m³ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด C และ C2 มีค่าอยู่ระหว่าง 102.4 – 105.9 mg/m³ และ 53.4 – 58.4 mg/m³ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด A ของชุดควบคุมมีค่าระหว่าง 0.15 – 0.3 mg/m³ ดังภาพประกอบ 24 (b)

3.4.2.3 โยมะพร้าว ร่วมกับ composted material เป็นตัวกรอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน biofilter ที่ใช้ โยมะพร้าวร่วมกับ composted material เป็นตัวกรองพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่ให้แก biofilter ทั้ง 3 ไบมีค่าอยู่ระหว่าง 591.2 – 606.7 mg/m³ และค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจาก biofilter ที่จุด B มีค่าอยู่ระหว่าง 112.8 – 123.1 mg/m³ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด C และ C2 มีค่าอยู่ระหว่าง 120.9 – 126.3 mg/m³ และ 63.7 – 68.4 mg/m³ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุด A ของชุดทดลองควบคุม มีค่าระหว่าง 0.15 – 0.3 mg/m³ ดังภาพประกอบ 24 (c)

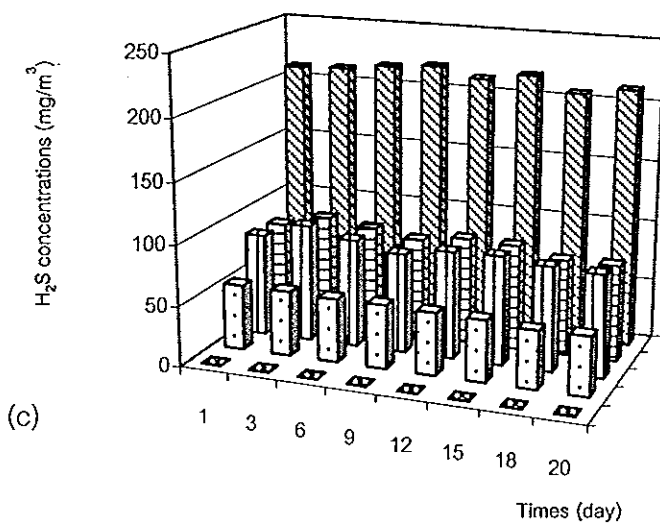


(a)



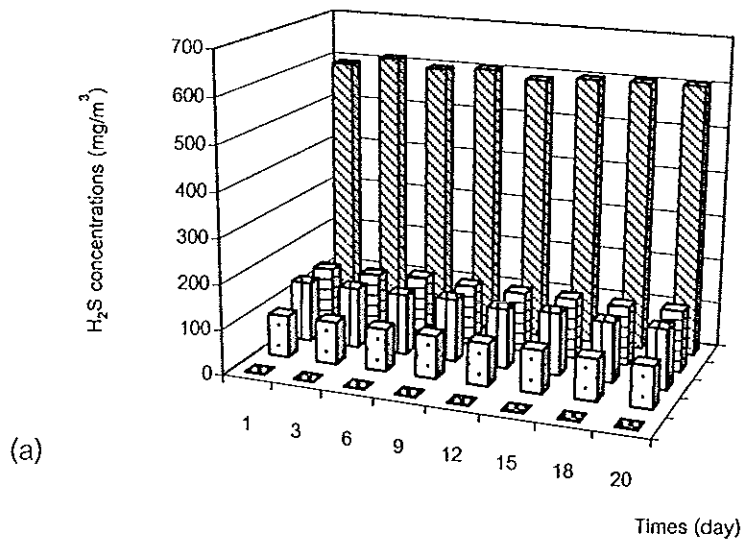
(b)

- ▨ จุด A : ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรอง ในชุดทดลองควบคุม
- จุด C2: ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรอง ใน biofilter#3
- ▤ จุด C: ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรอง ใน biofilter#3
- ▩ จุด B: ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรอง ใน biofilter#2
- ▨ influent

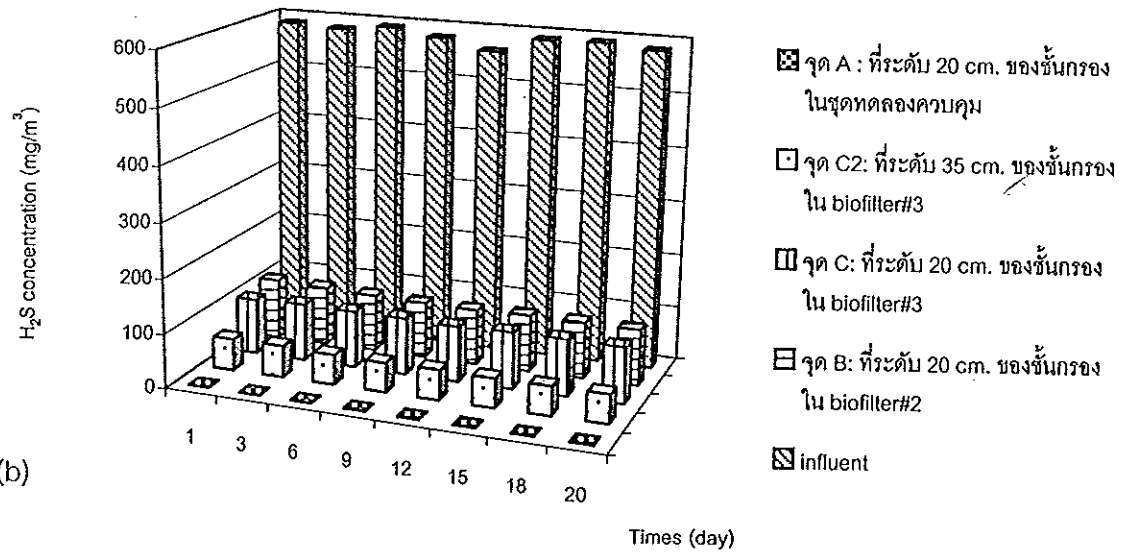


(c)

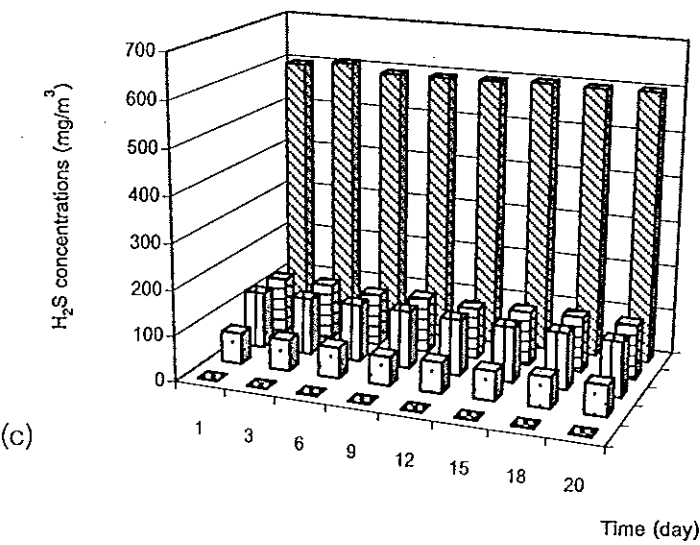
ภาพประกอบ 23 ปริมาณก๊าซ H₂S ใน biofilter ซึ่งใช้โยมะพร้าว (a), composted material (b) และโยมะพร้าว ร่วมกับ composted material (c) เป็นตัวกรอง และเป็นระบบที่รับก๊าซจากน้ำเสียโดยตรง



(a)



(b)



(c)

- ☒ จุด A : ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรอง ในชุดทดลองควบคุม
- ☐ จุด C2: ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรอง ใน biofilter#3
- ▨ จุด C: ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรอง ใน biofilter#3
- ▤ จุด B: ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรอง ใน biofilter#2
- ▧ influent

ภาพประกอบ 24 ปริมาณก๊าซ H₂S ใน biofilter ซึ่งใช้โยมะพร้าว (a) , composted material (b) และโยมะพร้าว ร่วมกับ composted material (c) เป็นตัวกรอง และเป็นระบบที่รับก๊าซโดยส่งผ่านทางเส้นท่อ

3.4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ของระบบที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง

พบว่าการใช้ตัวกรองต่างชนิดกัน ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S ที่แตกต่างกัน และความหนาของชั้นกรองก็มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย (ภาพประกอบ 25) คือ

3.4.3.1 โยมะพร้าวเป็นตัวกรอง

ประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของ biofilter ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นตัวกรอง ที่ระดับความสูง 20 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด B และจุด C พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ค่าเฉลี่ย $56.48 \pm 2.48\%$ และ $56.62 \pm 2.60\%$ ตามลำดับ และเมื่อความสูงของตัวกรอง เพิ่มขึ้นค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ก็เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความสูง 35 cm. ของชั้นกรองที่ จุด C2 มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S เฉลี่ย $72.98 \pm 3.11\%$

3.4.3.2 composted material เป็นตัวกรอง

พบว่า biofilter ที่ใช้ composted material เป็นตัวกรองมีประสิทธิภาพการบำบัด H_2S สูงกว่า biofilter ที่ใช้ตัวกรองชนิดอื่น (โยมะพร้าว และโยมะพร้าวร่วมกับ composted material) โดยประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S ที่ระดับความสูง 20 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด B และจุด C มีค่าเฉลี่ย $63.94 \pm 0.53\%$ และ $63.49 \pm 1.72\%$ ตามลำดับ และเมื่อความสูงของตัวกรองเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของ Biofilter ก็เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความสูง 35 cm. ของชั้นกรองที่ จุด C2 มีค่าเฉลี่ย $78.46 \pm 1.15\%$

3.4.3.3 โยมะพร้าวร่วมกับ composted material เป็นตัวกรอง

พบว่า biofilter ที่ใช้ โยมะพร้าวร่วมกับ composted material เป็นตัวกรองมีค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ที่ระดับความสูง 20 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด B และจุด C มีค่าเฉลี่ย $60.04 \pm 2.11\%$ และ $58.80 \pm 2.32\%$ ตามลำดับ เมื่อความสูงของตัวกรองเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของ biofilter ก็เพิ่มขึ้น ที่ระดับความสูง 35 cm. ของชั้นกรองที่จุด C2 มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S เฉลี่ย $75.77 \pm 0.94\%$

3.4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ให้ก๊าซแกระบบโดยใช้ส่งผ่านก๊าซทางเส้นท่อ

พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวกรองต่างชนิดและความหนาของชั้นกรองที่แตกต่างกัน ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่างกัน (ภาพประกอบ 26) คือ

3.4.4.1 ไยมะพร้าวเป็นตัวกรอง

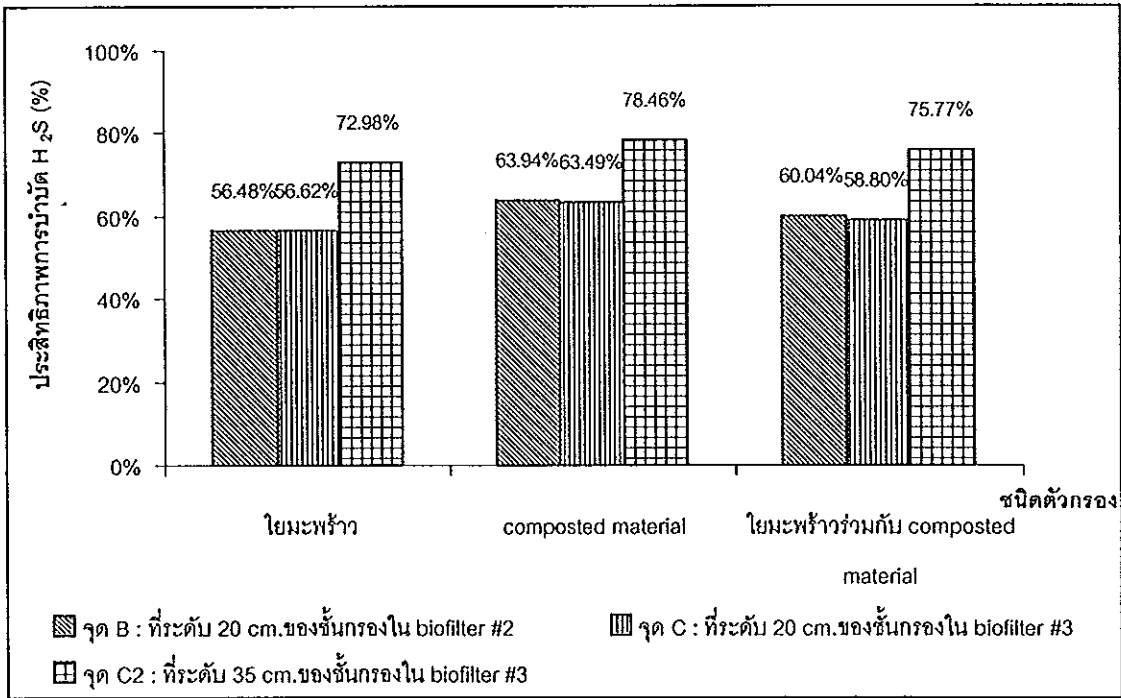
พบว่า biofilter ที่ใช้ไยมะพร้าวเป็นตัวกรองมีประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ต่ำกว่า biofilter ที่ใช้ตัวกรองอื่น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ที่ระดับความสูง 20 cm. ของชั้นกรองที่จุด B และจุด C มีค่าเฉลี่ย $77.56 \pm 0.49\%$ และ $77.51 \pm 0.39\%$ ตามลำดับ เมื่อความสูงของชั้นกรองเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของ biofilter ก็เพิ่มขึ้น คือที่ระดับความสูง 35 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด C2 มีค่าเฉลี่ย $84.38 \pm 0.21\%$

3.4.4.2 composted material เป็นตัวกรอง

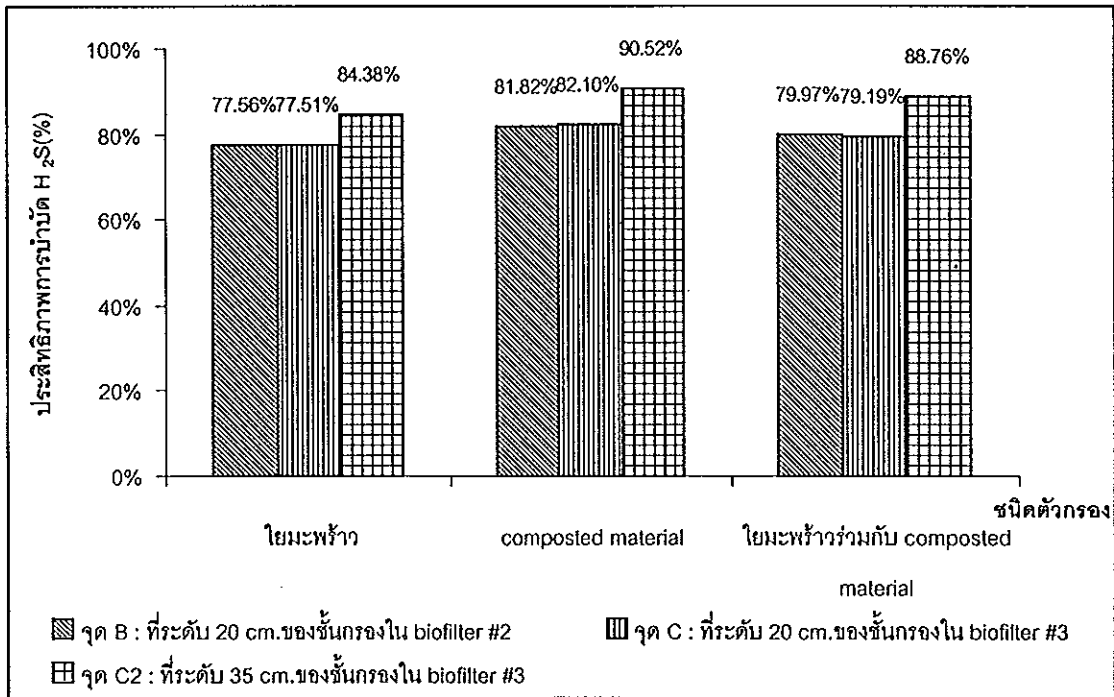
พบว่า biofilter ที่ใช้ composted material เป็นตัวกรองมีประสิทธิภาพการบำบัด H_2S สูงกว่า biofilter ที่ใช้ตัวกรองชนิดอื่น (ไยมะพร้าว และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material) โดยประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S โดยที่ระดับความสูง 20 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด B และ จุด C มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S เฉลี่ย $81.82 \pm 0.47\%$ และ $82.10 \pm 0.25\%$ ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการบำบัด H_2S เมื่อความสูงของตัวกรองเพิ่มขึ้น คือที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด C2 มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S เฉลี่ย $90.52 \pm 0.39\%$

3.4.4.3 ไยมะพร้าวร่วมกับ composted material เป็นตัวกรอง

พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของ biofilter ที่ระดับความสูง 20 cm. ของชั้นกรองที่จุด B และจุด C มีค่าเฉลี่ย $79.97 \pm 0.57\%$ และ $79.19 \pm 0.39\%$ ตามลำดับ และเมื่อความสูงของตัวกรองเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของ biofilter ก็เพิ่มขึ้น คือ ที่ระดับความสูง 35 cm. ของชั้นกรอง ที่จุด C2 มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด H_2S เฉลี่ย $88.76 \pm 0.29\%$



ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ให้ก๊าซแก่ระบบโดยใช้ก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง



ภาพประกอบ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter ที่ให้ก๊าซแก่ระบบโดยใช้ส่งผ่านก๊าซทางเส้นท่อ

บทที่ 4

บทวิจารณ์

4.1 ลักษณะน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น

น้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นเกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนต่างๆ ภายในโรงงานซึ่งในกระบวนการผลิตแต่ละส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันไป จากการศึกษาของ วันชัย แก้วยอด พบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีปริมาณสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ในช่วง 1,825 - 3,766 mg/l และปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วง 1,082 - 3,130 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสีกิมเครพมี BOD_5 ในช่วง 6,533 - 14,566 mg/l และปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วง 456 - 933 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากกระบวนการผลิตในโรงงานที่ศึกษาจะถูกรวมกันเพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดของโรงงาน ซึ่งน้ำเสียรวมของแต่ละโรงงานจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง (ทั้งค่า BOD_5 และ COD) โดยค่า BOD_5 และ COD มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยมีสัดส่วนของค่า BOD_5 ต่อ COD ในน้ำเสียรวมเฉลี่ย 0.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียมีศักยภาพที่จะย่อยสลายได้ทางชีววิธี ในน้ำเสียรวมมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงอยู่ในช่วง 350 - 2,680 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นพวกเศษยางที่ลอยปะปนอยู่ในน้ำเสีย นอกจากนี้ น้ำเสียรวมยังมีปริมาณซัลเฟตที่สูงอยู่ระหว่าง 404 - 2,262 mg/l โดยค่าซัลเฟตที่สูงเกิดจากน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตยางสีกิมเครพ โดยในขั้นตอนการผลิตจะทำการเติมกรดซัลฟูริกเพื่อให้เกิดการจับตัวของเนื้อยางที่อยู่ในทางน้ำยาง โดยจะมีการเติมกรดซัลฟูริกในปริมาณ 6% ของปริมาณทางน้ำยาง น้ำเสียจากกระบวนการนี้จึงมีปริมาณซัลเฟตสูงและมีสภาพเป็นกรด น้ำเสียปริมาณมากที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจากโรงงานน้ำยางข้นซึ่งมีความสกปรกสูง ในทุกโรงงานต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ในโรงงานน้ำยางข้นจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียกลางแจ้งซึ่งอาศัยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ เพื่อลดค่าความสกปรกของน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ลักษณะของน้ำเสียรวมที่มีเนื้อยางปะปนอยู่และมีค่าของแข็งแขวนลอยสูง จำเป็นต้องมีปอดักยางเพื่อลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย โรงงานที่ศึกษาทุกโรงงานมีการสร้างปอดักยางเพื่อเก็บเกี่ยวเนื้อยาง ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของปอดักยางมีค่าที่แตกต่างกันในช่วงที่กว้าง 12 - 90% ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของแต่ละ

จากบ่อดักยางมีปริมาณสูง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบ่อดักยางจะมีความเกี่ยวข้องกับค่า pH ที่เหมาะสมของน้ำเสียก่อนเข้าบ่อดักยาง และการผสมผสานกันของน้ำเสียเป็นสำคัญซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมในการจับตัวของเนื้อเยื่ออยู่ระหว่าง 4.6 - 4.9 (วราภรณ์ ชจรไชยกุล, 2532) โดยค่า pH ของน้ำเสียรวมที่ศึกษาอยู่ในช่วง 3.72 - 7.96 เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางชั้นมีการปล่อยทิ้งในช่วงเวลาที่ต่างกันและปริมาณที่ไม่แน่นอนคือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสก็มเครพในส่วนของบ่อจับตัวของเนื้อเยื่อซึ่งมีค่า pH ต่ำจะมีการปล่อยออกมาเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง ทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่บ่อดักยางส่วนใหญ่มีเฉพาะน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางชั้น และยางแท่งที่มี pH ที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้น้ำเสียรวมก่อนเข้าบ่อดักยางมีค่า pH ที่แตกต่างกัน หากให้มีการผสมกันของน้ำเสียแต่ละกระบวนการผลิต ในสัดส่วนที่เหมาะสมในส่วนของการผลิตยางสก็มเครพกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอื่นๆ ที่ให้ค่า pH เหมาะสม และมีการผสมที่เข้ากันดีก่อนเข้าสู่บ่อดักยางจะทำให้มีการจับตัวของเนื้อเยื่อได้ดี โรงงานสามารถเก็บเกี่ยวบางส่วนนี้เพื่อจำหน่ายได้ในปริมาณมาก และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบ่อดักยางก็จะสูงขึ้น ส่งผลให้สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ออกจากบ่อดักยางได้ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยางพบว่ามีค่าลดลง โดยพบว่าบ่อดักยางมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม BOD_5 และ COD $32.23 \pm 19.37\%$ และ $39.78 \pm 19.23\%$ ตามลำดับ ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากบ่อดักยางควรมีการเก็บในช่วงเวลาที่เหมาะสม คือปริมาณยางที่รวมตัวบนผิวบ่อดักยางมีความหนา และระยะเวลาในการเก็บที่ไม่นานเกินไป เพราะหากปล่อยให้ความหนาของยางบนบ่อมีมากเกินไป อาจส่งเสริมให้เกิดภาวะไร้อากาศในบ่อดักยาง ทำให้มีการย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ขึ้นและทำให้เกิดปัญหาหากลิ้นเหม็น อีกทั้งยังมีผลในการลดประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของบ่อดักยาง จากผลการศึกษาจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากเดิมมาจาก $0 - 8.1$ mg/l เป็น $3.5 - 51.6$ mg/l เพิ่มขึ้นจากเดิมโดยค่าเฉลี่ยประมาณ 10 เท่า ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียเพิ่มขึ้นในช่วง $0 - 45.7$ mg/l และจากค่าการทดสอบกลิ่นของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยางที่มีค่าสูงขึ้นเกือบ 3 เท่าของน้ำเสียก่อนเข้าบ่อดักยาง ในขณะที่บ่อดักยางมีความสามารถในการกำจัดค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียเฉลี่ยเพียง $32.03 \pm 21.99\%$

น้ำเสียที่ออกจากบ่อดักยางยังมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สูง ระบบบ่อไร้อากาศจึงนับว่าเหมาะสมแก่น้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นการบำบัดแบบไร้อากาศสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้ผลผลิตสุดท้ายในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน

ซึ่งการทำงานของระบบในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นแบบชีววิทยา ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแบคทีเรียต่างๆ ร่วมกันภายในระบบ และแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน (MPB) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบเป็นอย่างมาก เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถในการใช้สารอาหารที่จำกัด และดำรงชีวิตในที่ที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้นและมีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมต่ำ หากมีสภาพที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบได้ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ โดยทั่วไปในระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศ (anaerobic pond) จะมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 อยู่ประมาณ 50 - 80% (Sastry, et.al., 1995) ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบบ่อไร้อากาศของโรงงานน้ำยางชั้น มีค่าค่อนข้างต่ำสำหรับประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 และ COD มีช่วงของประสิทธิภาพการกำจัดที่กว้างและมีความแตกต่างกันมากโดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่ต่ำคือ $45.51 \pm 26.02\%$ และ $46.98 \pm 22.43\%$ สำหรับ BOD_5 และ COD ตามลำดับ หากต้องการให้การดำเนินงานของบ่อไร้อากาศของโรงงานมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ควรมีการควบคุมดูแลสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสมได้แก่

- สภาพไร้ออกซิเจน ระบบบำบัดจะต้องอยู่ในสภาพปราศจากออกซิเจน เนื่องจากออกซิเจนไม่เชื่อต่อสภาพการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน จากลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นแบบบ่อไร้อากาศจึงจำเป็นต้องมีระดับความลึกมากพอ ซึ่งค่ากำหนดมาตรฐานของความลึกของบ่อไร้อากาศที่เหมาะสมคือ 2 - 5 เมตร เพื่อให้เกิดสภาพไร้อากาศอย่างแท้จริงที่ส่วนล่างของบ่อ ดังนั้นควรมีการป้องกันการสะสมของตะกอนที่เกิดขึ้นภายในบ่อไร้อากาศ ที่จะส่งผลให้ความลึกและปริมาตรของบ่อลดลง จากการศึกษาพบว่าบ่อไร้อากาศที่ใช้อยู่ในแต่ละโรงงานมักเป็นบ่อที่มีการใช้งานมานานไม่มีการขุดลอกตะกอนกันบ่อ เนื่องจากความยากต่อการดำเนินการ อีกทั้งค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ก็เป็นปัจจัยสำคัญ มีเพียงการดูแลโดยการตักตะกอนที่ลอยอยู่บนบ่อทิ้งบ้างในบางโรงงาน

- พีเอช เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระบบบำบัดทางชีวภาพ ดังนั้นน้ำเสียก่อนจะส่งเข้าระบบต้องปรับพีเอชให้เป็นกลาง เหมาะแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในบ่อไร้อากาศ จากการศึกษาพบว่าน้ำเสียที่ออกจากบ่อดังกล่าวมี pH เป็นกรด ควรมีการปรับ pH ของน้ำเสียให้เป็นเหมาะสมสำหรับระบบบ่อไร้อากาศโดยมีค่าในช่วง 6.6 - 7.5 (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) หาก pH ต่ำจะทำให้มีฝ้าตะกอน (Scum) ลอยขึ้นมา มาก เพราะลักษณะของน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูงและยังมีผลต่อกลิ้นที่เกิดในกระบวนการหมัก หรือหากมี pH ที่สูงกว่า 7.5 - 8.0 จะทำให้แบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (CH_4) มีน้อยและเชื้อง้ำ

และหาก pH สูงขึ้นถึง 9.0 ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์จะไม่ทำงาน จึงควรมีตรวจสอบและการควบคุม pH ในบ่อไร้อากาศอยู่เสมอ สำหรับในบางโรงงานไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบควรมีการดูแลในส่วนนี้เพื่อให้บ่อไร้อากาศทำงานได้ดีขึ้น และในโรงงานที่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อไร้อากาศ โดยการเติมสารเคมีได้แก่ ปูนขาว Ca(OH)_2 ลงในน้ำเสียก่อนเข้าระบบเนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ ซึ่งปูนขาวสามารถก่อให้เกิดตะกอนของสารประกอบต่างๆ ได้เช่น สามารถรวมตัวกับ ซัลเฟตเกิดเป็น CaSO_4 หากมากเกินไปอาจเกิดปัญหาตะกอนสะสมเพิ่มขึ้นภายในระบบ จึงควรมีการควบคุมเติมสารปรับ pH ในปริมาณที่เหมาะสม และควรทำการละลายปูนขาวก่อนเติมในน้ำเสียเพื่อลดการเกิดการสะสมของตะกอน

- อัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวันและระยะเวลาในการกักพัก (organic loading and Hydraulic Retention Time, HRT) โดยจะต้องมีอัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวัน และระยะเวลาในการกักพักที่เหมาะสม ถ้าอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบมากเกินไปทำให้เวลาในการบำบัดสั้นประสิทธิภาพการทำงานของบ่อไร้อากาศก็ไม่ได้ และถ้าเวลาในการบำบัดนานเกินไปตัวบ่อต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้สิ้นเปลือง ซึ่งปริมาณน้ำเสียและความเข้มข้นของมวลสารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อมีความสำคัญต่อความสามารถในการบำบัดของบ่อ

และแม้ว่าระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศจะเป็นระบบที่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงในปริมาณมากได้ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ เป็นระบบที่สามารถนำมาใช้ในการลดปริมาณสารอินทรีย์ขั้นต้น ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชันที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชันที่มีลักษณะเป็นระบบเปิด ก็มีข้อเสียในเรื่องกลิ่นเหม็นที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในบ่อไร้อากาศ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียทำให้เกิดการแพร่กระจายก่อให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนใกล้เคียง กลิ่นที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดแบบ anaerobic โดยหลักๆ คือการเกิด H_2S และ mercaptans (Ramalho, 1977) รวมทั้งก๊าซอื่นๆ บางตัวที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ลักษณะสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อไร้อากาศของโรงงานน้ำยางชันที่หลากหลาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ขึ้นภายในบ่อภายใต้สภาวะไร้อากาศ ทั้งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ และปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสีย เช่น การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพวกไนโตรเจน หรือสารประกอบซัลเฟอร์ เนื่องจากในน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชันมีปริมาณสารประกอบของซัลเฟอร์สูง โดยเฉพาะในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำเสีย ในสภาวะไร้อากาศแบคทีเรียบางชนิด เช่น Sulfate Reducing Bacteria สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์เกิดขึ้นในระบบ พบว่าค่าเปลี่ยนแปลงของ

ค่าปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตในบ่อไร้อากาศมีการลดลงมาก ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของบ่อไร้อากาศสูงอยู่ในช่วง 64% - 98 % (โดยเฉลี่ย $85.16 \pm 11.09\%$) แสดงว่าซัลเฟอร์แบคทีเรียภายในบ่อไร้อากาศสามารถทำงานได้ดี ส่งผลให้มีซัลไฟด์ในระบบเกิดขึ้นในปริมาณมากทั้งในรูปซัลไฟด์ละลาย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งระดับพีเอชในน้ำจะเป็นตัวกำหนดชนิดและความเข้มข้นของซัลไฟด์ ในน้ำที่มีพีเอชต่ำจะพบ H_2S (มีกลิ่นเหม็น) มากที่สุด ส่วนน้ำที่มีพีเอชที่เป็นกลางจะพบอิออนซัลไฟด์ซึ่งไม่มีกลิ่นเหม็น ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นยังสามารถเป็นตัวยับยั้งการทำงานของ MPB ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในระบบได้ พบว่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศมีค่าความเข้มข้นที่ค่อนข้างสูง 2.4 - 48.6 mg/l ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบ่อไร้อากาศในการบำบัดสารอินทรีย์ลดลงดังพบในระบบบ่อไร้อากาศของโรงงานน้ำยางชั้น (ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตสูงกว่าการกำจัดสารอินทรีย์)

ประสิทธิภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ดำเนินการศึกษา ในการลดสารอินทรีย์โดยเฉลี่ยในรูป BOD_5 และ COD ได้สูงถึง $98.22 \pm 1.51\%$ และ $95.54 \pm 3.58\%$ ตามลำดับ และลดของแข็งแขวนลอยโดยเฉลี่ย $85.22 \pm 14.85\%$ แต่เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (BOD_5 , COD) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (ในตารางผนวก 4) พบว่ายังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ตามเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 ปี 2539 นอกจากปัญหาน้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐานแล้วปัญหาที่พบในโรงงานน้ำยางชั้นทุกโรงที่ดำเนินการศึกษา คือปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานด้วยเงื่อนไขที่เป็นระบบเปิดทำให้เกิดการแพร่กระจายของกลิ่นที่เกิดจากการย่อยสลายในบ่อไร้อากาศ ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นเพื่อบรรเทาปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาจึงควรพิจารณาหาทางแก้ไขข้อบกพร่องในระบบบำบัดน้ำเสีย และหาแนวทางพัฒนาเพื่อเสริมศักยภาพของระบบบำบัดน้ำเสียและลดปัญหากลิ่นเหม็น อีกทั้งควบคุมและหาจุดเหมาะสมของปริมาณการใช้วัตถุดิบ และสารเคมีในกระบวนการผลิตเพื่อเป็นลดปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2 ระบบบ่อไร้อากาศในห้องปฏิบัติการ

4.2.1 ลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่บ่อไร้อากาศจำลองในทั้งสองการทดลองจะเป็นน้ำเสียที่ผ่านจากบ่อดักยางของโรงงานน้ำยางชั้น น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในการทดลองช่วงแรกที่ HRT 20 วัน มีความเข้มข้นของ SCOD และซัลเฟตที่สูงกว่า ในการทดลองช่วงที่สองที่ HRT 40 วัน แต่เมื่อ

เปรียบเทียบอัตราส่วน SCOD/SO₄²⁻ เฉลี่ยมีค่าที่ใกล้เคียงกันคือ 3.6 และ 3.8 สำหรับในการทดลองที่ HRT 20 วัน และ 40 วัน ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ทั้งหมดใน influent ของการทดลองที่ HRT 20 (ค่าเฉลี่ย 13.99±3.86 mg/l) มีค่าต่ำกว่าที่ HRT 40 วัน (ค่าเฉลี่ย 31.06±14.06 mg/l) โดยซัลไฟด์เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ในงานวิจัยหลายๆ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียในสภาวะแบบไร้อากาศ ที่มีซัลเฟตที่กล่าวถึงความเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อระบบ มักเป็นการศึกษาในภาวะเริ่มต้นที่มีเฉพาะสารอินทรีย์และซัลเฟตโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ หรือเป็นการศึกษาการเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อระบบ โดยการเติมซัลไฟด์เข้าไปในระบบ ด้วยเหตุนี้ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จะมีข้อจำกัดสำหรับการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน แต่ในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชันที่มีทั้งปริมาณสารอินทรีย์และซัลเฟต รวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆ ที่หลากหลาย ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาจึงจะเป็นของมูลที่น่าจะมีความใกล้เคียงและเหมาะสมให้นำไปใช้ได้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชัน

4.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และซัลเฟต

จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป SCOD และซัลเฟตของบ่อไร้อากาศ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป SCOD และซัลเฟต จะเพิ่มขึ้นเมื่อระบบบำบัดมี HRT สูงขึ้นจาก HRT 20 วันเป็น HRT 40 วัน ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และซัลเฟตที่ HRT 20 วัน มีค่าเฉลี่ย 24.09±7.47% และ 54.76±9.13% ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และซัลเฟตที่ HRT 40 วัน ค่าเฉลี่ย 33.25±2.0% และ 94.55±1.77% ตามลำดับ โดยในระบบบ่อไร้อากาศมีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตได้มากกว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน

ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของทั้งสองการทดลองที่ HRT 20 วัน และ 40 วัน มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศโดยทั่วไป อาจเนื่องมาจากลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบซึ่งน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชันเป็นน้ำเสียที่มีทั้งสารอินทรีย์ และซัลเฟตสูงในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศในสภาวะที่มีซัลเฟตปะปนอยู่ในน้ำเสีย แบคทีเรียพวก Sulfate Reducing Bacteria (SRB) จะย่อยสลายพวกสารอินทรีย์ โดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดเป็นซัลไฟด์ ซึ่งหากเกิดซัลไฟด์ในปริมาณเล็กน้อยจะเป็นผลดีสำหรับ Methane Producing Bacteria (MPB) คือ สามารถเป็นแหล่งซัลเฟอร์ให้แก่ MPB และยังสามารถตกตะกอนโลหะหนักบางตัวที่ละลายอยู่ในน้ำเช่น ทองแดง นิเกิล และ สังกะสี ที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไร้อากาศ (anaerobic organism) ในทางกลับกันหากมีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียสูงก็จะก่อ

ให้เกิดปัญหาในระบบไร้อากาศ เพราะซัลเฟตสามารถรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของ MPB ก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นพิษมีความสามารถในการซึมผ่านเยื่อเซลล์ได้เร็ว และเปลี่ยนลักษณะตามธรรมชาติของโปรตีน ภายในไซโตพลาสซึมเกิดการ cross-link ระหว่าง polypeptide chain (Koster *et al.*, 1986) และทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนลดลง จากการศึกษาของ Parkin *et al.* (1991) ระดับความเข้มข้นของ H_2S และ Dissolved sulfide ที่มีผลต่อการลดความสามารถของ MPB มีค่าประมาณ 110 mg/l และ 350 mg/l ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของ H_2S 50 – 250 mg/l ทำให้เกิดการยับยั้งการเกิดมีเทน 50% (Gilles *et al.*, 1997) จากผลการศึกษาระบบบ่อไร้อากาศ พบว่าค่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลาย และ H_2S ในระบบบ่อไร้อากาศที่ศึกษาค่าความเข้มข้นที่น้อยกว่าค่าจากการศึกษาข้างต้น โดยในระบบบำบัดที่ HRT 20 วัน มีซัลไฟด์ละลาย และ H_2S 11.4 – 69.6 mg/l และ 7.4 - 39.6 mg/l ตามลำดับ และในระบบบำบัดที่ HRT 40 วัน มีซัลไฟด์ละลาย และ H_2S 43.3 – 88.3 mg/l และ 14.6 – 47.7 mg/l ตามลำดับ แต่ก็พบว่าความสามารถในการทำงานของ MPB จากประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างต่ำกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบไร้อากาศทั่วไป และค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนจากการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซที่มีค่าต่ำในช่วงบางช่วงอาจเนื่องจากความสามารถในการทำงานของ MPB ที่ลดลงและมีค่าในช่วงที่แตกต่างกัน โดยองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ HRT 40 วัน อยู่ในช่วง 38.02 – 73.32 %

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศที่มีซัลเฟตในน้ำสูงจากการศึกษาของ Takashi *et al.*, 1999 ได้แก่

- ระดับซัลไฟด์ที่ไม่แตกตัว (undissociate sulfide) ในน้ำเสีย
- อัตราส่วน $COD:SO_4^{2-}$ ใน influent
- อัตราการเติมซัลเฟตต่อวัน (volumetric loading rate of sulfate)

การเพิ่ม HRT เป็นการลดอัตราการเติมสารต่อวัน (volumetric loading rate) ที่เข้าสู่ระบบ โดยที่ HRT 20 วัน จะมีอัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวันเฉลี่ย $0.40 \text{ kg SCOD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ และมีอัตราการเติมซัลเฟตต่อวันเฉลี่ย $0.11 \text{ kg SO}_4^{2-} \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ เมื่อเพิ่ม HRT เป็น 40 วัน จะมีอัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวันเฉลี่ย $0.15 \text{ kg SCOD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ และมีอัตราการเติมซัลเฟตต่อวันเฉลี่ย $0.04 \text{ kg SO}_4^{2-} \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ จึงพบว่าเมื่อภาวะ HRT สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของการทดลองที่ HRT 40 วัน มีค่าสูงกว่าที่ HRT 20 วัน

ตาราง 7 ข้อมูลสรุปของการทดลองที่ HRT 20 วันและ HRT 40 วัน

HRT (day)	SCOD:SO ₄ ²⁻ *	OLR*	SLR*	% Removal	
				SCOD	SO ₄ ²⁻
20	3.6	0.4	0.11	24.09±7.47	54.76±9.13
40	3.8	0.15	0.04	33.25±5.30	94.55±1.77

หมายเหตุ *

SCOD: SO₄²⁻ = Feed SCOD:SO₄²⁻ ratio

OLR = Organic loading rate in kg SCOD m⁻³d⁻¹

SLR = Sulfate loading rate in kg SO₄²⁻ m⁻³d⁻¹

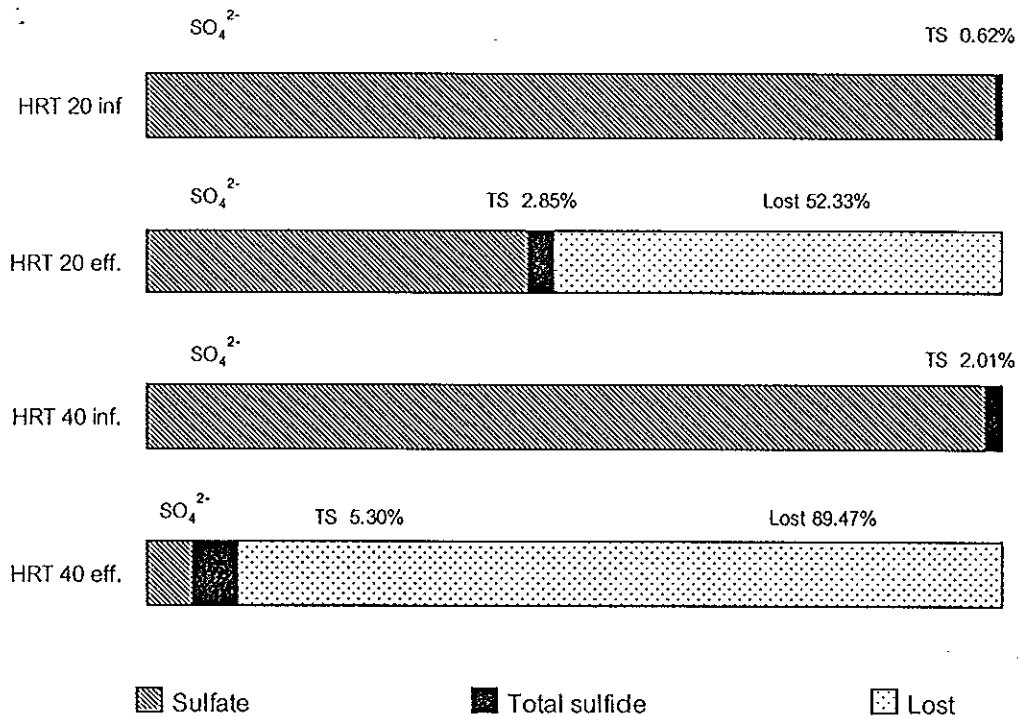
สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตของระบบ คือความสามารถในการเกิดรีดักชันของซัลเฟตซึ่งขึ้นกับการทำงานของ SRB ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีความต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า MPB จากตาราง 7 เมื่อภาวะ HRT สูงขึ้นค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตก็เพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากในสภาพไร้อากาศที่มีซัลเฟตสูง SRB จะสามารถเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ได้ดี โดยพบว่า SRB มีความสามารถในการแย่งชิงอิเล็กตรอนมากกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทน มีความสามารถทางเทอร์โมไดนามิกส์มากกว่า MPB (thermodynamic advance MPB) Mizuno *et al.*,1998 พบว่า SRB มีความสามารถทางเทอร์โมไดนามิกส์มากกว่า MPB จากการศึกษาค่า Gibbs free energy change, $\Delta G'$ สำหรับ SRB และ MPB ในภาวะไร้อากาศ อีกทั้ง SRB มีค่า Half-saturation constant, Ks (ความเข้มข้นของสารประกอบที่จุลินทรีย์สามารถใช้ที่ครึ่งของอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด) น้อยกว่า MPB ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตให้ค่าสูงและมีซัลไฟด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ และ HRT (Mizuno *et al.*,1994) คือหากความเข้มข้นของซัลเฟตใน influent เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตของระบบไร้อากาศจะลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบในการศึกษาระบบบำบัดจำลอง ในการทดลองที่ภาวะ HRT 20 วัน ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีความเข้มข้นสูงกว่าในการทดลองช่วงที่สองที่ HRT 40 วัน มาก คือมีซัลเฟตเข้มข้น 1,812 – 2,863 mg/l ส่วนที่ HRT 40 วัน มีค่า 987 – 2,013 mg/l ทำให้ระบบบำบัดที่ HRT 20 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตต่ำกว่าระบบบำบัดในภาวะที่ HRT 40 วัน และ HRT ที่สูงขึ้นยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเพิ่มขึ้นด้วย

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์

ในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นที่ใช้ป้อนสู่ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียอากาศจะมีสารประกอบซัลเฟอร์ ทั้งในรูปซัลเฟต และซัลไฟด์อยู่ และเมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศซัลเฟตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นซัลไฟด์ ทั้งในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เช่นเกิดเป็นสารประกอบกับโลหะ หรืออยู่ในรูปของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำเป็นซัลไฟด์ไอออนและซัลไฟด์ที่ไม่แตกตัวคือไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีความสามารถที่จะปล่อยสู่บรรยากาศได้ขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของค่าบีโอดี ความดัน พีเอช และอุณหภูมิ

จากผลการทดลองระบบบ่อบำบัดน้ำเสียพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ที่ HRT 20 วัน และ 40 วัน แสดงดังภาพประกอบ 27 โดยที่ HRT 20 วัน ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบจะประกอบด้วยซัลเฟต และซัลไฟด์ทั้งหมดในอัตราส่วนร้อยละ 99.38 และ 0.62 ตามลำดับเมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบในการทดลองที่ HRT 20 วัน น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของซัลเฟตที่สูงกว่าใน HRT 40 วัน โดยเฉลี่ยเกือบสองเท่า ซึ่งความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีผลสำคัญต่อการกำจัดซัลเฟตของระบบ เมื่อความเข้มข้นของซัลเฟตในระบบที่ HRT 20 วัน สูงกว่าในภาวะ HRT 40 วัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตมีค่าน้อยกว่าในภาวะ HRT 40 วัน อีกทั้งในระบบที่ HRT 20 วัน ระยะเวลาในการกำจัดที่น้อยกว่า จึงทำให้สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดยังเหลืออยู่ในปริมาณมากกว่าในระบบที่ภาวะ HRT 40 วัน และพบว่ามีสารประกอบของซัลเฟอร์ที่เหลืออยู่หลังจากการบำบัดที่ภาวะ HRT 20 วัน ร้อยละ 47.67 ของสารประกอบซัลเฟอร์ทั้งหมดก่อนบำบัด โดยอยู่ในรูปซัลเฟต และซัลไฟด์ทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 44.82 และ 2.85 ตามลำดับ และมีส่วนหนึ่งของสารประกอบซัลเฟอร์ที่สูญหายไป (lost) จากกระบวนการบำบัดร้อยละ 52.33 ส่วนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่ HRT สูงขึ้นเป็น 40 วัน มีสารประกอบของซัลเฟอร์ที่เหลืออยู่หลังจากการบำบัดเพียงร้อยละ 10.53 โดยอยู่ในรูปของซัลเฟตร้อยละ 5.24 และในรูปของซัลไฟด์ทั้งหมดร้อยละ 5.30 ของปริมาณสารประกอบซัลเฟอร์ทั้งหมดในน้ำเสียก่อนการบำบัดที่ HRT 40 วัน และปริมาณการสูญหายไปจากกระบวนการบำบัดก็เพิ่มสูงถึงร้อยละ 89.47 ของสารประกอบซัลเฟอร์ทั้งหมดในน้ำเสียก่อนการบำบัด นอกจากนี้ความเข้มข้นของซัลเฟตใน influent และ HRT ยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ในระบบไร้อากาศ กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟตใน influent เพิ่มขึ้นการเกิดซัลไฟด์ก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อ HRT สูงขึ้นการเกิดซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้น (Mizuno *et al.*, 1994) เมื่อพิจารณาในระบบบำบัดที่ HRT 20 วัน ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีปริมาณซัลเฟตสูง เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัด พบว่ามีซัลไฟด์ทั้งหมดถึงร้อยละ 2.85 โดยเพิ่มขึ้นถึง 4.6 เท่าจากซัลไฟด์ทั้งหมดใน influent ที่มีเพียงร้อยละ 0.62 สำหรับในระบบบำบัดที่ HRT 40 วัน ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมี

ความเข้มข้นของซัลเฟตที่ต่ำกว่า เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดพบว่ามีซัลไฟด์ทั้งหมดร้อยละ 5.3 โดยเพิ่มขึ้นเพียง 1.9 เท่าจากซัลไฟด์ทั้งหมดใน influent ที่มีอยู่ร้อยละ 2.01



ภาพประกอบ 27 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ในระบบไร้อากาศ HRT 20 และ 40 วัน

4.3 การทดลอง batch test

อัตราของการเกิดปฏิกิริยาเป็นการศึกษาทางจลนศาสตร์ทางเคมีที่กล่าวถึงการลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลาหรือการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์กับเวลา ทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาใดปฏิกิริยาหนึ่งสามารถเกิดขึ้นเร็วหรือช้าเพียงใด ซึ่งจากผลการทดลอง batch test ในหัวข้อ 3.3 เป็นการศึกษาการย่อยสลายภายใต้ภาวะไร้อากาศของน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้น ที่อุณหภูมิ 25°C โดยมี 2 ชุดทดลองที่อัตราสารอินทรีย์ต่อซัลเฟต (SCOD : SO_4^{2-}) แตกต่างกันคือ ชุดทดลอง 1 ที่มีอัตราส่วน SCOD : SO_4^{2-} ที่ต่ำ (SCOD : SO_4^{2-} = 6.9:1) และชุดทดลอง 2 ที่อัตราส่วน SCOD : SO_4^{2-} ที่สูง (SCOD : SO_4^{2-} = 13:1) โดยมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และซัลเฟต โดยสรุปดังตาราง 8

ตาราง 8 ค่าคงที่และประสิทธิภาพการกำจัดจากการทดลอง batch test

ชุดทดลอง	Specific rate constant (k)			% Removal		
	SCOD	SO ₄ ²⁻	TOC	SCOD	SO ₄ ²⁻	TOC
1 (SCOD:SO ₄ ²⁻ = 6.9:1)	0.0121 วัน ⁻¹	0.2411 วัน ⁻¹	0.0435 วัน ⁻¹	20.4%	98.9%	65.8%
2 (SCOD:SO ₄ ²⁻ = 13:1)	0.0207 วัน ⁻¹	0.1999 วัน ⁻¹	0.055 วัน ⁻¹	30.5%	97.8%	66.7%

การย่อยสลายของซัลเฟต จะเกิดได้ดีกว่า การย่อยสลายของสารอินทรีย์ (SCOD) ทั้งในภาวะที่อัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ต่ำและสูง (SCOD:SO₄²⁻ เท่ากับ 6.9:1 และ 13:1) สอดคล้องกับผลการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียในบ่อไร้อากาศของโรงงานน้ำยางข้น (หัวข้อ 3.1) และข้อมูลจากการศึกษาระบบบำบัดแบบไร้อากาศในห้องปฏิบัติการ (หัวข้อ 3.2) เมื่อพิจารณาจากค่า k ซึ่งเป็นค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายของสารเป็นค่าเฉพาะของแต่ละปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิที่กำหนด ในตาราง 8 จะพบว่าค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย (k) ของ SCOD มีค่าต่ำกว่าอัตราการย่อยสลายของซัลเฟต ทั้งในภาวะที่อัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ต่ำและสูง (ในชุดทดลอง 1 และ 2) จากปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง (1st order reaction) อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีความเกี่ยวข้องกับค่า k และความเข้มข้นของสารตั้งต้น อัตราของปฏิกิริยาลำดับหนึ่งเขียนในรูปของการลดลงของสารตั้งต้นกับเวลาคือ

$$\text{อัตรา} = -k [A]_0$$

ในชุดทดลอง 1 และ 2 ค่า k ของสารอินทรีย์, SCOD เท่ากับ 0.0121 วัน⁻¹ และ 0.0207 วัน⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า k ของซัลเฟตในชุดทดลอง 1 และ 2 จากสมการข้างต้นพบว่าในภาวะที่สารตั้งต้นมีความเข้มข้นเท่ากัน อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์, SCOD จะให้ค่าอัตราของการลดลงที่ต่ำกว่าอัตราการย่อยสลายของซัลเฟต คือการย่อยสลายของสารอินทรีย์จะเกิดช้ากว่า หรืออาจกล่าวได้ว่า ในระยะเวลาที่เท่ากันการลดลงของสารอินทรีย์ จะน้อยกว่าการลดลงของซัลเฟตซึ่งสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการกำจัด (%removal) สารอินทรีย์, SCOD ในชุดทดลอง 1 และ ชุดทดลอง 2 ที่มีค่า 20.4% และ 30.5% ที่มีค่าน้อยกว่าค่าประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของชุดทดลอง 1 และ 2 98.9% และ 97.8% ตามลำดับ

อัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ของน้ำเสียเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระบบไร้อากาศ โดยอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ในขั้นสเตรทจะส่งผลต่อการปฏิสัมพันธ์

(interaction) ระหว่าง SRB (Sulfate reducing Bacteria) และ MPB (Methane Producing Bacteria) ในปี 1990 Parkin *et al.* พบว่าค่าอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ที่สูง ของน้ำเสียที่ใช้ อะซิเตท และโพธิโอเนตเป็นขั้วสเตรทจะเกิดการสร้างมีเทนเป็นหลัก และที่ค่าอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ที่น้อยกว่า 10 การรีดักชันซัลเฟตและการเกิดมีเทนจะถูกยับยั้ง และ SRB มีความสามารถในการแย่งชิงขั้วสเตรท อันได้แก่ ไฮโดรเจน, อะซิเตท (Yada *et al.*, 1987), Benzoate ได้ดีกว่า MPB

ภายใต้อัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ที่สูง แสดงถึงปริมาณซัลเฟตต่อปริมาณสารอินทรีย์ ในน้ำเสียน้อยกว่าทำให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระบบเกิดได้ดี แต่หากอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ มีค่าต่ำลง แสดงถึงปริมาณซัลเฟตในระบบที่มากขึ้นทำให้สามารถเกิดการรีดักชันของซัลเฟตโดย SRB เกิดซัลไฟด์ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของ MPB มีผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบมีค่าลดลง ในการศึกษาของ Mizuno *et al.* (1994) ถึงอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศของ Butyrate โดยใช้อัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ในช่วง 1.5 – 148 พบว่า เมื่อลดอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ จาก 148 – 1.5 อัตราการเกิดมีเทนจะลดลงจาก 82% เป็น 13% อีกทั้งทำให้การไหลของอิเล็กตรอนของ MPB จะลดลงจาก 98% เป็น 34% ในภาวะที่มีซัลเฟตสูงหรือ อัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ต่ำ จะส่งผลให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์ลดลง ดังในผลการทดลอง batch test ค่า k ของ SCOD ในชุดทดลอง 1 มีค่าต่ำกว่าค่า k ของชุดทดลอง 2 ที่มีอัตราส่วน SCOD:SO₄²⁻ ที่สูงกว่า มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (% removal) ในชุดทดลอง 1 มีค่าน้อยกว่าชุดทดลอง 2

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปฏิภิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และซัลเฟตของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชันภายใต้สภาวะไร้อากาศสามารถเกิดได้พร้อมๆ กัน ในลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบ competition

4.4 ระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในภาวะที่มีปริมาณซัลเฟต และสารอินทรีย์สูง ก่อให้เกิดซัลเฟตรีดักชันทำให้มีซัลไฟด์เกิดขึ้นในระบบ โดยเฉพาะก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นพิษมีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย และหากเปลี่ยนสู่ภาวะก๊าซในบรรยากาศก็แพร่กระจายส่งกลิ่นเหม็นรบกวน มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของสิ่งมีชีวิต จากการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นมากในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ ทั้งในระบบบำบัดของโรงงานน้ำยางชันจากผลการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย และจากการ

สำรวจโดยรอบพื้นที่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น อีกทั้งจากการศึกษาระบบบำบัดน้ำบำบัดไร้อากาศจำลองในห้องปฏิบัติการจากการที่มีการกักก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ พบว่ามีก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศพบว่า มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในความเข้มข้นที่ค่อนข้างสูง จึงควรมีการบำบัดเพื่อลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ โดยทดลองใช้ระบบการกรองทางชีวภาพเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบในภาวะเงื่อนไขต่างๆ

4.4.1 วิธีการให้ก๊าซแก่ระบบ

การศึกษากำหนดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยนำวิธีการกรองทางชีวภาพมาใช้ในการบำบัด จากผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยวิธีการป้อนก๊าซแก่ระบบที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ ในระบบที่มีวิธีการป้อนก๊าซโดยระบบรับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง ซึ่งน้ำเสียที่ใช้เพื่อให้เกิดก๊าซแก่ระบบเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อไร้อากาศแล้ว จึงพบว่ามีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในช่วง $204.8 - 224.1 \text{ mg/m}^3$ ที่ต่ำกว่า ในวิธีการที่เป็นระบบที่รับก๊าซโดยส่งผ่านทางเส้นท่อ เนื่องจากก๊าซที่ส่งมาทางเส้นท่อ เป็นก๊าซที่เกิดในบ่อไร้อากาศที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตสูง ส่งผลให้มีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงด้วยคือ ในช่วง $561.5 - 611.0 \text{ mg/m}^3$ จะพบว่านอกจากวิธีการให้ก๊าซที่ต่างกันแล้วปริมาณก๊าซที่ป้อนให้ในแต่ละวิธีก็มีปริมาณที่ต่างกัน สำหรับวิธีการให้ก๊าซแก่ระบบที่แตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพของ biofilter ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็มีค่าที่ต่างกัน ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในวิธีการที่ระบบรับก๊าซจากน้ำเสียโดยตรง มีค่าต่ำกว่าในระบบที่รับก๊าซที่ส่งผ่านทางเส้นท่อ อาจเนื่องจากในระบบที่รับก๊าซจากน้ำเสียโดยตรงนั้นในส่วนล่างของตัว biofilter บรรจุน้ำเสียที่สามารถเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศมีการผลิตก๊าซเกิดขึ้น และมีการปลดปล่อยสู่บรรยากาศเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เป็นผลให้มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำกว่าวิธีการที่ระบบรับก๊าซที่ส่งผ่านทางเส้นท่อ ซึ่งการให้ก๊าซที่ต้องใช้ปั๊มส่งก๊าซเข้าระบบไม่มีการเกิดก๊าซขึ้นอย่างต่อเนื่อง

4.4.2 ชนิดของตัวกรอง

สำหรับการใช้ตัวกรอง (media) ที่แตกต่างกันก็มีผลต่อประสิทธิภาพที่ต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า biofilter ที่ใช้ composted material เป็นตัวกรองให้ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงกว่า biofilter ที่ใช้โยมะพร้าว และ biofilter ที่ใช้โยมะพร้าวร่วมกับ

composted material เป็นตัวกรอง เนื่องจาก composted material เป็นตัวกรองที่มีลักษณะมีพื้นที่ผิวมากโอกาสที่จะเกิดการ adsorption/absorption และเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก็มีมากด้วย อีกทั้งตัว composted material ยังเป็นมีสมบัติแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ คือมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์สูง (high organic matter content) เชื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Todd and Frederick, 1992) ขณะที่ไยมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองมีเป็นไยมะพร้าวแห้ง ซึ่งมี organic matter content ที่น้อยกว่าใน composted material และลักษณะของไยมะพร้าวเมื่อบรรจุในชุดกรองจะทำให้มีช่องว่างภายใน biofilter ที่มากกว่า composted material ที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อบรรจุในชุดกรองทำให้มีช่องว่างภายในน้อย ดังนั้นชุดกรองที่ใช้ไยมะพร้าวเป็นตัวกรองจะมีช่องว่างภายในชั้นกรองมาก ทำให้ก๊าซที่ป้อนเข้าระบบผ่านไปง่ายเป็นการลดโอกาสในการเกิด adsorption/absorption และ oxidation ภายในชุดกรอง จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำกว่า

4.4.3 ความสูงของชั้นกรอง

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อระดับความสูงของชั้นกรองเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter จะเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จุดเก็บตัวอย่าง C2 ของ biofilter ที่ความสูง 35 เซนติเมตรของชั้นกรองจะมีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำกว่าที่จุด C ใน biofilter เดียวกัน และจุด B biofilter ที่มีความสูง 20 เซนติเมตรของชั้นกรอง การที่ความสูงของชั้นกรองเพิ่มขึ้นก็เป็นการเพิ่มระยะเวลาที่ก๊าซผ่านตัวกรอง การเกิดปฏิกิริยาในตัวกรองเพิ่มขึ้นทำให้ก๊าซถูกบำบัดเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับความสูงของชั้นกรองสำหรับชุดกรองที่ระดับความสูงของชั้นกรอง 20 เซนติเมตร, 35 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร (ระยะจากจุด C ถึง จุด C2) ค่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อหน่วยความสูงของชั้นกรอง ดังตาราง 9 ซึ่งค่าอัตราส่วนสำหรับชุดกรองในแต่ละความสูงของชั้นกรองมีค่าอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความสูงของตัวกรอง ประเภทไยมะพร้าว, composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material ในช่วงความสูงของชั้นกรองที่ 20 เซนติเมตรแรก มีค่าในช่วง 2.82 – 3.88 %/cm., 3.17 – 4.10 %/cm. และ 2.94 – 4.0 %/cm. ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความสูงของตัวกรองประเภทไยมะพร้าว, composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material ในช่วงความสูงของชั้นกรองที่ 35 เซนติเมตร มีค่าในช่วง 2.09 –

2.41 %/cm., 2.24 – 2.59 %/cm. และ 2.16 – 2.54 %/cm. ตามลำดับ และจากผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังการบำบัดด้วยระบบการกรองทางชีวภาพยังมีค่าความเข้มข้นของในช่อง 41.6 - 94.47 mg/m³ (27.73-62.98 ppm) ซึ่งยังเป็นช่วงค่าความเข้มข้นที่สูงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยค่าความสามารถในการรับรู้กลิ่นของ H₂S ของแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกันโดยในช่วง 0.025 - 0.1 ppm ไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลต่อสุขภาพ คือ หากมีการหายใจเอาไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้หมดสติ ที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และตา ควรหลีกเลี่ยงการหายใจก๊าซนี้สู่อ่างกายค่า Threshold Limit Value (TLV) มีค่าเท่ากับ 10 ppm

ตาราง 9 ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของ H₂S ต่อหน่วยความสูงของชั้นกรอง

วิธีการป้อนก๊าซ	โยมะพร้าว			composted material			โยมะพร้าวร่วมกับ composted material		
	C/h ^a * (%/cm.)	C/h ^b * (%/cm.)	C/h ^c * (%/cm.)	C/h ^a * (%/cm.)	C/h ^b * (%/cm.)	C/h ^c * (%/cm.)	C/h ^a * (%/cm.)	C/h ^b * (%/cm.)	C/h ^c * (%/cm.)
น้ำเสียโดยตรง	2.83	2.09	2.52	3.19	2.24	2.73	2.97	2.16	2.74
ผ่านเส้นท่อ	3.88	2.41	2.04	4.10	2.59	3.17	3.98	2.54	3.06

หมายเหตุ *

C/h^a = เปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของ H₂S ต่อหน่วยความสูงของชั้นกรองสำหรับตัวกรองที่ระดับความสูง 20 cm.

C/h^b = เปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของ H₂S ต่อหน่วยความสูงของชั้นกรองสำหรับตัวกรองที่ระดับความสูง 35 cm.

C/h^c = เปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของ H₂S ต่อหน่วยความสูงของชั้นกรองสำหรับตัวกรองที่ระดับความสูง 15 cm. (ระยะจากจุด C ถึงจุด C2)

4.5 การนำมาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นที่มีปริมาณซัลเฟตสูง มาจากกระบวนการผลิตยางสกีเมครพ ส่วนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งจะมีปริมาณซัลเฟตน้อย ดังนั้นอาจทำการบำบัดน้ำเสีย โดยแยกส่วนของน้ำเสียจากยางสกีเมครพที่มีปริมาณซัลเฟตสูง กับ

น้ำเสียจากส่วนอื่นๆ อาจทำการบำบัดน้ำเสียจากที่มีซัลเฟตสูงด้วยปฏิกิริยาอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของซัลเฟต และที่ส่วนบนติดตั้งระบบการกรองทางชีวภาพสำหรับลดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นซึ่งระบบการกรองทางชีวภาพอาจใช้ composted material เป็นตัวกรองสำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว นำไปบำบัดต่อร่วมกับน้ำเสียจากส่วนของกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและยางแท่ง โดยนำน้ำเสียมารวมกันเพื่อผ่านระบบบำบัดแบบชีววิธีเป็นระบบ stabilization ponds ของโรงงานน้ำยางชั้น ซึ่งจะให้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดอากาศของโรงงานน้ำยางชั้นจะมีอัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นกว่าเดิม ส่งผลให้การวัดกั้นซัลเฟตเป็นซัลไฟด์เกิดน้อยลง ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาบำบัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์และกลิ่นได้ส่วนหนึ่ง

อย่างไรก็ตามแนวทางที่กล่าวมาข้างต้น ควรมีการทดสอบในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดใหญ่กว่าการศึกษาทดลองครั้งนี้ (pilot scale) เพื่อจะได้ทราบ design criteria ที่เหมาะสมเพื่อนำไปออกแบบระบบบำบัดของจริงต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์และซัลเฟตสูง ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นมักประกอบด้วยระบบบ่อไร้อากาศ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในเทอม BOD_5 เท่ากับ $41.51 \pm 26.02\%$ และประสิทธิภาพในการกำจัดในเทอม COD เท่ากับ $46.98 \pm 22.43\%$ และประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเท่ากับ 85.16% ในภาวะไร้อากาศน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงจะเกิดการรื้อดักชั้นเกิดซัลไฟด์และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นพิษและมีกลิ่นเหม็น
2. จากการศึกษาาระบบบ่อไร้อากาศในห้องปฏิบัติการเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น ในภาวะที่แตกต่างกันของระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (Hydraulic Retention Time, HRT) พบว่าในภาวะ HRT 20 วัน ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในเทอมของ SCOD และซัลเฟตเฉลี่ย $24.09 \pm 7.47\%$ และ $54.76 \pm 9.13\%$ ตามลำดับ ในภาวะ HRT 40 วันประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในเทอมของ SCOD และซัลเฟต เฉลี่ย $33.25 \pm 2.0\%$ และ $94.55 \pm 1.77\%$ ตามลำดับ และยังพบว่าในกระบวนการบำบัดแบบบ่อไร้อากาศมีการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น และพบว่ามีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นด้วย ค่าความเข้มข้นระหว่าง $7.4 - 47.7$ มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ค่าคงที่ทางจลนศาสตร์สำหรับการย่อยสลาย (k) ของสารอินทรีย์และซัลเฟต จากการทดลอง batch test ในภาวะการทดลองที่ 1 อัตราส่วน $SCOD:SO_4^{2-} = 6.9:1$ ได้ค่า k ของ SCOD เท่ากับ 0.0121 วัน^{-1} และค่า k ของ SO_4^{2-} เท่ากับ 0.2411 วัน^{-1} ในภาวะการทดลองที่ 2 อัตราส่วน $SCOD:SO_4^{2-} = 14:1$ ได้ค่า k ของ SCOD และ SO_4^{2-} เท่ากับ 0.0207 วัน^{-1} และ 0.1999 วัน^{-1} ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และซัลเฟตของน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นภายใต้ภาวะไร้อากาศสามารถเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน ในลักษณะความสัมพันธ์แบบ competition
4. จากการศึกษาการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบการกรองทางชีวภาพ (biofiltration) ในเงื่อนไขการทดลองที่ต่างกันของ วิธีการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบ ชนิดของตัวกรอง และความสูงของ

ชั้นกรอง พบว่าความสามารถในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะแตกต่างกันเมื่อใช้ตัวกรองต่างชนิดกัน โดยประสิทธิภาพในการบำบัดของ biofilter ที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรงที่ความสูงของชั้นกรอง 20 เซนติเมตร สำหรับตัวกรองไยมะพร้าว composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material มีค่าเฉลี่ย 56.55 %, 63.72 % และ 59.42 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการบำบัดของ biofilter ที่รับก๊าซที่ส่งผ่านทางเส้นท่อ ที่ความสูงของชั้นกรอง 20 เซนติเมตร สำหรับตัวกรองไยมะพร้าว composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material มีค่าเฉลี่ย 77.54 %, 81.96 % และ 79.58 % ตามลำดับ และเมื่อความสูงของชั้นกรองเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ biofilter เพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความสูงของตัวกรองประเภทไยมะพร้าว, composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material โดยคิดในช่วงความสูงของชั้นกรองที่ 20 เซนติเมตรแรก มีค่าในช่วง 2.82 – 3.88 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร 3.17 – 4.10 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร และ 2.94 – 4.0 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความสูงของตัวกรองประเภทไยมะพร้าว, composted material และไยมะพร้าวร่วมกับ composted material โดยคิดในช่วงความสูงของชั้นกรองที่ 35 เซนติเมตร มีค่าในช่วง 2.09 – 2.41 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร, 2.24 – 2.59 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร และ 2.16 – 2.54 เปอร์เซ็นต์/เซนติเมตร ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการหรือแนวทางในการลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกหรือศึกษาเกี่ยวกับสารเร่งเสริมให้เกิดการจับตัวของเนื้อยางในกระบวนการผลิตยางสกิม เพื่อเป็นการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น
2. ศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัย pH ความชื้น ความสูงของชั้นกรอง ที่เหมาะสมระบบ biofiltration เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น
3. ศึกษาชนิดของวัสดุที่จะใช้เป็นตัวกรองในระบบระบบ biofiltration โดยควรเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติไม่ก่อมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม และมีในท้องถิ่นรวมถึงความเหมาะสมด้านค่าใช้จ่ายและอายุการใช้งานของตัวกรอง สำหรับการประยุกต์ใช้ในการบำบัดกลิ่นของระบบบำบัดน้ำเสีย

บรรณานุกรม

- แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์. 2539. การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไว้
อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง, วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรบัณฑิต สาขาการ
จัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เกรียงศักดิ์ อุดสินโรจน์. 2533. วิศวกรรมกรรมการบำบัดน้ำเสีย เล่ม 1 พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ :
มิตรนราการพิมพ์
- คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.).
2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย (ปรับปรุงครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ.
- จรรยา อินทมณี. 2540. "การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชันโดยวิธีการย่อยสลายแบบ
ไร้อากาศ". ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มันลิน ตันทลเวศม์. 2525. การออกแบบขั้นกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา.
กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2532. การผลิตยางธรรมชาติ. ศูนย์วิจัยยางสงขลา. สถาบันวิจัยยาง
กรมวิชาการเกษตร.
- วันชัย แก้วยอด. 2540. "การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง : กรณีศึกษาในจังหวัด
สงขลา", วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์.
- วิลาวัณย์ อัจจิมากุล. 2529. กระบวนการสร้างและสลายของจุลินทรีย์. สงขลา: ภาควิชา
ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า. 2542. "สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทยปี 2542".

กรุงเทพฯ : กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์

อาภรณ์ รักเกิด. 2542. "การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัดไนโตรเจนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวะประเภทเกาะผิว", วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

APHA, AWWA and WPCF, 1995, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th edition, American Public Health Association, Washington D.C.

Corbitt, A. 1989. Standard Handbook of Environmental Engineering. New York : McGraw-Hill.

Elke, G., Werner, H. and Christian, M. 1996. "Biological sulfate removal from tannery wastewater in a two-stage anaerobic treatment", Wat.Res. 30, pp 2072 - 2078.

Geoffrey, A. 1990. Odor Control : Completing the Composting Process. International Process system, Inc.

George, A. S., Francis, L. S., Paul, J. S., Makram, T.S., Pratim, B. and Richard, C.B. 1994. "Biofilter treat contaminated air", Wat.Env.Tech. pp. 50-54.

Gilles, P., Nicolas, B. and Rene, M. 1997. "Start-up of anaerobic digestion of sulfate wastewater", Bioresource Technology. 61, pp. 21-27.

Jacobs, M.B. 1960. The Chemical Analysis of Air Pollutants. New York : Interscience Publ.Inc.

Hinrich, B. 1992. "Consider biofiltration for decontaminating gases ", Chem.Eng.Prog. 88, pp.34-40.

- Kabdasli, I. and Tunay, O. 1993. "Treatment of sulfate containing wastewater using barium salts", J. Water Science and Technology. 28, pp. 257-265.
- Koster, I. W., Rinzema, A., Deveg, A. L. and Lettinga, G. 1986. "Sulfide inhibition of the methanogenic activity of granular sludge at various pH-levels". Wat. Res., 20, pp. 1561-1567.
- Maree, J.P., Hulse, G., Dods, D. and Schutte, C.E. 1991. "Pilot plant studies on biological sulphate removal from industrial effluent", J. Water Science and Technology. 23, pp.1293-1300.
- Maree, J.P. and Hill, E. 1989. "Biological removal of sulfate from industrial effluents and concomitant production of sulfur", J. Water Science and Technology. 21, pp.265-276.
- Marshall, S. 1981. Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals. Newjersey : Noyes Publication.
- Metcalf, G.T. and Eddy, L.B. 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. 3rd .ed Singapore : Mc Graw Hill.
- Mizuno, O., Li, Y. and Noike, T. 1994. "Effects of sulfate concentration and sludge retention time on the interaction between methane production and sulfate reduction for butyrate", J. Water Science and Technology. 30, pp.45-54.
- Mizuno, O., Li, Y. and Noike, T. 1998. "The behavior of sulfate-reducing bacteria in acidogenic phase of anaerobic digestion", Wat. Res. 32, pp.1326-1634.

- Nora, G. 1996. "Odor control experiences: lessons from the biofilter", Biocycle, 36, pp.70-75.
- Parkin G. F., Lynch, N.A., Kuo, W.C., Van Keuren, E.L. and Bhattacharya, S.K. 1990. "Interaction between sulfate reducers and methanogens fed acetate and propionate." Research journal WPCE, 62, pp. 780-788.
- Parkin G. F., Sneve, M.A. and Loos, H. 1991. "Anaerobic filter treatment of sulfate containing wastewaters", J. Water Science and Technology, 23, pp.1283-1291.
- Praviz, A., Justin D.G., Frank D.A. and Harold J.G. 1997. "Innovative biofilter controls odors", Biocycle, pp.69-76.
- Philip, L.C. 1967. Microbiology 2nd. W.B. Saunders company.
- Ramalho, R.S. 1977. Introduction to Wastewater Treatment Process. New York: Press Inc.
- Stern, A. 1962. Air Pollution volume 1. New York.
- Takashi, Y., Hideki, H.; Tomoaki, H.; Shinichi, Y. and I-Cheng, T. 1999. "Process behavior of UASB reactor treating a wastewater containing high strength sulfate" Wat.Res. 33, pp. 3182-3190.
- Todd, O. W. and Frederick, C. M. 1992. "Odor control using biofilters", Biocycle, 33, pp. 73-77.

Warren, J. S. and Raymond, C. L. 1997. "Biofiltration: fundamentals, design and operations principles and applications", J. Environmental Engineering, pp.529-545.

Yoda M., Kitagawa M., and Miyagi Y. 1987. "Long term competition between sulfate-reducing and methane-producing bacteria for acetate in anaerobic biofilm." Wat. Res., 21, pp. 1547-1556.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางผนวก 1 ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมยางพารา 1988

วันที่ 23 มิถุนายน 2542

Parameter	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
pH	3.76	5.22	7.33	7.92
DO(mg/l)	-	-	1.5	2
Temperature(°C)	31	31	29	32
BOD ₅ (mg/l)	2,450	2,000	1,550	150
COD(mg/l)	4,760	2,856	2,475	762
SS(mg/l)	1,246	387	227	164
Sulfate(mg/l)	1,487	1,307	43.8	10.5
Total sulfide(mg/l)	ND*	38	41	3
Dissolved sulfide(mg/l)	ND*	25.6	32	ND*
Hydrogen sulfide(mg/l)	ND*	24.8	14.3	ND*
Odor (T.O.N)	183	1,000	750	8

- หมายเหตุ จุดที่ 1 : น้ำเสียรวมของโรงงาน
 จุดที่ 2 : น้ำเสียจากบ่อดักยาง
 จุดที่ 3 : น้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศบ่อสุดท้าย
 จุดที่ 4 : น้ำทิ้ง
 ND* : ค่าต่ำกว่า 1 mg/l

ตารางผนวก 2 ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานถาวรอุตสาหกรรมยางพารา 1982

Parameter	จุดที่ 1		จุดที่ 2		จุดที่ 3		จุดที่ 4	
	23/6/42	10/9/42	23/6/42	10/9/42	23/6/42	10/9/42	23/6/42	10/9/42
pH	6.85	5.81	2.36	2.69	5.43	6.24	6.87	6.07
DO(mg/l)	-	1.5	-	2.0	2.1	0.5	-	10.5
Temperature(°C)	29.8	28.0	30.5	29.0	30.0	30.0	29.0	28.5
BOD ₅ (mg/l)	4,250	5,250	2,900	2,050	400	1,120	115	13
COD(mg/l)	11,424	10,296	5,712	2,574	1,238	1,980	152	594
SS(mg/l)	2,680	1,820	320	243	153	260	67	100
Sulfate(mg/l)	1,711	1,884	1337	932	48	40	38	16
Total sulfide(mg/l)	2.8	ND*	11.8	24.1	21.3	35.5	1.4	ND*
Dissolved sulfide(mg/l)	2.1	ND*	11.3	12.9	19.0	21.3	ND*	ND*
Hydrogen sulfide(mg/l)	ND*	ND*	11.3	12.9	18.0	16.9	ND*	ND*
Odor (T.O.N)	229	185	435	600	583	990	8	4

หมายเหตุ จุดที่ 1 : น้ำเสียรวมของโรงงาน
 จุดที่ 2 : น้ำเสียจากบ่อดักยาง
 จุดที่ 3 : น้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศบ่อสุดท้าย
 จุดที่ 4 : น้ำทิ้ง
 ND* : ค่าต่ำกว่า 1 mg/l

ตารางผนวก 3 ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานเอ็กซ์เซลรับเบอร์

Parameter	จุดที่ 1					จุดที่ 2					จุดที่ 3					จุดที่ 4				
	6/23/42	7/15/42	8/25/42	9/10/42	9/15/42	6/23/42	7/15/42	8/25/42	9/10/42	9/15/42	6/23/42	7/15/42	8/25/42	9/10/42	9/15/42	6/23/42	7/15/42	8/25/42	9/10/42	9/15/42
pH	6.14	7.08	5.86	5.24	7.96	4.99	5.00	5.24	5.57	5.26	7.36	7.29	7.45	7.73	7.66	7.06	7.40	7.61	8.66	9.08
DO(mg/l)	-	3.6	3.5	4.2	2.8	-	1.3	6.0	2.8	3.0	1.1	0.6	0.7	1.0	0.5	3.1	13.0	10.0	9.5	14.0
Temperature(°C)	30.0	28.0	30.0	30.0	30.5	31.5	29.5	29.0	30.0	30.0	30.5	28.0	30.0	31.5	30.0	29.5	29.0	30.0	31.0	31.0
BOD ₅ (mg/l)	3,575	5,000	2,538	3,900	4,000	2,300	3,900	2,212	3,600	2,562	2,000	1,800	2,037	500	1,280	116	40	21	46	20
COD(mg/l)	8,568	6,829	4,854	7,227	7,920	6,664	5,854	3,883	5,148	4,009	3,332	2,732	2,524	812	1,604	190	390	155	168	103
SS(mg/l)	1,373	1,647	520	1,195	1,453	627	613	275	745	564	180	140	180	360	125	60	37	37	26	32
Sulfate(mg/l)	1,789	404	414	1,063	815	1456	398	290	773	510	31	52	54	114	74	7	19	13	6	2
Total sulfide(mg/l)	1.3	ND*	5.3	ND*	5.3	11.7	24.3	22.2	14.4	14.4	26.0	30.7	40.8	22.2	40.4	1.2	ND*	ND*	ND*	ND*
Dissolved sulfide(mg/l)	1.1	ND*	ND*	ND*	ND*	11.0	22.5	21.3	11.5	13.3	22.6	29.8	40.6	20.1	16.9	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Hydrogen sulfide(mg/l)	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	10.8	20.4	20.3	10.9	12.5	11.3	10.4	9.7	9.2	2.4	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Odor (T.O.N)	334	284	470	173	243	767	800	900	478	853	792	694	933	565	533	10	4	2.8	2	2

หมายเหตุ จุดที่ 1 : น้ำเสียรวมของโรงงาน
 จุดที่ 2 : น้ำเสียจากบ่อดักยาง
 จุดที่ 3 : น้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศบ่อสุดท้าย
 จุดที่ 4 : น้ำทิ้ง
 ND* : ค่าต่ำกว่า 1mg/l

ตารางผนวก 4 ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานจะนะน้ำยาง

Parameter	จุดที่ 1			จุดที่ 2			จุดที่ 3			จุดที่ 4		
	6/21/42	9/8/42	9/15/42	6/21/42	9/8/42	9/15/42	6/21/42	9/8/42	9/15/42	6/21/42	9/8/42	9/15/42
pH	4.91	6.98	4.62	5.08	5.38	5.29	7.31	6.75	6.38	8.78	9.32	8.74
DO(mg/l)	4.8	1.5	4.5	1.5	2.0	2.0	0.2	0.6	0.2	>20	9.0	11.0
Temperature(°C)	31.0	33.0	32.0	30.0	31.0	31.0	33.0	31.0	30.0	36.0	30.0	30.5
BOD ₅ (mg/l)	3,400	4,000	8,200	1,913	2,775	3,200	485	1,455	2,500	106	39	80
COD(mg/l)	6,435	8,613	12,177	3,960	3,069	4,200	1,485	2,138	3,643	396	281	271
SS(mg/l)	550	2,120	936	160	220	308	184	150	244	160	192	208
Sulfate(mg/l)	1,631	503	1,112	319	483	437	25	145	159	21	47	31
Total sulfide(mg/l)	3.7	1.2	6.1	15.1	51.6	49.8	26.8	56.0	72.2	1.4	ND*	ND*
Dissolved sulfide(mg/l)	3.0	ND*	ND*	12.8	51.1	39.1	21.4	52.8	60.9	0.7	ND*	ND*
Hydrogen sulfide(mg/l)	2.9	ND*	ND*	12.1	47.5	34.8	3.9	48.6	45.7	ND*	ND*	ND*
Odor (T.O.N)	184	195	211	304	634	495	251	708	419	13	3	3

หมายเหตุ จุดที่ 1 : น้ำเสียรวมของโรงงาน

จุดที่ 2 : น้ำเสียจากบ่อดักยาง

จุดที่ 3 : น้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศบ่อสุดท้าย

จุดที่ 4 : น้ำทิ้ง

ND* : ค่าต่ำกว่า 1mg/l

ตารางผนวก 5 ผลวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานหลอมอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

Parameter	จุดที่ 1				จุดที่ 2				จุดที่ 3				จุดที่ 4			
	6/21/42	7/15/42	9/8/42	9/15/42	6/21/42	7/15/42	9/8/42	9/15/42	6/21/42	7/15/42	9/8/42	9/15/42	6/21/42	7/15/42	9/8/42	9/15/42
pH	3.72	4.58	4.87	6.52	4.34	4.69	3.68	4.28	6.87	6.73	6.92	6.60	9.34	7.95	10.19	9.40
DO(mg/l)	7.1	2.6	2.2	1.8	2.2	1.2	1.5	0.8	0.3	0.6	0.5	0.5	19.0	19.0	8.5	13.0
Temperature (C)	33	31	31	30	30	30	30	30	31	32	31	30	32	30.5	31	30
BOD ₅ (mg/l)	5,325	6,450	3,200	5,650	3,088	4,500	2,400	4,300	1115	2,850	2,087	1,725	96.5	74	58	70
COD(mg/l)	9,405	9,756	7,326	7,672	4,950	7,805	4,059	6,385	1,580	4,000	2,970	2,713	376.2	351	424	307
SS(mg/l)	350	650	1,170	673	126.7	305	995	592	133.3	160	240	224	190	133	172	220
Sulfate(mg/l)	2262	551	1,678	677	947	392	1,280	505	69.1	111	136	141	35.1	69	16	16
Total sulfide(mg/l)	3.1	ND*	8.1	1.5	21.4	3.5	17.0	16.4	28.1	57.3	62.1	57.8	0.9	3.2	1.5	ND*
Dissolved sulfide(mg/l)	1.1	ND*	ND*	ND*	18.8	3.2	15.6	1.5	23.7	56.0	61.1	18.3	0.3	ND*	1.3	ND*
Hydrogen sulfide(mg/l)	1.1	ND*	ND*	ND*	ND*	3.2	15.6	ND*	22.5	31.9	28.8	11.7	ND*	ND*	ND*	ND*
Odor (T.O.N)	152.2	460	353	176	274.1	750	646	516	433.3	650	630	401	8.7	9	2	2

หมายเหตุ จุดที่ 1 : น้ำเสียรวมของโรงงาน
 จุดที่ 2 : น้ำเสียจากบ่อดักยาง
 จุดที่ 3 : น้ำเสียที่ออกจากบ่อไร้อากาศบ่อสุดท้าย
 จุดที่ 4 : น้ำทิ้ง
 ND* : ค่าต่ำกว่า 1mg/l

ตารางผนวก 6 ค่า pH,SS, SCOD และซัลเฟต ของน้ำเสียจากปอไร่อากาศในภาวะ HRT 20 วัน

day	pH in.	pH eff.	SS in. (mg/l)	SS eff. (mg/l)	%removal	SCOD in. (mg/l)	SCOD eff. (mg/l)	%removal	sulfate in. (mg/l)	sulfate eff. (mg/l)	%removal
14	4.85	6.71	475	260	45.26	8,526	5,880	31.03	2,730	1,170	57.1
16	4.63	6.32	690	297	56.96	9,016	6,207	31.16	2,620	1,215	53.6
17	4.29	6.43	453	290	35.98	9,212	5,880	36.17	2,410	1,245	48.3
18	4.38	6.58	627	230	63.32	8,624	5,880	31.82	2,673	1,281	52.1
19	4.71	6.62	573	290	49.39	8,428	6,403	24.03	2,333	1,167	50.0
20	4.63	6.52	460	240	47.83	8,722	6,207	28.84	2,768	1,207	56.4
24	6.92	6.72	780	285	63.46	8,660	5,888	32.01	2,684	1,416	47.2
25	6.97	6.82	833	225	72.99	8,448	5,376	36.36	2,737	1,437	47.5
26	6.97	6.82	700	333	52.43	8,448	5,888	30.30	2,863	1,479	48.3
27	6.9	6.8	790	293	62.91	8,352	6,528	21.84	2,537	1,489	41.3
31	6.93	6.88	760	260	65.79	8,301	7,143	13.95	2,069	1,248	39.7
40	6.98	6.87	730	280	61.64	8,173	6,410	21.57	2,010	1,102	45.2
45	7.01	6.92	690	220	68.12	8,333	6,322	24.13	2,144	897	58.2
49	7.03	6.9	560	253	54.82	8,095	6,095	24.71	2,153	898	58.3
54	7.1	6.92	620	267	56.94	7,414	6,717	9.40	2,069	861	58.4
61	6.98	6.92	740	227	69.32	7,184	5,173	27.99	1,903	1,005	47.2
67	7.01	6.93	640	193	69.84	7,443	5,980	19.66	1,860	870	53.2
73	7.11	6.93	680	207	69.56	7,558	6,072	19.66	1,853	863	53.4
78	7.03	7.04				7,692	6,004	21.94	1,869	601	67.8
82	7.02	7.04	690	247	64.20	7,807	6,691	14.29	1,812	535	70.5
90	6.94	6.96	870	287	67.01	7,588	6,226	17.95	2209	632	71.4
93	6.98	6.84	787	224	71.54	7,647	5,948	22.22	2023	672	66.8
95	7.03	6.82	760	228	70.00	7,031	6,120	12.96	2019	654	67.6

ตารางผนวก 7 ค่า ซัลไฟด์ทั้งหมด ซัลไฟด์ละลาย และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของน้ำเสียจากบ่อบำบัดอากาศ
ในภาวะ HRT 20 วัน

day	TS in. (mg/l)	TS eff. (mg/l)	การเพิ่ม (mg/l)	DS in. (mg/l)	DS eff. (mg/l)	การเพิ่ม (mg/l)	H2S in. (mg/l)	H2S eff. (mg/l)	การเพิ่ม (mg/l)
14	8.60	63.40	54.80	4.80	20.50	15.70	4.80	14.80	10.00
16	9.40	67.80	58.40	4.60	13.50	8.90	4.60	10.80	6.20
17	10.60	60.20	49.60	6.30	15.60	9.30	6.30	11.70	5.40
18	13.10	49.90	36.80	2.00	11.40	9.40	2.00	7.40	5.40
19	13.50	59.40	45.90	2.70	51.40	48.70	2.70	39.60	36.90
20	11.80	68.90	57.10	7.30	13.60	6.30	7.30	9.50	2.20
24	18.30	50.40	32.10	10.20	44.30	34.10	4.80	24.80	20.00
25	19.40	50.70	31.30	11.10	45.70	34.60	5.20	25.10	19.90
26	14.60	57.30	42.70	11.10	45.30	34.20	4.20	23.10	18.90
27	19.90	79.90	60.00	5.80	69.60	63.80	1.70	39.00	37.30
31	19.40	61.30	41.90	3.20	60.90	57.70	1.70	27.40	25.70
40	14.10	60.20	46.10	3.30	28.30	25.00	1.80	14.40	12.60
45	11.90	58.30	46.40	7.20	30.90	23.70	3.90	13.60	9.70
49	13.10	62.30	49.20	3.10	41.90	38.80	1.80	21.80	20.00
54	12.20	57.50	45.30	6.10	38.20	32.10	3.70	16.80	13.10
61	11.90	58.00	46.10	5.90	49.30	43.40	3.20	21.70	18.50
67	9.90	58.80	48.90	3.70	53.50	49.80	2.00	23.60	21.60
73	11.30	58.30	47.00	5.50	56.70	51.20	3.40	24.90	21.50
78	10.70	54.20	43.50	10.30	49.80	39.50	5.90	30.40	24.50
82	11.70	63.20	51.50	9.80	44.40	34.60	5.60	27.10	21.50
90	22.80	49.60	26.80	11.50	40.60	29.10	5.73	20.70	14.97
93	17.50	81.50	64.00	13.80	60.80	47.00	5.50	32.20	26.70
95	16.15	66.11	49.96	12.45	55.70	43.25	5.50	30.60	25.10

ตารางผนวก 8 ค่า pH, SS, SCOD และซัลเฟต ของน้ำเสียจากบ่อบำบัดอากาศในภาวะ HRT 40 วัน

day	pH in.	pH eff.	SS in. (mg/l)	SS eff. (mg/l)	%removal	SCOD in. (mg/l)	SCOD eff. (mg/l)	%removal	sulfate in. (mg/l)	sulfate eff. (mg/l)	%removal
12	7.02	7.11	446	195	56.28	4,718	3,584	24.04	1,054	105.5	89.99
22	7.1	7.31	470	220	53.19	4,556	3,462	24.01	987	85	91.39
32	7.04	6.91	500	237	52.60	5,017	3,547	29.30	1,394	61.1	95.62
37	6.92	7.08	340	207	39.12	5,579	3,580	35.83	1,454	63.4	95.64
42	7.03	7.11	364	158	56.59	5,037	3,643	27.68	1,429	60.6	95.76
47	6.82	6.76	248	156	37.10	5,125	3,562	30.50	1,382	62.83	95.45
52	6.82	6.85	292	143	51.03	5,187	3,482	32.87	1,170	65.4	94.41
57	7.13	7.1	240	140	41.67	5,364	3,486	35.01	1,507	135	91.04
64	7.21	7.01	243	125	48.56	4,883	3,594	26.40	1,875	41.5	97.79
75	6.84	6.77	415	110	73.49	6,666	3,793	43.10	1,888	105	94.44
80	7.03	7.2	255	125	50.98	5,370	3,693	31.23	1,753	101	94.24
85	7.01	7.21	280	120	57.14	5,596	3,758	32.84	1,872	103	94.50
102	6.97	7.21	340	140	58.82	5,790	3,860	33.33	1,912	124.5	93.49
121	7.08	6.68	400	170	57.50	8,116	4,087	49.64	2,013	154	92.35
128	7.03	6.74	290	115	60.34	8,778	5,338	39.19	1,716	67.5	96.07
135	6.98	6.81	270	127	52.96	5,966	3,891	34.78	1,332	70	94.74
142	7.06	6.81	295	125	57.63	6,202	4,109	33.75	1,434	78.7	94.51
145	7.12	6.74	288	170	40.97	6,013	4,157	30.87	1,538	53.6	96.51
152	7.09	6.79	260	150	42.31	5,905	3,976	32.67	1,412	80.2	94.32
160	7.14	6.68	325	157	51.69	6,031	4,047	32.90	1,562	85.5	94.53
167	7.09	6.59	305	162	46.89	6,060	4,062	32.97	1,532	64	95.82
174	7.04	6.56	305	160	47.54	6,168	4,094	33.63	1,533	61.6	95.98
188	7.08	6.68	310	158	49.03	6,055	3,985	34.19	1,657	59.4	96.42
202	7.05	6.76	255	145	43.14	5,512	3,582	35.01	1,442	89.2	93.81
233	7.16	6.81	265	158	40.38	5,620	3,682	34.48	1,594	76.4	95.21
264	7.04	6.74	290	143	50.69	6,192	4,071	34.25	1,681	97.2	94.22

ตารางผนวก 9 ค่า ซัลไฟด์ทั้งหมด ซัลไฟด์ละลาย และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของน้ำเสียจากบ่อไร้อากาศ
ในภาวะ HRT 40 วัน

day	TS in. (mg/l)	TS eff. (mg/l)	การเพิ่ม (mg/l)	DS in. (mg/l)	DS eff. (mg/l)	การเพิ่ม (mg/l)	H2S in. (mg/l)	H2S eff. (mg/l)	การเพิ่ม (mg/l)
12	42.00	65.40	23.40	34.00	60.90	26.90	15.50	23.10	7.60
22	35.40	55.40	20.00	10.45	53.80	43.35	4.20	14.60	10.40
32	39.00	59.70	20.70	18.73	49.40	30.67	8.20	24.70	16.50
37	27.60	57.90	30.30	16.78	56.29	39.51	8.50	22.50	14.00
42	20.60	59.80	39.20	14.35	47.90	33.55	6.30	18.20	11.90
47	25.75	63.12	37.37	11.30	45.90	34.60	6.30	26.20	19.90
52	46.95	75.54	28.59	34.00	57.70	23.70	19.00	30.00	11.00
57	38.90	64.10	25.20	38.50	61.80	23.30	15.40	24.70	9.30
64	61.40	91.50	30.10	45.20	79.40	34.20	16.30	35.70	19.40
75	60.20	93.50	33.30	49.90	88.30	38.40	25.50	47.70	22.20
80	57.20	87.30	30.10	24.30	69.70	45.40	9.20	20.20	11.00
85	44.90	93.30	48.40	26.10	57.60	31.50	10.40	17.30	6.90
102	35.90	85.90	50.00	15.90	61.20	45.30	6.80	18.40	11.60
121	28.20	93.40	65.20	16.30	56.40	40.10	6.80	35.50	28.70
128	19.70	92.70	73.00	12.50	43.30	30.80	5.50	26.00	20.50
135	20.70	88.10	67.40	17.80	54.70	36.90	8.40	30.60	22.20
142	21.10	82.40	61.30	20.00	56.00	36.00	8.40	31.40	23.00
145	20.90	97.40	76.50	17.00	61.90	44.90	6.50	37.20	30.70
152	20.00	84.10	64.10	12.60	68.20	55.60	5.50	38.20	32.70
160	32.00	99.30	67.30	22.10	75.70	53.60	9.30	47.70	38.40
167	17.40	83.70	66.30	15.60	56.50	40.90	6.90	37.90	31.00
174	17.70	94.30	76.60	14.90	64.90	50.00	6.40	44.10	37.70
188	15.60	90.90	75.30	10.50	68.40	57.90	4.30	42.40	38.10
202	16.00	89.40	73.40	13.70	63.80	50.10	5.90	37.00	31.10
233	18.70	83.60	64.90	18.50	53.40	34.90	6.60	29.90	23.30
264	23.80	74.90	51.10	21.80	56.90	35.10	9.40	34.10	24.70

ตารางผนวก 10 ผลการทดลอง Batch Test

วันที่	การทดลอง1 อัตราส่วน SCOD:SO ₄ ²⁻ = 6.9:1				การทดลอง2 อัตราส่วน SCOD:SO ₄ ²⁻ = 14:1			
	pH	sulfate	SCOD	TOC	pH	sulfate	SCOD	TOC
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	7.14	576.9	3,967	1,114	7.09	228.2	2,971	910
1	7.15	564.1	3,934		7.08	223.1	2,938	
2	7.03	551.3	3,867		6.97	210.3	2,822	
3		466.7		897		164.1		669
5	7.03	310.3	3,658	873	6.85	102.6	2,646	644
7	6.96	274.4	3,522	806	6.81	66.7	2,560	569
9	6.93	130.8	3,503		6.82	32.1	2,340	
11	6.91	17.9	3,454		6.83	19.2	2,315	
13	6.88	16.7	3,426	763	6.85	13.5	2,260	425
15	6.75	12.5	3,278	739	6.72	12.2	2,138	682
17	6.84	7.1	3,271	344	6.70	7.1	2,114	413
20	6.81	5.8	3,159	307	6.64	5.1	2,065	327

ตารางผนวก 11 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซจากปฏิกิริยาอากาศ

ตัวอย่าง	O ₂ (%)	N ₂ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
1	17.01	0	10.67	73.32
2	8.86	17.43	9.58	64.13
3	2.76	22.76	14.38	60.10
4	6.45	33.18	12.34	48.03
5	9.43	43.56	8.99	38.02

ตารางผนวก 12 ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าว) ในระบบที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง

วันที่	ความเข้มข้นของ H ₂ S (mg/m ³)								ก๊าซ ภายนอก*	temp. (°C)
	influent	จุด A	จุด B	%removal	จุด C	%removal	จุด C2	%removal		
1	212.80	0.04	100.90	52.58	99.80	53.10	67.50	68.28	-	33.0
3	210.80	0.07	99.80	52.66	100.50	52.32	66.40	68.50	-	32.0
6	212.70	0.07	92.00	56.75	93.90	55.85	58.60	72.45	-	33.0
9	215.00	0.00	93.00	56.74	91.60	57.40	57.90	73.07	-	33.0
12	224.10	0.04	93.50	58.28	92.40	58.77	57.50	74.34	-	32.5
15	219.60	0.00	91.60	58.29	91.30	58.42	54.50	75.18	0	33.0
18	218.20	0.07	90.90	58.34	90.50	58.52	52.70	75.85	2.0	33.0
20	215.00	0.00	89.80	58.23	89.00	58.60	51.20	76.19	0	33.0

หมายเหตุ

จุด A คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #2

จุด C คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

จุด C2 คือ ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

* ค่าความเข้มข้น H₂S บริเวณรอบ biofilter วัดโดยวิธี Cadmium sulfide (mg/m³)

- ไม่ได้ทำการวัด

ตารางผนวก 13 ผลการทดลอง biofilter (composted material) ในระบบที่รับก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง

วันที่	ความเข้มข้นของ H ₂ S (mg/m ³)								ก๊าซ ภายนอก*	temp. (°C)
	influent	จุด A	จุด B	%removal	จุด C	%removal	จุด C2	%removal		
1	204.80	0.04	75.30	63.23	74.90	63.43	46.70	77.20	0.0	33.0
3	207.80	0.07	75.70	63.57	82.00	60.54	47.90	76.95	0.5	32.5
6	209.31	0.07	73.30	64.98	81.00	61.30	46.40	77.83	0.5	33.0
9	206.31	0.00	74.90	63.70	74.50	63.89	45.60	77.90	0.0	33.0
12	204.80	0.04	74.20	63.77	73.50	64.11	43.40	78.81	0.5	33.0
15	206.30	0.00	74.50	63.89	73.50	64.37	42.70	79.30	0.0	32.0
18	204.80	0.07	73.50	64.11	72.40	64.65	41.60	79.69	0.0	33.0
20	209.30	0.00	74.80	64.26	71.90	65.65	41.90	79.98	0.5	33.5

หมายเหตุ

จุด A คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #2

จุด C คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

จุด C2 คือ ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

* ค่าความเข้มข้น H₂S บริเวณรอบ biofilter วัดโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ ค่าเฉลี่ย 1 ชม. (ppm)

ตารางผนวก 14 ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าวร่วมกับ composted material) ในระบบที่รับก๊าซ
ที่เกิดจากน้ำเสียโดยตรง

วันที่	ความเข้มข้นของ H ₂ S (mg/m ³)								ก๊าซ ภายนอก*	temp. (°C)
	influent	จุด A	จุด B	%removal	จุด C	%removal	จุด C2	%removal		
1	210.80	0.10	83.10	60.58	84.70	59.82	54.2	74.29	0.0	33.0
3	212.20	0.20	93.10	56.13	97.00	54.29	53.8	74.65	0.0	32.5
6	216.70	0.00	88.50	59.16	89.20	58.84	52.7	75.68	0.0	33.0
9	219.70	0.00	83.10	62.18	82.40	62.49	52.9	75.92	0.5	33.0
12	212.20	0.10	88.20	58.44	89.00	58.06	51.9	75.54	0.0	33.0
15	218.00	0.00	87.40	59.91	90.10	58.67	51.2	76.51	0.5	32.0
18	206.30	0.00	79.40	61.51	86.30	58.17	48.2	76.64	0.0	33.0
20	212.20	0.00	79.80	62.39	84.80	60.04	48.9	76.96	0.5	33.5

หมายเหตุ

จุด A คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน Biofilter #2

จุด C คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน Biofilter #3

จุด C2 คือ ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน Biofilter #3

* ค่าความเข้มข้น H₂S บริเวณรอบ Biofilter วัดโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ ค่าเฉลี่ย 1 ชม. (ppm)

ตารางผนวก 15 ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าว) ในระบบที่รับก๊าซจากเส้นท่อ

วันที่	ปริมาณ H ₂ S (mg/m ³)								ก๊าซ ภายนอก*	temp. (°C)
	influent	จุด A	จุด B	%removal	จุด C	%removal	จุด C2	%removal		
1	591.20	0.00	132.60	77.57	133.53	77.41	93.00	84.27	1.5	33.0
3	611.00	0.04	133.07	78.22	135.07	77.89	93.53	84.69	1.0	32.0
6	596.13	0.02	140.40	76.45	134.53	77.43	93.53	84.31	1.5	33.0
9	603.60	0.00	134.53	77.71	139.00	76.97	94.47	84.35	1.0	33.0
12	588.73	0.00	132.67	77.47	132.07	77.57	94.00	84.03	1.0	32.5
15	598.67	0.07	134.20	77.58	138.13	76.93	94.47	84.22	1.5	33.0
18	601.13	0.00	132.07	78.03	132.53	77.95	92.53	84.61	0.5	33.0
20	603.60	0.02	136.07	77.46	133.07	77.95	93.00	84.59	1.0	33.0

หมายเหตุ

จุด A คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #2

จุด C คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

จุด C2 คือ ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

* ค่าความเข้มข้น H₂S บริเวณรอบ biofilter วัดโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ ค่าเฉลี่ย 1 ชม. (ppm)

ตารางผนวก 16 ผลการทดลอง biofilter (composted material) ในระบบที่รับก๊าซจากเส้นท่อ

วันที่	ปริมาณ H ₂ S (mg/m ³)								ก๊าซ ภายนอก*	temp. (°C)
	influent	จุด A	จุด B	%removal	จุด C	%removal	จุด C2	%removal		
1	586.00	0.30	111.80	80.92	102.67	82.48	57.87	90.13	0.0	31.5
3	581.33	0.30	108.33	81.36	105.87	81.79	58.40	89.95	0.0	32.0
6	591.20	0.20	105.87	82.09	104.87	82.26	55.40	90.63	0.5	32.0
9	578.87	0.30	104.40	81.96	104.87	81.88	54.00	90.67	0.0	31.0
12	561.53	0.15	102.93	81.67	102.40	81.76	55.40	90.13	0.5	31.0
15	588.67	0.19	105.40	82.10	104.87	82.19	53.87	90.85	0.0	32.0
18	591.20	0.30	104.80	82.27	105.27	82.19	53.67	90.92	0.5	31.5
20	583.80	0.30	104.00	82.19	103.87	82.21	53.40	90.85	0.0	31.0

หมายเหตุ

จุด A คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #2

จุด C คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

จุด C2 คือ ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

* ค่าความเข้มข้น H₂S บริเวณรอบ biofilter วัดโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ ค่าเฉลี่ย 1 ชม. (ppm)

ตารางผนวก 17 ผลการทดลอง biofilter (ไยมะพร้าวร่วมกับ composted material) ในระบบที่
รับก๊าซจากเส้นท่อ

วันที่	ปริมาณ H ₂ S (mg/m ³)								ก๊าซ ภายนอก*	temp. (°C)
	influent	จุด A	จุด B	%removal	จุด C	%removal	จุด C2	%removal		
1	596.13	0.20	122.40	79.47	124.13	79.18	68.07	88.58	1.0	33.5
3	606.67	0.18	122.40	79.82	125.33	79.34	68.40	88.73	0.5	33.0
6	591.20	0.30	114.80	80.58	125.67	78.74	67.80	88.53	1.0	33.0
9	592.00	0.15	120.93	79.57	126.33	78.66	63.27	89.31	1.0	33.5
12	593.67	0.33	112.80	81.00	123.60	79.18	67.60	88.61	0.5	33.0
15	598.67	0.18	119.47	80.04	122.20	79.59	65.20	89.11	1.0	34.0
18	596.13	0.26	123.13	79.34	124.87	79.05	68.33	88.54	0.5	33.0
20	598.67	0.33	120.27	79.91	120.87	79.81	67.73	88.69	1.0	33.0

หมายเหตุ

จุด A คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองในชุดทดลองควบคุม

จุด B คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #2

จุด C คือ ที่ระดับ 20 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

จุด C2 คือ ที่ระดับ 35 cm. ของชั้นกรองใน biofilter #3

* ค่าความเข้มข้น H₂S บริเวณรอบ biofilter วัดโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ ค่าเฉลี่ย 1 ชม. (ppm)

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสีย

1. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดี เป็นค่าที่แสดงปริมาณความสกปรกของน้ำ ในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ในช่วงระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลา 5 วัน และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

วิธีการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีทำได้โดยหาค่าความแตกต่างของค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งจะใช้วิธี Azide modification สำหรับการหาค่าบีโอดีมี 2 วิธีแยกตามปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย คือ

1. วิธีหาโดยตรง เมื่อมีค่าบีโอดีน้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตรมักเป็นน้ำจากแม่น้ำลำคลอง
2. วิธีทำให้เจือจางใช้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีความสกปรกสูงจึงจำเป็นต้องทำให้น้ำสกปรกเจือจางลง โดยใช้น้ำผสมเจือจาง และควรวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ความเข้มข้น

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดอินคิวเบทหรือขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกปากขวดเพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอขณะอินคิวเบท ที่ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างสะอาดทุกครั้งก่อนใช้

2. ตู้อินคิวเบท (incubator)
3. เครื่องแก้วต่างๆ เช่น กระจกบอขวด ปิเปต บิวเรตต์

สารเคมี

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมี pH 7.2

2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย anhydrous CaCl_2 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 480 กรัม ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 400 กรัม $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 364 กรัม) ในน้ำกลั่นกรอง แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องไม่เกิดสีกับน้ำแข็ง ภายหลังเติมสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ในสภาพเป็นกรด

6. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เฮไซต์ ละลาย NaOH 500 กรัม (KOH 700 กรัม) และ NaI 135 กรัม (KI 150 กรัม) ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร เติม NaN_3 10 กรัม (ซึ่งเตรียมไว้ก่อนโดยละลายในน้ำกลั่นจำนวน 40 มิลลิลิตร) ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น

7. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4)

8. น้ำแข็งอินดิเคเตอร์ ละลาย Soluble Strach 5 กรัมในน้ำต้มประมาณ 800 มิลลิลิตรคนให้เข้ากันเติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาที ตั้งค้างคืนไว้ใช้แต่น้ำใสๆ ส่วนบนเติม Salicylic acid 1.25 กรัมต่อน้ำแข็ง 1 ลิตร เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

9. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 6.205 กรัมในน้ำกลั่นเติม NaOH 0.4 กรัม หรือ NaOH 6 N 1.5 มิลลิลิตร แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต โดยการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต

10. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N ละลาย $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 0.8124 กรัม ปรับจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

การหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N ด้วยสารละลายโปตัสเซียมไบโอไอเดต

- 1) ละลาย KI 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 มิลลิลิตร ใส่ขวดชมพู
- 2) เติม 1+9 H_2SO_4 จำนวน 10 มิลลิลิตร หรือ H_2SO_4 เข้มข้น 2-3 หยด
- 3) เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N 20 มิลลิลิตร ลงไป เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ไตเตรทไอโอดีนที่ถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N ที่เตรียมไว้ จนกระทั่งจุดยุติสังเกตจากสีของสารละลายจางลง เติมน้ำแข็งลงไป 1 มิลลิลิตร ไตเตรทต่อจนถึงจุดยุติ ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่เตรียมไว้มีความเข้มข้น 0.25 N พอดี ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรทจะเท่ากับ 20 มิลลิลิตร ถ้าไม่ได้ให้ปรับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตให้เท่ากับ 0.025 N พอดีให้เพื่อสะดวกในการคำนวณต่อไป

วิธีการเตรียมการวิเคราะห์

1. เตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

- เตรียมน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาณที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ในภาชนะที่สะอาด
- เติมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์

และเฟอร์ริกคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

2. เตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

- ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือเป็นกรดจะต้องปรับให้เป็นกลางคือ pH ประมาณ 7

ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 N หรือ NaOH 1 N แล้วแต่กรณี

- ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือ สารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษา

และกำจัดเสียก่อน

การเจือจางตัวอย่างน้ำ

2.1 เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า BOD อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่า และต่ำกว่าที่อยู่ติดกันอีก 2 ชั้น ตามตารางผนวก 18 ดังนั้นจึงต้องทราบค่า BOD โดยประมาณก่อน

2.2 ค่อยๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ในกระบอกตวง ขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

2.3 เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการแล้วจึงเติมน้ำเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้เกิดฟองอากาศ

2.4 ค่อยๆ รินน้ำใส่ขวด BOD 2 ขวด ปิดจุกนำไปเก็บในตู้ incubate ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน 1 ขวด ขวดที่เหลือนำไปหาค่า DO (ในข้อ 5) ทันที เพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D_0)

2.5 ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2.2 - 2.4 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างที่เจือจางที่ต่ำกว่า และสูงกว่า

3. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

- รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วนำขวดหนึ่ง ใส่ตู้ Incubate ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน อีกขวดนำไปหา DO ทันที

4. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

- ผลที่นำเชื้อถือและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมีค่าปริมาณ DO เหลือ

อยู่อย่างน้อย 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร และต้องมีการลดลงของปริมาณ DO อย่างน้อย 2 มิลลิกรัม/ลิตร จึงจะให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้ถูกต้องที่สุด

ตารางภาคผนวก 18 ช่วงค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD	%ตัวอย่าง
20,000 – 70,000	0.01
10,000 – 25,000	0.02
4,000 – 14,000	0.05
2,000 – 7,000	0.1
1,000 – 3,500	0.2
400 – 1,400	0.5
200 - 700	1.0
100 - 350	2.0
40 – 140	5.0
20 – 70	10.0
10 – 35	20.0
4 – 14	50.0
0 - 7	100

5. วิธีการหาค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) โดยวิธี Azide Modification of Iodometric

5.1 จากตัวอย่างน้ำในขวด BOD เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร

5.2 เติมสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร ปิดจุกอย่าให้เกิดฟองอากาศเขย่าให้เข้ากัน

5.3 รอให้เกิดตะกอน $Mn(OH)_2$ เติม conc. H_2SO_4 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ตะกอนละลาย แล้วนำตัวอย่าง 201 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N จะได้สีเหลืองอ่อนๆ เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด และไตเตรทจนสีน้ำเงินหายไป

การคำนวณ

ออกซิเจนละลาย (DO)

$$1 \text{ ml } 0.025 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1 \text{ mg/l DO (ในตัวอย่างน้ำ 200 ml)}$$

BOD₅ (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$\text{BOD}_5 \text{ (mg/l)} = (\text{DO}_0 - \text{DO}_5) / p$$

BOD₅ (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$\text{BOD}_5 \text{ (mg/l)} = [(\text{DO}_0 - \text{DO}_5) - (B_1 - B_2) f] / p$$

โดยที่ DO₀ = ค่าของออกซิเจนละลายในวันแรก (mg/l)

DO₅ = ค่าของออกซิเจนละลายในวันที่ 5 (mg/l)

p = อัตราส่วนการเจือจางของตัวอย่างน้ำ

B₁ = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรกของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (mg/l)

B₂ = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5 ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (mg/l)

f = อัตราส่วนของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

2. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) โดยวิธี Dichromate Reflux method

ค่าซีโอดีเป็นค่าปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการว่า สารอินทรีย์สามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดยตัวเติมออกซิเจนภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงจึงต้องทำการต้มภายใต้การรีฟลักซ์ สำหรับสารเคมีที่ใช้เป็นตัวเติมออกซิเจนมีหลายตัว ในการวิเคราะห์นี้เลือกใช้ปอตัสซียมไดโครเมต เพราะราคาถูก และสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้ดี ค่าซีโอดีต่างกับค่าบีโอดีที่เป็นค่าแสดงถึง ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งหมดที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ และที่แบคทีเรียย่อยสลายไม่ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในการรีฟลักซ์ (Refluxing apparatus)
2. ขวดเออร์เลเมเยอร์

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.25 M ละลาย $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 98 กรัม ในน้ำกลั่น เติม $\text{conc.H}_2\text{SO}_4$ 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้ว ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนในแต่ละวัน ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

นำสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมน้ำ 90 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาไทเทรต กับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.25 M โดยใช้เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียว เป็นสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

โมลาริตีของ FAS = $[\text{ปริมาณ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (ml)} \times 0.25] / \text{ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml)}$

2. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 M ละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) 12.259 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายกรดซัลฟูริก ผสม Ag_2SO_4 และ $\text{conc.H}_2\text{SO}_4$ ด้วยสัดส่วน Ag_2SO_4 5.5 กรัม ต่อ $\text{conc.H}_2\text{SO}_4$ 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 2-3 วัน ให้ Ag_2SO_4 ละลายก่อนนำมาใช้

4. ผงเมอร์คิวริกซัลเฟต (HgSO_4)

5. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย 1,10-phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรีฟลักซ์สำหรับหาค่าซีไอดี
2. เติม ผงเมอร์คิวริกซัลเฟต (HgSO_4) 0.4 กรัมและเม็ดแก้ว 3-4 เม็ด เติมสารละลายกรดซัลฟูริก(ผสม Ag_2SO_4) 5 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ
3. เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 M 10 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (ผสม Ag_2SO_4) 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
5. นำขวดรีฟลักซ์สวมต่อกับเครื่องคอนเดนเซอร์ เปิดน้ำหล่อเย็น
6. เปิดเตาให้ความร้อนทำการรีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้าง

คอนเดนเซอร์

7. ไทเทรตไดโครเมตที่มากเกินไปด้วย FAS 0.25 M โดยใช้สารละลายเฟอร์โรอิน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

8. ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาณที่เท่ากับน้ำตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ก็ต้องเท่ากันด้วย

การคำนวณ COD (mg/l) = $[(A - B) \times M \times 8,000] / \text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}$

โดย COD = ค่า Chemical Oxygen Demand

A = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

M = โมลาริตีของ FAS

3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) โดยวิธี Gravimetric method

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ และสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ตะกอนมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา หลักการคือ กรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ที่ทราบน้ำหนัก นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็น ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
2. กรวยบุคเนอร์ (blucher funnel)
3. เครื่องดูดอากาศ (suction pump)
4. โถทำแห้ง (desiccator)
5. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนัก

2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง ที่จะได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัม
3. วางกระดาษลงในกรวยบุคเนอร์ที่ต่อกับเครื่องดูดอากาศ
4. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
5. กรองน้ำตัวอย่างโดยอาศัยแรงดูดจากเครื่องดูดอากาศ
6. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด

7. ปิดเครื่องดูดอากาศ คีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง

8. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

ของแข็งแขวนลอย (mg/l) = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B-A) \times 1000 / ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนทำการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองหลังทำการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

4. ซัลเฟต (Sulfate) โดยวิธี Turbidimetric method

ซัลเฟตพบทั่วไปในธรรมชาติ น้ำทิ้งจากเหมืองต่างๆ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ในทางอุตสาหกรรมซัลเฟตมีความสำคัญเนื่องจากเป็นตัวทำให้เกิดตะกอนในหม้อน้ำ ก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนและการกัดกร่อนในท่อน้ำเสีย ปัญหาดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

สำหรับวิธีวิเคราะห์ซัลเฟตโดยวิธี Turbidimetric method เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก รวดเร็วและสามารถหาซัลเฟตในปริมาณต่ำได้ดี และซัลเฟตที่มีปริมาณสูงสามารถวิเคราะห์ได้โดยการเจือจางตัวอย่าง โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาของซัลเฟตกับแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ในสารละลายกรด และเกิดคอลลอยด์ของแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) ซึ่งสามารถวัดปริมาณได้ในรูปของความขุ่น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
2. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
3. ข้อนตวง

สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์ A ผสม $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 30 กรัม $CH_3COONa \cdot 3H_2O$ 5 กรัม และ KNO_3 1 กรัม ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
2. $BaCl_2$ ชนิดเกล็ด 20-30 mesh
3. สารละลายมาตรฐานซัลเฟต โดยละลาย Na_2SO_4 (anhydrous) 147.9 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (1 มิลลิลิตร = 100 ไมโครกรัมซัลเฟต)

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง
 นำน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัพเฟอร์ A 20 มิลลิลิตร ผสมและคน ค่อยๆ เติม BaCl_2 1 ช้อน จับเวลาคน 1 นาที
2. การวัดความขุ่นของ BaSO_4
 เติมน้ำที่คนแล้วลงในเซลล์ของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดความขุ่นที่ 5 ± 0.5 นาที่ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร
3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต
 เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ที่ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการบีบ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 มิลลิลิตร ของสารละลายซัลเฟตที่เตรียมไว้ ใส่ในขวดวัดปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรแต่ละขวด 100 มิลลิลิตร และทำทุกอย่างเหมือนตัวอย่าง
4. คำนวณค่าปริมาณซัลเฟต โดยนำค่าที่วัดได้จากตัวอย่าง เทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟต
5. ซัลไฟด์ (Sulfide) โดยวิธี Iodometric method

การวิเคราะห์สารประกอบซัลไฟด์ในน้ำทิ้ง จะพบสารประกอบสำคัญ 3 ประเภท คือ

1. ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย ($\text{Dissolved H}_2\text{S}$) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^- ion) รวมทั้งสารประกอบโลหะซัลไฟด์ (ที่ละลายได้ในกรด) ซึ่งปนกับตะกอนแขวนลอยในน้ำ ปริมาณซัลไฟด์ขึ้นกับ pH ของน้ำกล่าวคือ ที่ pH 11 และ 12 จะมีซัลไฟด์ละลายน้อยกว่า 0.05% และ 0.5% ตามลำดับ
2. ซัลไฟด์ละลาย (Dissolved sulfide) คือส่วนที่เหลืออยู่จากการแยกเอาตะกอนแขวนลอยออกไปโดยวิธีฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) หรือการหมุนเหวี่ยง
3. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งไม่แตกตัว ($\text{Un-ionized hydrogen sulfide}$) ได้แก่สารละลายซัลไฟด์ ซึ่งไม่แตกตัวเป็นไอออนสัดส่วนของ H_2S และ HS^- ในน้ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย และค่า pH ของตัวอย่างน้ำ



อุปกรณ์

1. ขวดแก้วมีฝาปิด ขนาด 300 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายซิงค์แอสซิเตต 1 นอร์มัล ละลายซิงค์แอสซิเตตไดไฮเดรท $[Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O]$ 220 กรัม ในน้ำ 870 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 นอร์มัล
3. สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (Iodine solution) 0.025 นอร์มัล ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 20-25 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อย ใส่ไอโอดีน 3.2 กรัมจนไอโอดีนละลายหมด เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เทียบมาตรฐานกับสารละลายโซเดียมโรโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์
4. สารละลายโซเดียมโรโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล
5. น้ำแบ่ง
6. สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ 6 นอร์มัล ละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซาไฮเดรต $(AlCl_3 \cdot 6H_2O)$ 100 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 144 มิลลิลิตร
7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

วิธีวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด

1. หยดสารละลายซิงค์แอสซิเตต 0.45 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วที่มีฝาปิด ใส่น้ำตัวอย่าง 300 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.3 มิลลิลิตร ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน (pHมากกว่า 9) ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที
2. แยกส่วนที่ใสทิ้งไป โดยกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C
3. ตะกอนมาละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร
4. ไตเตรต ตามวิธีของ Iodometric method

วิธีวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย

ซัลไฟด์ส่วนที่ละลายจะวิเคราะห์โดยนำตัวอย่างไปแยกเอาตะกอนที่มีอยู่ออกโดยวิธีฟลอคคูเลชัน และตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนนอนกัน นำเอาเฉพาะน้ำใสไปวิเคราะห์ โดยขั้นตอนต่อไปดังนี้

1. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.6 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว เติมน้ำตัวอย่าง 300 มิลลิลิตร เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.6 มิลลิลิตร ปิดฝาเขย่า (pH 6-9)
2. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 5-15 นาที

3. เทสวุ้นใส่เก็บไว้ทำการวิเคราะห์ต่อ
4. นำส่วนใสที่ได้มาเติมสารละลายซิงค์แอสซิเตต 0.15 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.1 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ปิดฝาเขย่าตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
5. แยกส่วนที่ใสทิ้งไป โดยกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C
6. นำตะกอนมาละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร
7. ไตเตรต ตามวิธีของ Iodometric method

การไตเตรตโดยวิธีของ Iodometric method

1. เติมสารละลายไอโอดีน 0.025 นอร์มัลลงในฟลาสโดยกะประมาณสารละลายไอโอดีนจากบิวเรตในปริมาณที่มากพอที่จะทำปฏิกิริยาพอดีกับซัลไฟด์ เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวม 20 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 นอร์มัล 2 มิลลิลิตร
3. เติมตัวอย่างลงในฟลาส เขย่าให้เข้ากัน ถ้าสีของไอโอดีนหายไปให้เติมสารละลายไอโอดีนเพิ่มจนกระทั่งมีสีเหลือง
4. ไตเตรตกลับด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติสีน้ำเงินจะหายไป

การคำนวณปริมาณซัลไฟด์

ปริมาณซัลไฟด์ (มิลลิกรัม/ลิตร) = $[(A \times B) - (C \times D)] \times 16000 /$ ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

- โดยที่
- A = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายไอโอดีน
 - B = นอร์มัลของสารละลายไอโอดีน
 - C = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต
 - D = นอร์มัลของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

วิธีวิเคราะห์ไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการคำนวณ

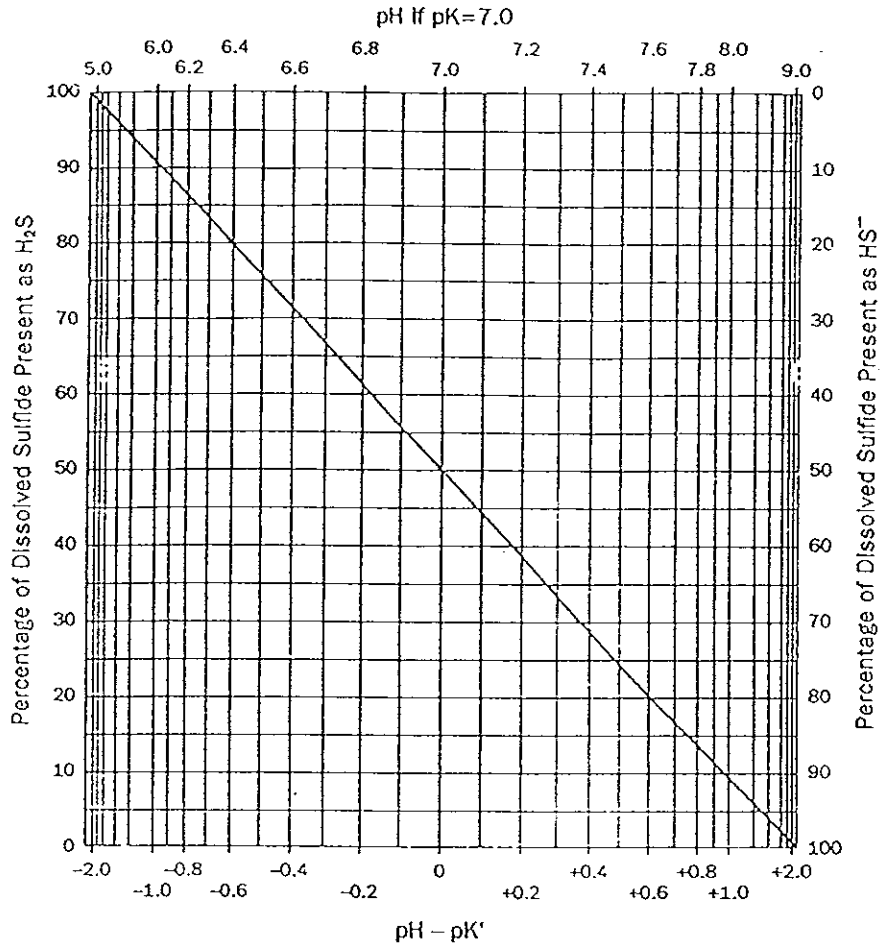
1. วิเคราะห์ประมาณซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย
2. วัดค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำตัวอย่าง
3. นำค่าการนำไฟฟ้าไปเปิดหาค่า PK' โดยใช้ตารางผนวก 19
4. นำค่า PK' ที่ได้ของน้ำตัวอย่างลบจากค่า pH แล้วนำไปอ่านค่า % HS⁻ หรือ H₂S โดยให้กราฟสัดส่วนของ H₂S และ HS⁻ ในซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย ตั้งให้เป็นค่า J

การคำนวณ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ = J × ปริมาณซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย

ตารางผนวก 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่า PK' ณ อุณหภูมิต่างๆ

สภาพการนำไฟฟ้า 25°C (ไมโครโมห์/ซม.)	PK' ที่อุณหภูมิต่างๆ		
	20°C	25°C	30°C
0	-	7.03	-
100	7.08	7.01	6.94
200	7.07	7.00	6.93
400	7.06	6.99	6.92
1000	7.05	6.98	6.91
1200	7.04	6.97	6.90
2000	7.03	6.96	6.89
3000	7.02	6.95	6.88
4000	7.01	6.94	6.87
5200	7.00	6.93	6.86
7200	6.99	6.92	6.85
10000	6.98	6.91	6.84
14000	6.97	6.90	6.83
22000	6.96	6.89	6.82
50000	6.95	6.88	6.81



กราฟสัดส่วนของ H_2S และ HS^- ในซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย

6. กลิ่น (Odor Test)

อุปกรณ์

1. กระจกตวง
2. ขวดชมพู่หรือ เออเลนเมเยอร์ฟลาส (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ปิเปต

การทดสอบ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบกลิ่น ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เทลงขวดชมพู่ควบคุม อุณหภูมิให้เท่ากับ 0°C

2. ดมกลิ่นของน้ำในขวดชมพู่
 - ถ้าเริ่มมีกลิ่นให้คำนวณค่ากลิ่น
 - ถ้ามีกลิ่นรุนแรงให้ทำการเจือจางในข้อ 3

3. ทำการเจือจางน้ำตัวอย่าง โดยใส่ตัวอย่างน้ำให้มีปริมาตรน้อยกว่า 200 มิลลิลิตร (A มิลลิลิตร) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 200 มิลลิลิตร เทในขวดชมพู่เขย่าให้เข้ากัน

4. ดมกลิ่นของน้ำในขวดชมพู่
 - ถ้าเริ่มมีกลิ่นให้คำนวณค่ากลิ่น
 - ถ้ามีกลิ่นรุนแรงให้ทำการเจือจางในข้อ 3 โดยลดปริมาตรตัวอย่างน้ำ A ลงอีก

แล้วทำการทดลองข้อ 4 อีกครั้ง

การคำนวณค่ากลิ่น

การคำนวณค่ากลิ่นหรือ T.O.N (Threshold Odor Number) ได้แก่การคำนวณอัตราส่วนการเจือจาง ดังนี้

$$\text{กลิ่น (T.O.N)} = (A+B) / A$$

หรือ

$$\text{กลิ่น (T.O.N)} = (200) / A(\text{ml})$$

โดย A = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)

การวิเคราะห์ผล

ค่ากลิ่นที่คำนวณได้สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางผนวก 20

ตารางผนวก 20 แสดงผลของกลิ่นจากน้ำตัวอย่างที่ทดสอบ

ค่ากลิ่น	สรุปผล
0	ไม่มีกลิ่น
1	มีกลิ่นรบกวนน้อย
มากกว่า 1	ตัวเลขที่มากขึ้นแสดงถึงมีกลิ่นรบกวนรุนแรงมากขึ้น

ผลการทดสอบกลิ่นแต่ละตัวอย่างใช้ทดสอบประมาณ 10 คน โดยค่า T.O.N ที่ได้แต่ละตัวอย่างจะเป็นค่าเฉลี่ยโดยหาในรูป Arithmetic mean

วันที่ เวลา.....

แบบทดสอบการวัดกลิ่น (Odor Test)

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ชุดที่ 1 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชุดที่ 2 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชุดที่ 3 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชุดที่ 4 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชุดที่ 5 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชุดที่ 6 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ชุดที่ 7 หมายเลขตัวอย่าง	01	02	03	04	05	06
ผลทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....	.....

- หมายถึงไม่มีกลิ่น

0 หมายถึงมีกลิ่นเล็กน้อย

1 หมายถึงมีกลิ่นรุนแรง

7. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยวิธี Cadmium Sulfide Method

วิธีนี้อาศัยหลักการตกตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์ โดยผ่านก๊าซลงในสารละลาย แคดเมียมซึ่งทำหน้าที่ absorb ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์จะนำไปไตเตรต หาค่าโดยวิธี Iodometric method ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จะได้จากการคำนวณ

อุปกรณ์

1. ขวดสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ
2. บิวเรต 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายแคดเมียมคลอไรด์ ละลาย $CdCl_2$ 20 กรัม ในน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร เติม 0.5 นอร์มัล $NaOH$ 20 มิลลิลิตร
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
3. สารละลายไอโอดีน 0.005 N
4. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.005 N
5. น้ำแบ่ง
6. Chloroform

วิธีวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างก๊าซโดยผ่านก๊าซ (บันทึกอัตราการไหลและระยะเวลาเก็บเพื่อนำค่าไปคำนวณ) ลงในขวดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ 100 มิลลิลิตร จะปรากฏเป็นสีเหลืองอ่อนเมื่อมีการเกิดแคดเมียมซัลไฟด์

2. เติม HCl conc. 20 มิลลิลิตร เทสารละลายลงในขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3. เติมสารละลายไอโอดีน 0.005 นอร์มัล ลงในฟลาสโดยกะประมาณสารละลายไอโอดีน จากบิวเรตในปริมาณที่มากพอที่จะทำปฏิกิริยาพอดีกับซัลไฟด์ เติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร

4. ไตเตรตกลับด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.005 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่ง เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติสีน้ำเงินจะหายไป

การคำนวณ

$$1 \text{ ml. } 0.005 \text{ N Iodine solution} = 0.0846 \text{ mg. of } H_2S$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวพัฒน์วรรณ วิทยกุล

วัน เดือน ปี เกิด 25 สิงหาคม 2518

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีสำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2541

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากมูลนิธิโทเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ประเทศไทย