การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง

Assessment of Hydrogensulfide Problem in Anaerobic Ponds of Rubber Wastewater Treatment System

แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์

Gamgarn Rucksapram

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management

Prince of Songkla University

/ว 2539

เลขหมู่ TD899.R9 G84 2539 ง.2

Bib Key 140198

/

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง

ผู้เขียน นางสาวแกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา)

ติดราชการต่างประเทศ .....กรรมการ
(อ.เจิดจรรย์ ศิริวงศ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา)

ติดราชการต่างประเทศ .....กรรมการ
(อ.เจิดจรรย์ ศิริวงศ์)

.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(ดร. ไพรัตน์ สงวนไทร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง
ผู้เขียน	นางสาวแกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2539

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงงานยางประกอบด้วยสารอินทรีย์และซัลเฟตสูง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงลักษณะการเกิดขึ้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในขณะที่มีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางพาราด้วยวิธีการหมักไร้อากาศ การทดลองดำเนินการภายใต้การทำงานของระบบที่ Hydraulic Retention Time (HRT) 20 วัน และค่าพีเอชที่ 6, 7 และ 8 ในการทดลองที่ 1 ทดลองภายใต้อัตราการป้อนสารอินทรีย์สู่ระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน และอัตราการป้อนซัลเฟตเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.012 กรัมต่อลิตรต่อวัน จากผลการศึกษาพบว่า การกำจัดซีโอดีในสภาวะที่พีเอชเท่ากับ 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 55.14, 60.14 และ 54.73 และค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 24.0, 14.1 และ 7.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะพีเอชที่ 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 27.77 , 16.05 และ 8.28 ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ 2 น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบผ่านการบำบัดขั้นต้นโดยทำให้ตะกอนลอยตัว มีผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำ มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์สู่ระบบบำบัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน และอัตราการป้อนซัลเฟตเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.013 กรัมต่อลิตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่า การกำจัดซีโอดีในสภาวะที่พีเอชเท่ากับ 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 74.19 , 72.52 และ 35.0 ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 32.28, 18.85 และ 7.84 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับพีเอชที่ควบคุมที่ 6, 7 และ 8 การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะพีเอชที่ 6, 7 และ 8 มีค่าร้อยละ 33.57, 20.08 และ 8.35 ตามลำดับ จากการทดลองทั้งสองพบว่าการควบคุมพีเอช ในสภาพความเป็นด่างในขณะที่บำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางพาราด้วยวิธีหมักไร้อากาศ

สามารถลดการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

การศึกษาปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากโรงงานยางที่ผ่านการบำบัดโดยบ่อหมักไร้อากาศ ทำการตรวจสอบค่ากลิ่นของน้ำเสียในรูป T.O.N. (Threshold Odor Number) พบว่าปริมาณกลิ่นจากการทดลองที่ 1 ในสภาวะพีเอชที่ 6, 7 และ 8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 370, 360.7 และ 341 ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่ 2 ปริมาณกลิ่นมีแนวโน้มลดลงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 326.3, 270.7 และ 275.3 ตามลำดับ เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และปริมาณกลิ่นในน้ำเสียพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.23 และสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรได้ดังนี้คือ $Y = 1.02X + 306.9$ เมื่อค่า X คือ ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มีค่าอยู่ระหว่าง 4-37 มิลลิกรัมต่อลิตร) Y คือปริมาณกลิ่นในน้ำเสีย (มีค่า T.O.N. อยู่ระหว่าง 229-400) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์กับปริมาณกลิ่นของน้ำเสียมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ปริมาณกลิ่นจากน้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานยางพาราอาจเกิดจากองค์ประกอบอื่นหลายประการ การลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบร่วมกับการควบคุมปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบโดยการปรับพีเอชจะสามารถทำให้กลิ่นของน้ำเสียลดลงได้ ระดับหนึ่ง

Thesis Title Assessment of Hydrogensulfide Problem in Anaerobic Ponds of Rubber Wastewater Treatment System

Author Miss Gamgarn Rucksapram

Major Program Environmental Management

Academic Year 1996

Abstract

Rubber wastewater contains high strength of organic matter and sulfate content. This research was conducted to observe the performance of hydrogensulfide occurring in anaerobic treatment of rubber wastewater, operating under 20 days of HRT and pH adjustment at 6, 7 and 8. In the first experiment, average organic loading rate applied to the anaerobic container was 0.3 gCOD/liter/day and average sulfate loading rate was 0.012 g/liter/day. The results illustrated that COD removal at pH 6, 7 and 8 were 55.14 %, 60.14 % and 54.73 % , respectively. Average concentrations of hydrogensulfide in effluent at pH of 6, 7 and 8 were observed to be 24.0, 14.1 and 7.13 mg/l., respectively. Sulfur transformation from sulfate to hydrogensulfide at pH 6, 7 and 8 was calculated to be 27.77 %, 16.05 % and 8.28 % , respectively. In the second experiment, wastewater pretreated by the floatation process was feed to the system. After pretreatment, suspended solids in the wastewater was reduced. Thus, organic loading rate applied to the anaerobic container was at an average value of 0.26 gCOD/liter/day and average sulfate loading rate was 0.013 g/liter/day. The COD removal at pH 6, 7 and 8 were 74.19 %, 72.52 % and 35.0 %, respectively. Average concentrations of hydrogensulfide in effluent at pH 6, 7 and 8 were observed to be 32.28, 18.85 and 7.84 mg/l , respectively. Sulfur transformation from sulfate to hydrogensulfide at pH 6, 7 and 8 were

calculated to be 33.57 %, 20.08 % and 8.35 %, respectively. From the result obtained, it could be concluded that pH adjustment to alkaline condition in anaerobic rubber wastewater treatment can reduce hydrogensulfide generation.

The study of odor occurring in anaerobic treatment of rubber wastewater was determined in terms of T.O.N. (Threshold Odor Number). In the first experiment the odor in effluent at pH 6, 7 and 8 were observed to be 370, 360.7 and 341 , respectively. The second experiment, the odor was observed to decrease. At pH of 6, 7 and 8, T.O.N. of wastewater effluent were determined to be 326.3, 270.3 and 275.3, respectively. When correlation between hydrogensulfide concentration and odor of effluent was investigated, the results indicated that correlation coefficient (r) was 0.23 . The correlation equation of both parameters shown to be $Y = 1.02X + 306.9$, while X is hydrogensulfide concentration , ranging from 4-37 mg/l, and Y is wastewater odor in terms of T.O.N. and ranging from 229-400 . The results obtained implied that correlation between hydrogensulfide concentration and level of odor of wastewater is low. The odor occurring in anaerobic treatment of rubber wastewater was caused by many components. Decrease of organic loading application and control of hydrogensulfide concentration occurring in the system by pH adjustment can reduce odor problem.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง จากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร. สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คือ รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา และ อาจารย์เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ไว้ ณ. ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร และ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาสละเวลาในการสอบเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบคุณโครงการจัดตั้งคณะการจัดการสิ่งแวดล้อมและภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความสะดวกเกี่ยวกับสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณ คุณวราศรี เถกประสิทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจสำคัญ ตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการภาพประกอบ	(11)
รายการตาราง	(13)
รายการตารางผนวก	(14)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(16)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	18
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	19
ขอบเขตการวิจัย	19
2. วิธีการวิจัย	21
วัสดุ	21
อุปกรณ์	21
วิธีดำเนินการวิจัย	24
การศึกษาปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานตัวแทน	24
การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	25
การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบไม่ใช้อากาศ	25

สารบาญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การวิเคราะห์และประเมินผลปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	27
การศึกษาเรื่องกลิ่นของน้ำเสีย	27
3. ผลการวิจัย	29
ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวแทนที่ทำการวิจัย	29
ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน	29
คุณลักษณะของน้ำเสียหลังออกจากบ่อดักเศษยาง	31
คุณลักษณะของน้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศ	31
ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียโรงงานยาง	36
ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ	37
ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	37
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	40
การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	40
ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	43
ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	45
การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์	48
ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดจำลอง	49
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ปริมาณกลิ่นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย	51
4. บทวิจารณ์	54
ลักษณะของน้ำเสียและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวแทน	54
ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ	56
ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	56
ความยากง่ายและผลจากการควบคุมพีเอชในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	57

สารบาญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	58
ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	59
การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	59
ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดจำลอง และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลิ่น กับปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ และค่าพีเอชของน้ำเสีย	61
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	64
บทสรุป	64
ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้เขียน	114

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. แสดงขั้นตอนการผลิตยางแท่ง	6
2. แสดงน้ำเสียที่เกิดขึ้นแต่ละจุดในกระบวนการผลิต	8
3. ผลของพีเอชต่อสมดุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์-ซัลไฟด์	16
4. การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ	17
5. รายละเอียดแบบจำลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	23
6. ลักษณะชุดประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	24
7. ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นและที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นแล้ว	28
8. แผนผังรวมของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานตัวแทน	30
9. ลักษณะบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานตัวแทนที่ทำการศึกษา	35
10. ลักษณะของน้ำเสียจากบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานตัวแทนที่ทำการศึกษา	35
11. ลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองของการทดลองที่ 1	38
12. ลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองของการทดลองที่ 2	38
13. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	39
14. ค่าซีโอดีที่เข้าและออกจากถังหมักที่พีเอชต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	41
15. ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เข้าและออกจากถังหมักที่พีเอชต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	42
16. ปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	44
17. ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากถังหมักที่พีเอชต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	47
18. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลิ่นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย	51
19. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณกลิ่นของน้ำเสีย	52

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
20. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย	53

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. การจำแนกสารเคมีสำหรับการผลิตยางธรรมชาติ	2
2. ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	3
3. คุณสมบัติของซีรั่มที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	7
4. ลักษณะของบ่อหมักไร้อากาศ	11
5. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต	13
6. ผลกระทบทางสรีระวิทยาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อมนุษย์	15
7. วิธีที่ใช้เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย	25
8. เงื่อนไขของการทดลองปฏิบัติการเพื่อศึกษาถึงผลของพีเอชและปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น	26
9. คุณภาพน้ำเสียหลังจากการออกจากบ่อดักเศษยาง	31
10. ค่าพีเอชของน้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศ	33
11. คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานยาง	34
12. ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากบ่อหมักไร้อากาศโรงงานยาง	36
13. ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	40
14. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	43
15. ปริมาณซัลเฟตและปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	46
16. การเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	48
17. เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์	49
18. ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	50

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1. คุณลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	74
2. ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 1 (ถังหมักพีเอช 6)	76
3. ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 1 (ถังหมักพีเอช 7)	77
4. ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 1 (ถังหมักพีเอช 8)	78
5. ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 2 (ถังหมักพีเอช 6)	79
6. ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 2 (ถังหมักพีเอช 7)	80
7. ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 2 (ถังหมักพีเอช 8)	81
8. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 1 ถังหมักพีเอช 6	82
9. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 1 ถังหมักพีเอช 7	83
10. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 1 ถังหมักพีเอช 8	84
11. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถังหมักพีเอช 6	85
12. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถังหมักพีเอช 7	86
13. ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถังหมักพีเอช 8	87
14. ค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	88
15. ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานยางพารา	89
16. ช่วงค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซนต์ตัวอย่างของการเจือจาง	97
17. น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ	102

รายการตารางผนวก(ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
18. ไฮโดรเจนซัลไฟด์แฟคเตอร์	110
19. ผลของกลิ่นจากน้ำตัวอย่างที่ทดสอบ	112

ตัวย่อและสัญลักษณ์

BOD_6 = (Biochemical Oxygen Demand) คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20±1 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

COD = (Chemical Oxygen Demand) คือปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่า สารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

HRT = (Hydraulic Retention Time) คือระยะเวลาของน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในถังที่มีการไหลต่อเนื่องโดยมีค่าเท่ากับ ปริมาตรของถัง/อัตราการไหลของน้ำ

pH = พีเอชหมายถึง ค่าลอการิทึมของส่วนกลับของความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนต่อสารละลาย 1 ลิตร

พีพีเอ็ม = ส่วนในล้านส่วน

มก/ล = มิลลิกรัมต่อลิตร

ลบ.ม/วัน = ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศผู้ผลิตยางรายใหญ่เป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศเป็นเขตร้อนชื้น จึงมีความเหมาะสมเอื้ออำนวยให้ภาคใต้เป็นแหล่งปลูกยางที่สำคัญ จนกลายเป็นแหล่งรวมวัตถุดิบของยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ ด้วยสภาพดังกล่าวจึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมมากมายเกี่ยวกับยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานผลิตภัณฑ์ยางพารา เช่น โรงงานอุตสาหกรรมยางพาราผลิตน้ำยางข้น ยางแท่ง ยางแผ่น ยางรมควัน และยางสกิมเครพ (skimcrave)เป็นต้น ซึ่งพบว่าโรงงานดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การที่สามารถผลิตยางได้ปริมาณมากย่อมส่งผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศชาติและรายได้ของชาวสวนยาง แต่ในขณะเดียวกันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตภัณฑ์ยางพาราก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย ปัญหาที่สำคัญเกิดจากอุตสาหกรรมยางพาราคือ ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้น้ำยางสดกลายไปเป็นยางดิบในลักษณะต่างๆนั้น จำเป็นต้องใช้สารเคมีเพื่อการแปรรูป ซึ่งสารเคมีที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์นี้มีอยู่หลายชนิด ดังแสดงใน ตาราง 1 (วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2524) ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำเสียจากโรงงานยางจะมีปริมาณสารประกอบของซัลไฟด์และซัลเฟตสูง โดยเกิดจากสารเคมีที่เติมเพื่อช่วยในกระบวนการผลิต รวมทั้งสารโปรตีนที่อยู่ในน้ำยางดิบเองอีกด้วย อนึ่งระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กับโรงงานยางพารานั้นมักใช้วิธีทางชีววิทยาซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ได้แก่ บ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic pond) และระบบบำบัดแบบใช้อากาศได้แก่ บ่อแฟคัลเททีฟ (facultative pond) บ่อแอโรบิก (aerobic pond) และบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่าบ่อหมักไร้อากาศมักเป็นที่นิยมใช้กันเสมอ ทั้งนี้เพราะใช้พลังงานน้อยจึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดได้ แต่บ่อหมักไร้อากาศมักจะมีข้อเสียคือ ปัญหาเรื่องกลิ่นซึ่งเกิดจากแบคทีเรียประเภทไม่ใช้อากาศจะทำการย่อยสลาย

สารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในสารประกอบเช่น ซัลเฟต (SO^{2-}_4) ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวให้พลังงานและสารประกอบอื่นที่มักมีกลิ่นเหม็นเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ตาราง 1 การจำแนกสารเคมีสำหรับการผลิตยางธรรมชาติ

การจำแนก	สารเคมี
สารเคมีต้านการเกิดน้ำยางจับตัว / สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง	แอมโมเนียโซเดียมซัลไฟต์ กรดบอริก ฟอร์มาลีน SPP TMTD
สารเคมีทำให้น้ำยางจับตัว	กรดฟอร์มิก กรดซัลฟุริก กรดฟอสฟอริก กรดอะซิติก
สารเคมีช่วยในกระบวนการผลิต	HNS โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ แอมโมเนียคลอเรต

SPP Sodium Pentachlorophenate

TMTD Tetramethyl thiuram disulphide

HNS Hydroxylamine neutral sulphide

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2524

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานยางพาราจะมีปริมาณสารประกอบซัลไฟด์สูงดังกล่าวข้างต้น ฉะนั้นในภาวะของการย่อยสลายน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศของโรงงานยางพาราก็อาจทำให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศเช่น พวก sulfate reducing bacteria ทำการเปลี่ยนสารประกอบซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์และซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะรวมกับไฮโดรเจนอิออนเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ดังที่กล่าวมาแล้ว ปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศก็คือ เรื่องไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดการขัดแย้งขึ้นดังที่เห็นได้จากปัญหาร้องเรียนของชุมชนที่อยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมยางพารา ฉะนั้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นมากน้อยต่างกัน จะทำให้สามารถเสนอแนะทางเลือกที่เหมาะสม

ในการนำไปปฏิบัติ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในปัจจุบันได้

การตรวจเอกสาร

1. กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา

น้ำยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน $(C_5H_8)_n$ ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ มากมาย ผลชิต บัวแก้ว (2531) กล่าวว่า น้ำยางสดมีส่วนประกอบโดยปริมาตรดังแสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซนต์
ของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
โปรตีน	1-1.5
เรซิน	1-2.5
เถ้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ (ในปริมาณที่รวมแล้วเป็น)	100

ที่มา : ผลชิต บัวแก้ว, 2531

กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมยางพารานั้นมีอยู่หลายประเภท แต่จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการผลิตน้ำยางข้น (latex rubber) ยางแท่ง (block rubber) และการผลิตยางโดยใช้หางน้ำยาง (skimcrave) เนื่องจากโรงงานที่ศึกษามีการผลิตเฉพาะยางประเภทดังกล่าว

1.1 การผลิตน้ำยางข้น (latex rubber)

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 25 % - 45 % มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5 % นอกจากนั้นจะเป็นน้ำส่วนใหญ่ ดังนั้นในการขนย้ายน้ำยางด้วยวิธีที่เหมาะสมและประหยัดคือ การทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเป็น 60 % เนื้อยางแห้ง ซึ่งจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสม่ำเสมอดีกว่าน้ำยางสด เพราะสารพวกที่ไม่ใช่ยางบางส่วนถูกแยกออกจากน้ำยางในกรรมวิธีที่ทำให้น้ำยางเข้มข้นขึ้น การผลิตน้ำยางข้นมีขั้นตอนดังนี้ (วราภรณ์ ขจรชัยกุล, 2531)

1.1.1 การรักษาสภาพน้ำยางสด

น้ำยางสดที่ได้จากสวนยาง ถ้าไม่มีการเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัว น้ำยางจะเสียสภาพคือ เกิดการจับตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงหลังจากกรีดยาง จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อรักษาสภาพ สารเคมีที่เติมจะใช้แอมโมเนียร่วมกับสารช่วยตัวอื่นได้แก่ ZnO, zinc diethyl dithiocarbamate (ZDC), sodium pentachlorophenate (SPP), tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) และ boric acid เป็นต้น ซึ่งจะช่วยป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยทำให้สามารถยืดระยะเวลาการเก็บให้นานขึ้น

1.1.2 การรวบรวมน้ำยาง

น้ำยางสดเมื่อถึงโรงงานจะทำการกรองและตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้งซึ่งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 จากนั้นจึงผ่านก๊าซแอมโมเนียสู่น้ำยางประมาณร้อยละ 0.4 ของน้ำยาง แล้วจึงปล่อยทิ้งไว้ข้ามคืนให้น้ำยางตกตะกอนสิ่งแปลกปลอม โดยตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยางก่อนนำไปผลิตน้ำยางข้น

1.1.3 วิธีการผลิตน้ำยางข้น

หลักการสำคัญของวิธีการผลิตน้ำยางข้นมีวิธีการต่างๆคือ วิธีการระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีการปั่น (centrifuging) และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเป็นที่นิยมและทำกันโดยทางอุตสาหกรรมมากที่สุด

1.1.4 การเก็บรวบรวมและรักษาสภาพของน้ำยางข้น

สารเคมีที่นิยมใช้เก็บรักษาสภาพน้ำยางข้นคือ แอมโมเนีย และแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด

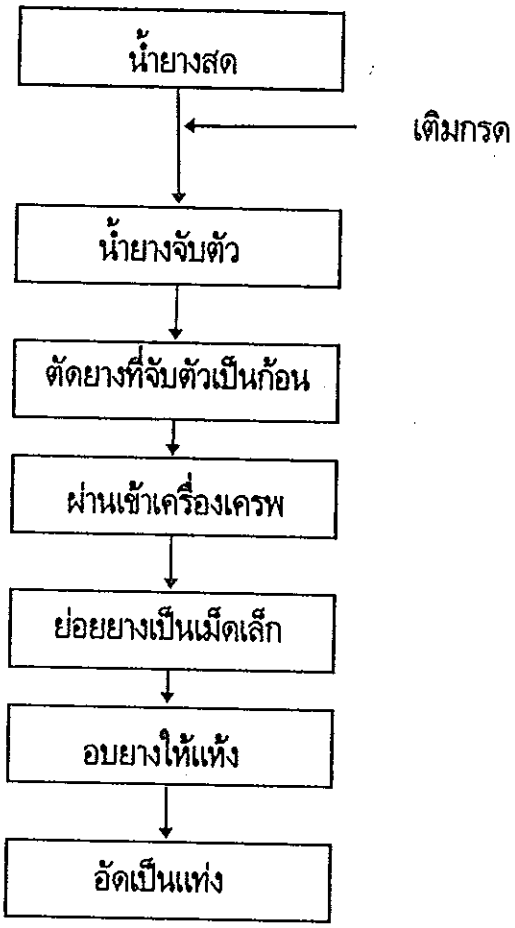
1.2 การผลิตยางแท่ง (block rubber)

กรรมวิธีการผลิตยางดิบแห้งจากยางธรรมชาติเดิมได้ทำแบบธรรมดาคือมีการกรีดยาง รวบรวมน้ำยาง ทำให้ยางจับตัว แล้วทำให้เป็นแผ่น และทำให้แห้ง ซึ่งขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้สิ้นเปลืองแรงงานมากประกอบกับปัจจุบันปริมาณการใช้ยางเพิ่มขึ้น ทำให้มีการผลิตยางดิบแห้งจากยางธรรมชาติโดยวิธีแบบใหม่ ซึ่งมีหลักการคือ การตัดหรือย่อยยางให้เป็นเม็ดเล็กๆอย่างรวดเร็ว แล้วอบให้แห้งอัดเป็นแท่งเรียกว่า ยางแท่ง (block rubber)

ขั้นตอนการผลิตยางแท่งเริ่มจากการรวบรวมน้ำยางสดลงในถังทำการกรอง จากนั้นทำให้น้ำยางจับตัวโดยใช้กรดฟอร์มิก เมื่อได้ยางที่จับตัวกันแล้วนำไปผ่านเครื่องตัด ขณะที่ยางผ่านเครื่องตัดมีการฉีดน้ำเพื่อล้างสิ่งสกปรก จากนั้นนำเข้าเครื่องเครพเพื่อรีดยางออกเป็นแผ่น และขณะรีดยางจะถูกฉีดน้ำเพื่อชะล้างสิ่งสกปรก แล้วนำเข้าเครื่องตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กอย่างรวดเร็ว นำไปอบจนแห้ง ชั่งน้ำหนัก และอัดเป็นแท่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 1 (วราภรณ์ ชจรไชยกุล, 2531)

1.3 การผลิตยางโดยใช้ทางน้ำยาง (skimcrave)

ทางน้ำยางที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะถูกนำมารวบรวมเข้าด้วยกัน จากนั้นจะทำการเติมกรดซัลฟุริก ซึ่งเป็นสารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวแล้วทำการตัด ล้าง อบ และอัดเป็นแท่ง



ภาพประกอบ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตยางแท่ง
ที่มา : วราภรณ์ ชจรไชยกุล, 2531

2. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพารา

น้ำเสียที่ออกจากโรงงานยางพารานั้นจะเกิดจากกระบวนการผลิต โดยเกิดจากขั้นตอนต่างๆ คือ การคัดแยกเนื้อยาง การล้างยาง การล้างภาชนะ การทำความสะอาด ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูงมากอันเนื่องมาจากเนื้อยาง น้ำซีรั่ม และสารเคมีต่างๆที่ช่วยในการผลิต โดยค่าความสกปรกซึ่งวัดในรูป BOD_6 และ COD จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของโรงงานยางพารา น้ำเสียที่เกิดขึ้นแต่ละจุดแยกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ยางพารา แสดงดังภาพประกอบ 2

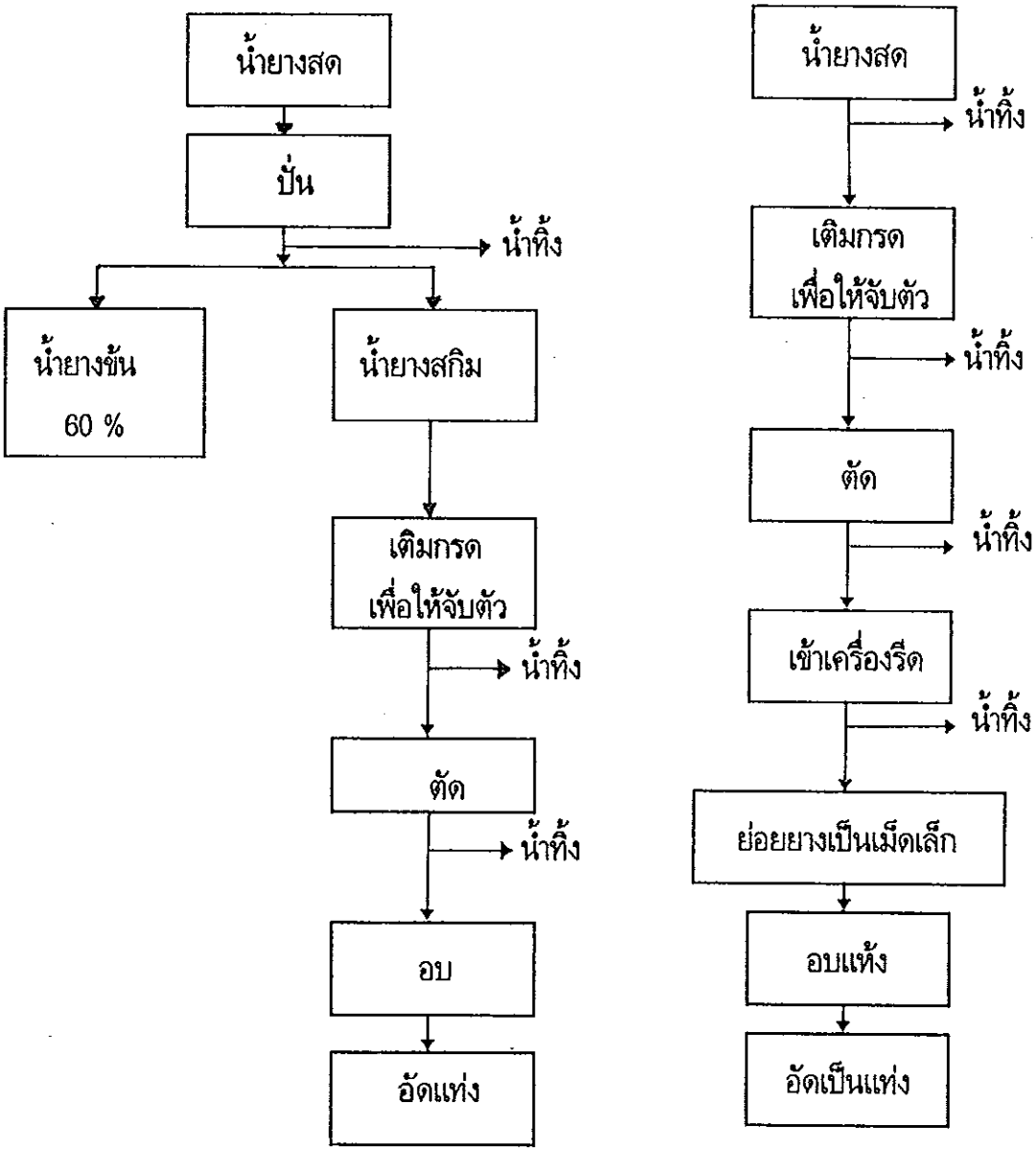
ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล (2538) พบว่าน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีค่า BOD_6 และ COD สูงมาก เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆทั้งหมดของน้ำยางพาราที่เป็นซีรั่มจะ

รวมตัวสะสมกันอยู่ในน้ำทิ้งที่ออกมาจากกระบวนการผลิต ส่วนประกอบต่างๆของน้ำทิ้งซึ่งเป็นซีรั่มที่ได้จากการทำน้ำยางข้นจะมีคุณสมบัติดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 คุณสมบัติของซีรั่มที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ตัวแปร	ความเข้มข้น
พีเอช	4.77
ค่าบีโอดี (มก./ล)	13,670
ค่าซีโอดี (มก./ล)	32,690
ปริมาณของแข็งรวม (มก./ล)	42,550
ปริมาณของแข็งระเหย (มก./ล)	36,410
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล)	2,850
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล)	4,620

ที่มา : ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล, 2538



การผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม

การผลิตยางแท่ง

ภาพประกอบ 2 แสดงน้ำเสียที่เกิดขึ้นแต่ละจุดในกระบวนการผลิต

ที่มา : ดัดแปลงจาก วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2531

3. กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย คือ การแยกหรือทำลายสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ปะปนอยู่ให้หมดไป หรือให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ สำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียจำแนกได้ 4 ประเภทดังนี้ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

3.1 กระบวนการทางกายภาพ ใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ละลายน้ำหรือของแข็งแขวนลอย ได้แก่การกรอง การตกตะกอน การกวาด ตลอดจนการทำให้ลอยโดยการใช้การอัดอากาศเข้าไปเพื่อให้ฟองอากาศยึดเกาะกับอนุภาคของสารที่ลอยทำให้สารรวมตัวกันหนาแน่นขึ้นจนสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย การบำบัดน้ำเสียในกระบวนการนี้จะลดค่าบีโอดีของน้ำได้ แต่จะลดได้เพียงใดขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำทิ้งหรือน้ำโสโครก

3.2 กระบวนการทางเคมี ใช้กำจัดสารต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งโดยใช้ปฏิกริยาทางเคมี ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง การทำให้ตกตะกอน การเพิ่มและลดปริมาณออกซิเจน

3.3 กระบวนการทางชีววิทยา ใช้กำจัดอินทรีย์สารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ ประกอบด้วยกระบวนการกำจัดที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน

3.4 กระบวนการทางฟิสิกัลเคมี ใช้กำจัดสารละลายที่อยู่ในน้ำทิ้งหรือน้ำโสโครกได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ การใช้สารดูดซับ เช่นใช้คาร์บอนในการดูดกลิ่น

4. ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยาง

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยเฉพาะการผลิตน้ำยางข้น น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตจะมีคุณภาพโดยเฉลี่ยดังนี้ (คมศร สิทธิพงศ์, 2538)

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4-6
- ค่ามวลสารแขวนลอย (SS) ประมาณ 2,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD) ประมาณ 300-3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

พบว่าสูงกว่าค่ามาตราฐานที่กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้มาก จึงต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียมารองรับน้ำนั้นๆก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางโดยทั่วไปมักมีองค์ประกอบดังนี้

4.1 บ่อดักเศษยาง (rubber trap) ทำหน้าที่แยกกากยางที่ออกมากับน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะลดค่าความสกปรกของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ หากบ่อดักเศษยางมีประสิทธิภาพต่ำจะส่งผลกระทบในช่วงต่อมาโดยเฉพาะเรื่องกลิ่น

4.2 ระบบปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทำหน้าที่ปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์จะทำงานได้ดีที่สุด ซึ่งมักจะปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5

4.3 บ่อบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ อาศัยกระบวนการทางชีววิทยาในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปสารละลายหรือสารแขวนลอย โดยใช้จุลินทรีย์ที่พบมากในน้ำเสียย่อยสลายทั้งในสภาวะที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ ระบบบำบัดแบบใช้อากาศเช่น บ่อแอโรบิก (aerobic pond) บ่อแฟคัลเททีฟ (facultative pond) บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) บ่อขัดแต่ง (polishing pond) และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้แก่ บ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic pond)

5. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ (2525) กล่าวว่าสภาพแวดล้อมแบบแอนแอโรบิก หรือไร้ออกซิเจน หมายถึงสภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำน้อยมากจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ในสภาวะเช่นนี้สารตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอนจะเป็นสารชนิดอื่นที่ไม่ใช้ออกซิเจน ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์กระบวนการนี้เรียกว่าเฟอร์เมนเตชั่น (fermentation) แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอนินทรีย์ (ที่ไม่ใช่ออกซิเจน) กระบวนการนี้เรียกว่าการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic respiration)

บ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic pond) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศรูปแบบหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันมากเพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศระบบทำงานได้โดยแบคทีเรีย 2 ประเภท คือ พวกที่ไม่สร้างมีเทน(non-methanogenic bacteria) และพวกที่สร้างมีเทน (methanogenic bacteria) แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ ผลผลิตสุดท้ายเกิดเป็น มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และอื่นๆ (Metcalf and Eddy, 1991) ลักษณะของบ่อหมักไร้อากาศแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ลักษณะของบ่อหมักไร้อากาศ

ขนาดพื้นที่บ่อ	2,000-8,000 ตร.ม.
ระยะเวลากักเก็บ	20-50 วัน
ความลึกของน้ำในบ่อ	2.5-5.0 ม.
พีเอช	6.2-7.2
อุณหภูมิที่เหมาะสม	30 ° ซ
ภาระ BOD_5	0.22-0.56 กก./(1,000 ม.^{2}วัน)
ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5	50-85%

ที่มา : เกรียงไกร อุดมสินโรจน์, 2537

ขั้นตอนการย่อยสลายในสภาวะที่ไม่มีอากาศนั้นเริ่มจากแบคทีเรียที่สร้างกรด (acidogenic bacteria) จะย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กเช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และตัวอื่นๆทำให้น้ำเสียมีกลิ่นเปรี้ยว และมีพีเอชลดลง กรดไขมันระเหยเหล่านี้จะเป็นสารกึ่งกลางที่สำคัญและสารกึ่งกลางที่พบมากที่สุดคือ กรดอะซิติก ซึ่งจะถูกย่อยสลายต่อไปโดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ซึ่งได้แก่แบคทีเรียในสกุล *Methanobacterium Methanosarcina* และ *Methanococcus* โดยจะเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนนี้เจริญได้เฉพาะในสภาวะที่ไร้อากาศเท่านั้น สามารถเจริญได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-7.2 เจริญได้ทั้งช่วงอุณหภูมิปานกลาง (15-40°ซ) และช่วงอุณหภูมิสูง (55-65°ซ) แบคทีเรียกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตช้า และมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมน้อยมาก (Novaes, 1986 and Ronald, 1981)

ส่วนแบคทีเรียชนิดอื่นๆจะย่อยสลายสารอินทรีย์ ให้สารที่มีกลิ่นเหม็นต่างๆ เช่น แอมโมเนีย, อินโดล (indole), skatal, mercaptan, aldehyde และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นผลให้น้ำทิ้งมีกลิ่นเหม็นเน่าและมีสีดำเกิดขึ้น (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

6. แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต

แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ในสภาพที่ไม่ต้องการออกซิเจน โดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Desulfovibrio* และอื่นๆ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

6.1 *D. desulfurican* สามารถเปลี่ยนแปลงซัลเฟต ซัลไฟต์ ไธโอซัลเฟต ให้เป็นซัลไฟด์ ดังสมการที่ 6.1.1 และ 6.1.2

$$SO_4^{2-} + 4\,H_2 \xrightarrow{\textit{D. desulfurican}} S^{2-} + 4\,H_2O \quad \text{..... 6.1.1}$$

ซัลเฟต ซัลไฟด์

$$SO_3^{2-} + 3\,H_2 \xrightarrow{\textit{D. desulfurican}} S^{2-} + 3\,H_2O \quad \text{..... 6.1.2}$$

ซัลไฟต์ ซัลไฟด์

6.2 แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตในสกุลอื่นๆ เช่น *Desulfotomaculum*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas zelinskii* ฯลฯ

Brock และ คณะ (1984) กล่าวถึงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตในสกุล *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfococcus*, *Desulfosarcins* และ *Desulfonema* ไว้ในตาราง 5

ตาราง 5 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต

สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม	พีเอช	4.2-10.4
	ความดัน	1-1,000 atm
	อุณหภูมิ	0-100 °ซ
	ความเค็ม	น้ำจืด ถึงน้ำเกลือ 5%
ตัวรับอิเล็คตรอนสำหรับการรีดิวซ์ซัลเฟต	สารที่ใช้ทั่วไป	ไฮโดรเจน แลคเตท ไพรูเวท
	สารที่จำเป็นสำหรับโครงสร้าง	ฟอร์เมท คลอไรด์ เอธานอล ฟูมาเลท มาเลท โพรพิโอเนท อะซิเตท บิวทิเรท เบนโซเอท กรดไขมันระเหย

ที่มา : Brock และ คณะ (1984)

7. การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต

แบคทีเรียที่รีดิวซัลเฟตพบว่ามักจะเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างแบคทีเรียทั้งสองยังไม่เป็นที่กระจ่างมากนัก แต่พบว่าการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียทั้งสองจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมเป็นสำคัญ ในสภาวะที่มีปริมาณซัลเฟตสูงเช่น สภาพดินตะกอนใต้ทะเลจะเกิดการรีดิวซ์ซัลเฟตสูงกว่าการสร้างมีเทน ส่วนในดินตะกอนน้ำจืดจะมีการสร้างมีเทนสูงกว่า Choi และ Rim (1990) ได้ศึกษาการแข่งขันของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล พบว่าจะเกิดการแข่งขันกันสูงมากที่อัตราส่วนของ ซีโอดีต่อปริมาณซัลเฟต ในช่วง 1.7 ถึง 2.7

โดยเมื่ออัตราส่วนสูงขึ้นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะมีบทบาทสำคัญกว่าแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต และเมื่ออัตราส่วนต่ำลงแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต ก็จะมีความโดดเด่นและมีบทบาทมากกว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะถูกยับยั้งเมื่อในระบบมีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 2,000 มก.ต่อลิตร เมื่อผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะมีปริมาณซัลไฟด์เกิดขึ้นเท่ากับ 160 -200 มก.ต่อลิตร ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะถูกยับยั้งเมื่อมีปริมาณซัลเฟต 1,200 มก.ต่อลิตร ซึ่งเมื่อผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะมีปริมาณซัลไฟด์เกิดขึ้นเท่ากับ 120-140 มก.ต่อลิตร

ปัจจัยที่ทำให้การสร้างมีเทนถูกยับยั้งคือ ความสามารถของแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะแข่งขันกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อแย่งชิงไฮโดรเจน และตัวให้อิเล็กตรอนอื่นๆ เช่น อะซิเตท เมธานอล ฟอร์เมท และ โพรพิโอเนท จากระบบ ในสภาพที่มีปริมาณซัลเฟตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้จะสามารถเมตาโบไลซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าพวกมีเทน ทำให้การสร้างมีเทนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Novaes, 1986 qouted in Zeikus, 1979) และในสภาวะที่มีปริมาณซัลเฟตสูงแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะเปลี่ยนซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Novaes, 1986)

Ueki และ คณะ (1988) พบว่าในสภาวะที่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนถูกยับยั้งจะเกิดการสะสมของอะซิเตท แต่ถ้ามีการยับยั้งของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะมีการสะสมของทั้งอะซิเตท กรดไขมันอื่นๆ และปริมาณไฮโดรเจน (ในรูปไฮโดรเจนอิสระ)

Novaes (1986) ศึกษาถึงการหมักของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ พบว่าแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตมีบทบาทสำคัญเนื่องจากสามารถเป็นทั้งแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (acetogenic bacteria) ซึ่งแบคทีเรียที่สร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ได้และเป็นแบคทีเรียที่สามารถจะแข่งขันกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนในการแย่งชิงสารอาหาร อีกทั้งยังสามารถยับยั้งแบคทีเรียที่สร้างมีเทนในสภาวะที่มีปริมาณซัลเฟตสูง

8. ลักษณะของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่ออยู่ในสถานะก๊าซจะไม่มีสี มีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า ละลายน้ำได้ หนักกว่าอากาศ เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจทำให้เยื่อบุจมูกและตาเกิดการระคาย

เคือง ถ้าหายใจเข้าไปทีละน้อยเป็นเวลานานจะปวดศรีษะวิงเวียนคลื่นไส้ รู้สึกเหมือนถูกเผาไหม้ในลำคอ ไอ เป็นตะคริว ชีพจรเต้นช้าและอ่อน ชัก หายใจไม่ออก ถ้าเข้มข้นมากจะทำให้หมดสติ ในสภาวะที่เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีคุณสมบัติดังนี้ ค่าจุดติดไฟ (ignition point) 260°ซ ค่าการแพร่กระจายได้ในอากาศ (exposure limit) 4.3 - 46% ปริมาณสารที่มีได้สูงสุดในบรรยากาศ (TLV) 10 ppm (15mg.m^{3-}) (Crawford, 1976) recognition threshold 0.00047 ppm by volume (Hesketh and Cross, 1989) ตาราง 6 ข้างล่างสรุปให้เห็นถึงผลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อมนุษย์

ตาราง 6 ผลกระทบทางสรีระวิทยาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อมนุษย์

ความเข้มข้นในอากาศ (ส่วนในล้านส่วน)	ผลกระทบ
30 0.045	กลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า
100 0.15	ประสาทรับรู้กลิ่นเสื่อมสภาพใน 2-15 นาที
200 0.3	ไอ และ ตาแดง
300 0.45	ประสาทรับรู้กลิ่นเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว
600 0.9	สิ้นสติภายในเวลา 30 นาที
800 1.2	สิ้นสติอย่างรวดเร็ว
1,000 1.5	สิ้นสติทันที
2,000 3	เสียชีวิตในเวลาไม่กี่นาที

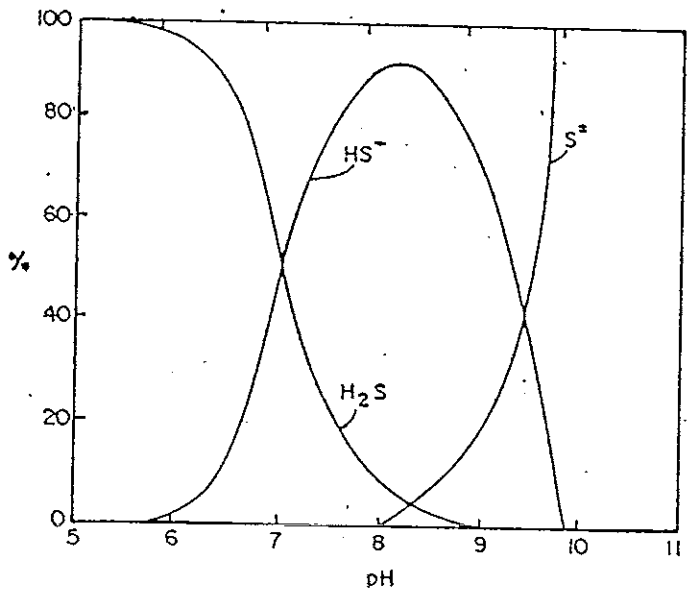
ที่มา : Dally, 1982

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถละลายน้ำได้ รูปแบบของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำซึ่งปรากฏอยู่ในสภาพแวดล้อมจะขึ้นกับค่าพีเอช เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามสมดุลเคมี ซึ่งมีขั้นการแตกตัวดังนี้

$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$$

$$HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-}$$

ในสภาพที่พีเอชสูงส่วนมากจะอยู่ในรูปซัลไฟด์ (S^{2-}) ในสภาพที่พีเอชเป็นกลางส่วนมากจะอยู่ในรูป HS^- และที่พีเอชเป็นกรดมักอยู่ในรูป H_2S เป็นส่วนใหญ่ (Brock, *et al.*, 1984) ดังแสดงในภาพประกอบ 3 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีกลิ่นเหม็นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวเช่น H_2S ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัวเช่น HS^- และ S^{2-} จะไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (สิริ ทุกข์วินาท, 2528)

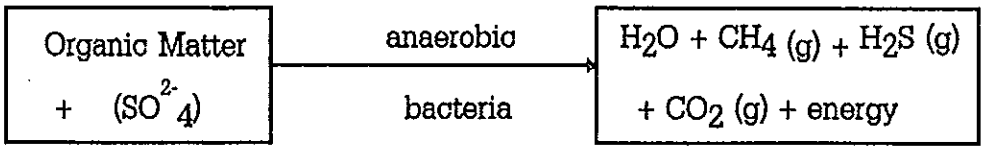


ภาพประกอบ 3 ผลของพีเอชต่อสมดุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ - ซัลไฟด์

ที่มา : Sawyer and Mc Carty, 1978

9. การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ปฏิกริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นเมื่อไม่มีออกซิเจนอิสระ แบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจนจะเผาผลาญสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในสารประกอบ เช่น จากซัลเฟตทำให้สารอินทรีย์สลายตัวให้พลังงาน และสารประกอบอื่นที่มีกลิ่นเหม็นเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (พิมล เรียนวัฒนาและ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525) ดังแสดงภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศโดยแบคเรียที่ไม่ต้องการอากาศ
ที่มา : พิมล เรียนวัฒนาและ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525

การเปลี่ยนซัลเฟตเป็นซัลไฟด์เกิดจากแบคทีเรียที่เจริญในสภาพที่ไม่ต้องการออกซิเจนบางชนิดที่สามารถใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่สำคัญได้แก่ แบคทีเรียในสกุล Desulfovibrio และ Sulfate reducing bacteria อื่นๆ (บัญญัติ สุชครีงาม, 2534)

10. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์

10.1 ค่าพีเอช (pH)

ในระบบบำบัดแบบบ่อหรือถังหมักไร้อากาศ ค่าพีเอชจะมีผลต่อการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างมีนัยสำคัญ Mc Farland และ Jewell (1989) ได้ศึกษาถึงผลของพีเอชที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดในถังหมักไร้อากาศ พบว่าถังหมักที่มีการปรับค่าพีเอชจาก 6.7 เป็น 8.2 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงมากกว่า 96%

Oleszkiewicz และคณะ (1989) ได้ศึกษาผลของพีเอชในถังหมักไร้อากาศ พบว่าการควบคุมพีเอชให้สูงขึ้นจากเดิม 6.5- 7.5 เป็น 7.7 - 7.9 จะสามารถยับยั้งไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปที่ไม่แตกตัว (H_2S) ได้

10.2 ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (sulfate loading rate)

Chen และ Liao (1990) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูง พบว่าน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงจะก่อให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีผลยับยั้งแบคทีเรียที่สร้างมีเทน Kroiss และ Plahl-Webnegg (1983) แสดงให้เห็นว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 50 มก/ล จะยับยั้งแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้มากกว่า 40% และถ้ามีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 250 มก/ล จะยับยั้งอย่างสมบูรณ์และก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นและการกัดกร่อน และมีแนวโน้มว่าจะทำให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม

Kabdasli และ Tunay (1993) ได้ศึกษาการดึงซัลเฟตออกจากน้ำเสียโดยใช้ปูนขาวตกตะกอนร่วมกับเกลือแบเรี่ยม พบว่าการใช้ปูนขาวตกตะกอนเพียงอย่างเดียวประสิทธิภาพของการตกตะกอนจะขึ้นกับความเข้มข้นของซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ และปริมาณแคลเซียม ($CaSO_4$) ในระบบการตกตะกอนโดยใช้ปูนขาวร่วมกับเกลือแบเรี่ยมจะให้ผลที่ดีกว่าแต่ค่าใช้จ่ายจะสูงและต้องอาศัยเวลาสำหรับการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์

10.3 ปริมาณโลหะหนักในระบบ

จงจินต์ และ กัณฑิมา (2535) ได้ศึกษาการตกตะกอนทองแดงกับซัลไฟด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ซัลไฟด์สามารถลดความเป็นพิษของโลหะหนักโดยใช้เป็นสารช่วยการตกตะกอน

Mc Farland และ Jewell (1989) ศึกษาการควบคุมระดับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการเติมสารละลายเฟอร์ริกฟอสเฟต ($FePO_4$) การใช้สารละลายเฟอร์ริกต่อซัลไฟด์ ($FePO_4$ - Fe : SO^{2-}_4-S) ในอัตราส่วนจาก 0 ถึง 3.5 ในน้ำเสียที่เข้าสู่ถังหมักไร้อากาศจะทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดจาก 2,400 มก/ล เหลือเพียง 100 มก/ล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยาง
2. เพื่อประเมินหาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานยาง

3. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้อากาศกับกลิ่นของน้ำเสีย

4. เพื่อประเมินสภาพปัญหาเรื่องกลิ่น อันเกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อหมักไร้อากาศรวมทั้งเสนอแนวทางวิธีการควบคุมไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศ โดยมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปัจจัยที่ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยตรง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบปริมาณและประเมินสภาพปัญหาของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานยาง

2. สามารถดำเนินการควบคุมบรรเทาและ แก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานยางได้

ขอบเขตการวิจัย

เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับนำไปสู่การแก้ไขบรรเทาและจัดการปัญหาเรื่องกลิ่นอันเกิดเนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียประเภทบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้กันมากในโรงงานยาง การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ คือ

1. ศึกษาปริมาณและคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียของโรงงานยางที่เข้าและออกจากระบบบ่อหมักไร้อากาศ โดยศึกษาถึงตัวแปรคุณภาพน้ำเช่น พีเอช, อุณหภูมิ, DO, BOD_5, COD, SS, Alkalinity, Sulfate, Total Sulfide, Hydrogensulfide รวมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียการดูแลและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้ดำเนินการจริงในสภาพปัจจุบัน ทั้งนี้โดยเลือกระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางของบริษัทฉลองอุตสาหกรรมยางชัน เป็นตัวแทนของโรงงานยางสำหรับการศึกษา

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

2. ศึกษาผลของพีเอช (pH) และปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ (organic loading) ที่มีต่อปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic treatment) โดยศึกษาภายใต้ถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ ณ ห้องปฏิบัติการ
3. ศึกษาและประเมินถึงผลของปริมาณไฮโดรซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางกับปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่เกิดขึ้น

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างทางด้านเคมี

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาคุณภาพน้ำเสีย ใช้น้ำเสียจากโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด ณ เลขที่ 75/1 ถนน จะนะ-หนองจิก หมู่ที่ 8 ตำบลบ้านนา อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลาและโรงงานพาราเท็กซ์จำกัด ณ เลขที่ 108 หมู่ 8 ถนนกาญจนวนิช ตำบลพะตง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดย

1.1 น้ำเสียจากโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น นำมาเติมในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการและทำการศึกษาด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทั้งหมด รวมทั้งศึกษาเรื่องกลิ่นของน้ำเสีย

1.2 น้ำเสียจากโรงงานพาราเท็กซ์จำกัด นำมาศึกษาเรื่องกลิ่นเพื่อเปรียบเทียบถึงปริมาณกลิ่นของน้ำเสียของโรงงานประเภทเดียวกัน.

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ใช้สารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก)

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. อุปกรณ์สำหรับใช้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ

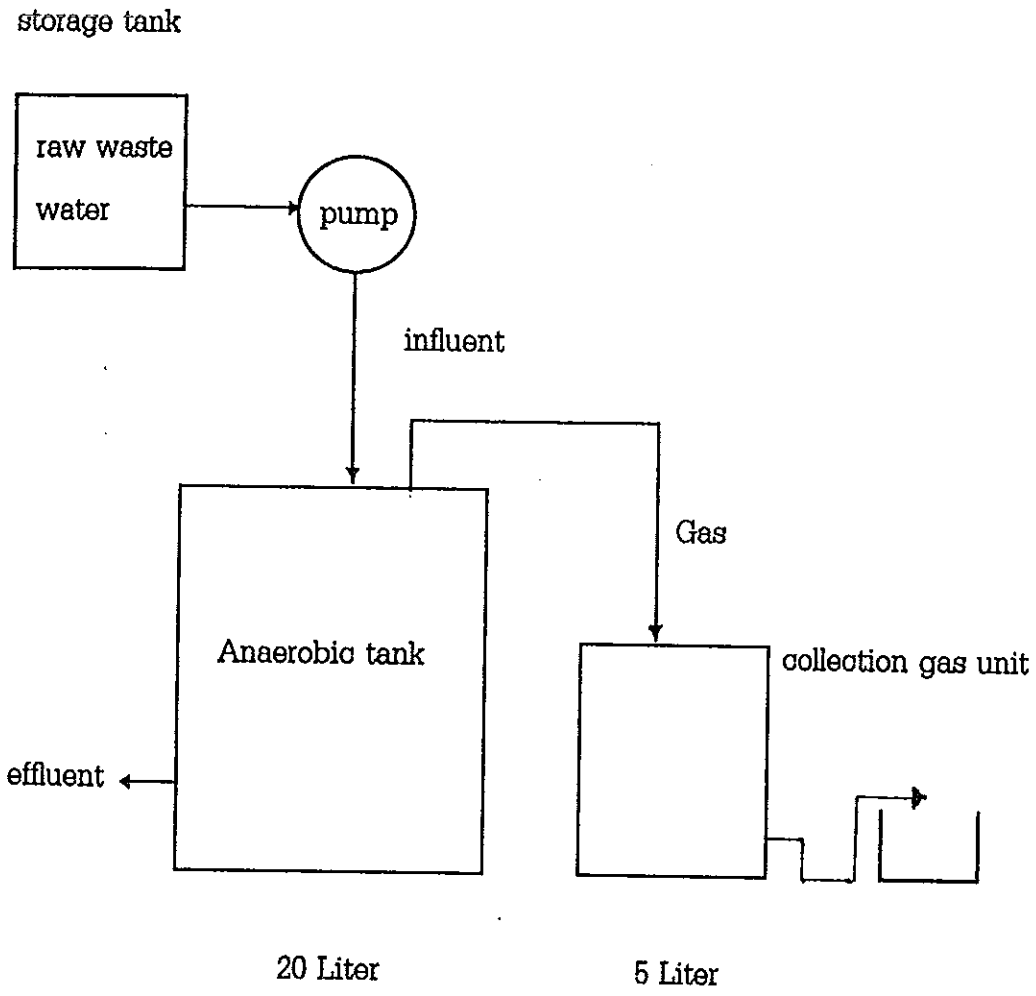
แบบจำลองที่ใช้เป็นถังหมักจะเป็นถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร ฝาถังมีจุกยางปิด มีท่อแก้ว 2 ท่อ สำหรับเติมน้ำเสีย ปรับพีเอช และเป็นท่อนำก๊าซ โดยก๊าซจะถูกเก็บโดยการแทนที่น้ำในถังขนาด 5 ลิตร ดังแสดงในภาพประกอบ 5, 6

2. อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

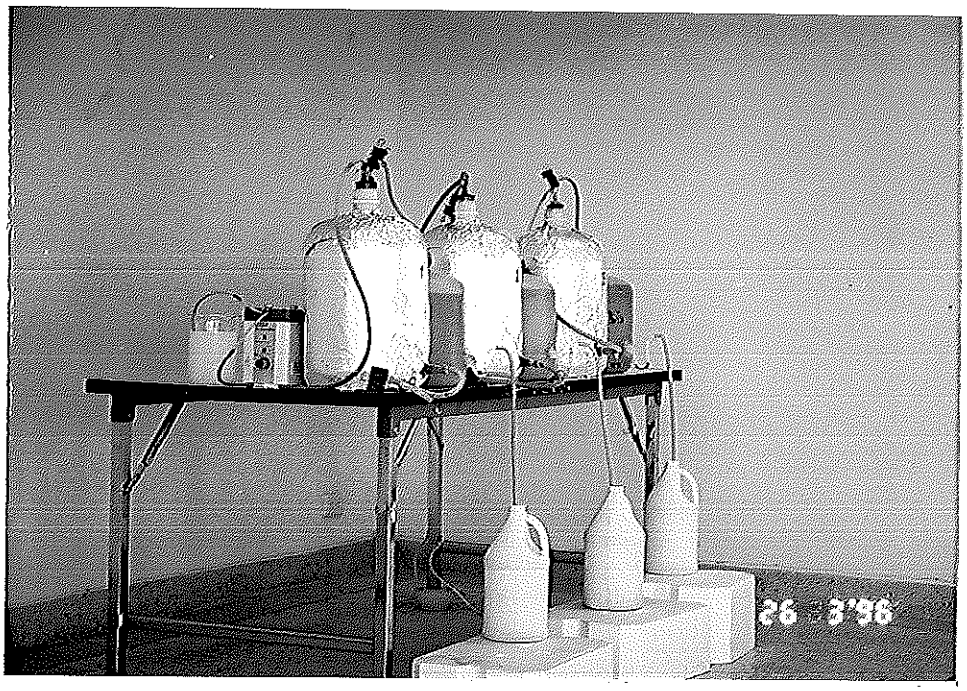
- ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
- ถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร และ 20 ลิตร
- ถังน้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องมือวัดความเป็นกรด, ด่าง (pH meter) รุ่น HI 8314 HANNA, Japan
- เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) รุ่น UV-1601 SHIMADZU, Japan
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ ซีโอดี
- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ บีโอดี
- เตาไฟฟ้า (hot plate)
- ตู้อบความชื้น (oven)
- เครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิ (thermometer)
- เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ



ภาพประกอบ 5 รายละเอียดแบบจำลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ



ภาพประกอบ 6 ลักษณะชุดประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำเสียจากโรงงานตัวแทน

การศึกษามุ่งถึงน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทั้งหมดที่ไหลเข้าและออกจากบ่อหมักไร้อากาศ ทั้งนี้ได้คัดเลือกศึกษาที่โรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จังหวัดสงขลา โดยการศึกษาด้านปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น ใช้วิธีการวัดอัตราการไหลในท่อระบายน้ำเสียรวมก่อนที่จะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียทำโดยการวัดทุก 3 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาการทำงานของโรงงานยางในรอบวัน สำหรับการศึกษาถึงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบ composite sample และวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด และหลังจากการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะทำการศึกษา 2-3 ครั้ง โดยใช้วิธีการดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 วิธีที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์*
pH	pH meter
DO	DO meter
Temperature	Thermometer
BOD_5	Azide Modification method
COD	Dichromate Reflux method
SS	Gravimetric method
Sulfate	Turbidimetric method
Alkalinity	Direct Titration method
Total Sulfide	Iodometric method
Dissolved Sulfide	Iodometric method
Hydrogen Sulfide	Iodometric method
Odor	Odor test

* Ref. : (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

2. การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ศึกษาโดยการสอบถามจากผู้ดูแลระบบของโรงงานยาง ทั้งนี้เพื่อรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นทางวิศวกรรมทางระบบบำบัด การดูแลระบบ ตลอดทั้งปัญหาที่เคยเกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านการผลิตรวมด้วย

3. การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบไม่ใช้อากาศ

ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบไม่ใช้อากาศอันมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงพีเอช และปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานยางซึ่งเก็บน้ำมาจากน้ำเสียรวมซึ่งยังไม่ได้ผ่านการบำบัดขั้นต้นและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้ว โดยการทิ้งให้ตะกอนลอย

ตัวเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 7 มีการควบคุมค่า HRT (Hydraulic Retention Time) เท่ากับ 20 วัน การศึกษาในห้องปฏิบัติการมีการศึกษา 2 ปัจจัย คือ พีเอช (pH) และ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ (organic loading) ดังรายละเอียดในตาราง 8

ตาราง 8 เงื่อนไขของการทดลองปฏิบัติการเพื่อศึกษาผลของพีเอช และ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ต่อปริมาณไฮโดรเจนชัลไฟด์ที่เกิดขึ้น

การทดลอง	ตัวแปรด้านปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ (organic loading)	ตัวแปรด้านพีเอช		
		พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
1	ปริมาณสารอินทรีย์สูง (ใช้น้ำเสียรวมก่อนการบำบัดขั้นต้น)	✓	✓	✓
2	ปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ (ใช้น้ำเสียรวมหลังการบำบัดขั้นต้น)	✓	✓	✓

ระบบบำบัดจำลองซึ่งจัดตั้งในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ 3 ชุด โดยเริ่มต้นทดลองด้วยการนำตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียประเภทไม่ใช้อากาศของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาเติมลงในถังหมักแต่ละถัง โดยตะกอนที่เติมจะใช้ร้อยละ 20 ของปริมาตรรวมทั้งหมด แล้วเติมน้ำเสียในแต่ละถังให้มีปริมาตรรวม 20 ลิตร จากนั้นทำการเติมน้ำเสียและปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่องในปริมาตร 1 ลิตรต่อวัน จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งใช้เวลาในระยะเริ่มต้นประมาณ 30 วัน ควบคุมพีเอชในแต่ละถังให้เท่ากับ 6, 7 และ 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นประจำ

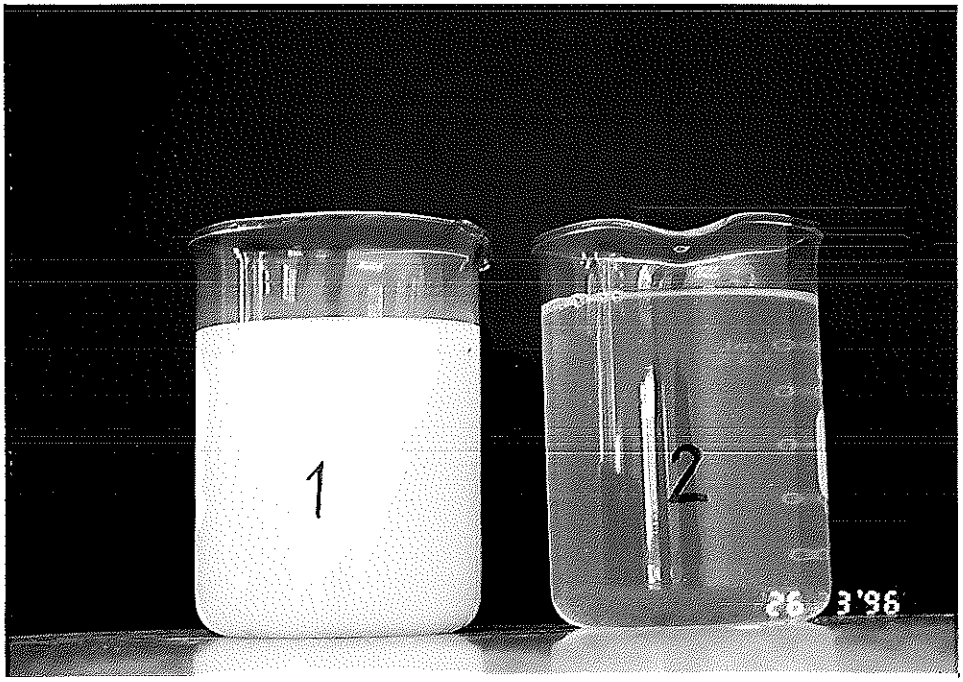
4. การวิเคราะห์และประเมินผลปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัด และปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 1 และ 3 โดยทำการวิเคราะห์ค่า COD, Sulfate, SS, Hydrogensulfide ในน้ำเสียก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัดจำลอง ที่สภาวะทดลองต่างๆ ทั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 7 โดยทำการรวบรวมและเสนอผลในรูปร้อยละ ตาราง และกราฟ สรุปผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษากลิ่นจากน้ำเสีย (การศึกษาในหัวข้อ 5) รวมด้วย เพื่อเสนอแนะแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อบรรเทาและแก้ไขปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อไป

5. การศึกษาเรื่องกลิ่นของน้ำเสีย

5.1 ศึกษาโดยใช้น้ำเสียจริงที่สำรวจในภาคสนามโดย ใช้น้ำเสียจากบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด และโรงงานพาราเท็กซ์จำกัด โดยศึกษาไปพร้อมกับหัวข้อ 1

5.2 ศึกษาโดยใช้น้ำเสียที่ได้จากระบบบำบัดจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยการเก็บตัวอย่างทุกๆ 1-6 วัน การศึกษากลิ่นของน้ำเสียใช้วิธีตามที่ได้ระบุไว้ใน Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WPCF, 1992)



1 หมายถึง น้ำเสียรวมที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด

2 หมายถึง น้ำเสียรวมที่ได้ผ่านการบำบัดโดยการทิ้งให้ตะกอนลอยตัว

ภาพประกอบ 7 ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น และที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นแล้ว

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวแทนที่ทำการวิจัย

ลักษณะโรงงานตัวแทนที่ทำการศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพารา ซึ่งทำการผลิตยางแท่ง (STR 5L) ยางน้ำข้น และยางสกิม มีกำลังผลิตต่อวันเฉลี่ยดังนี้

ยางแท่ง 5L	30,500 กิโลกรัมต่อวัน
น้ำยางข้น 60 %	19,000 กิโลกรัมต่อวัน
ยางสกิมเครพ	1,900 กิโลกรัมต่อวัน

1.1 ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงาน

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวแทน เป็นระบบบำบัดแบบบ่อธรรมชาติ ซึ่งมีทั้งระบบที่ใช้และไม่ใช้อากาศ ประกอบด้วย

-บ่อดักเศษยาง (rubber trap)

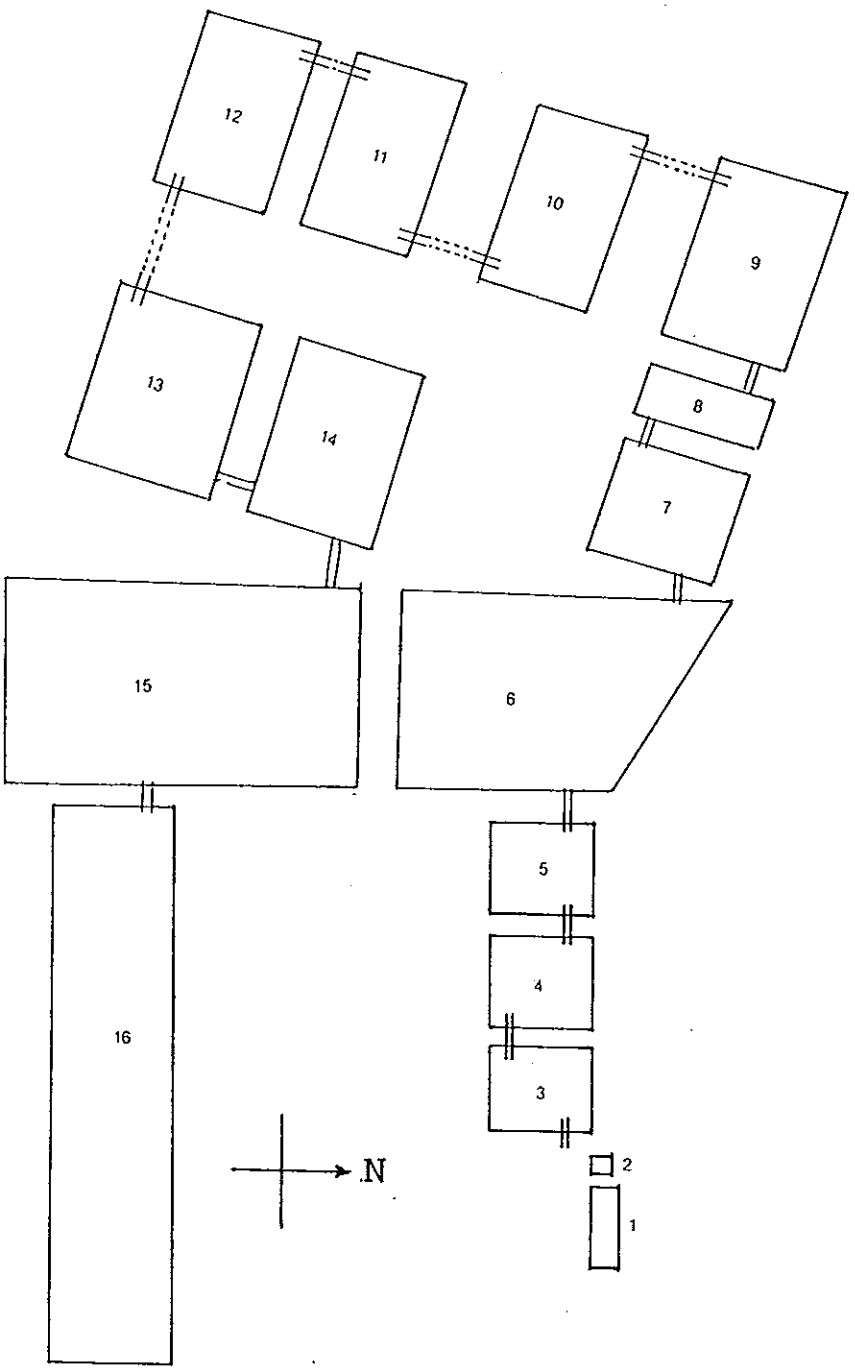
-บ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic pond) จำนวน 2 บ่อ

-บ่อแฟคัลเททีฟ (facultative pond) จำนวน 1 บ่อ

-บ่อผึ่ง (oxidation pond)จำนวน 10 บ่อ

-บ่อขัดแแต่ง (polishing pond) จำนวน 1 บ่อ

ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ศึกษาโดยทำการวัดอัตราการไหลในท่อระบายน้ำรวมก่อนที่จะไหลเข้าสู่บ่อดักเศษยาง โดยทำการวัดทุก 3 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาทำการผลิตในรอบวัน พบว่าปริมาณน้ำเสียรวมที่เข้าระบบเท่ากับ 1,816 ลบ.ม/วัน โดยช่วงทำการศึกษาเป็นช่วงที่มีการผลิตสูงสุดในรอบปี (เดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม) ลักษณะแผนผังของระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในภาพประกอบ 8



<u>หมายเหตุ</u>	3-4 หมายถึง บ่อหมักไร้อากาศ
อัตราส่วน 1 : 3500	5 หมายถึง บ่อแฟคัลเททีฟ
1 หมายถึง บ่อดักเศษยาง	6-15 หมายถึง บ่อผึ่ง
2 หมายถึง จุดปรับพีเอช	16 หมายถึง บ่อขัดแต่ง

ภาพประกอบ 8 แผนผังรวมของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานตัวแทน

1.2 คุณลักษณะของน้ำเสียหลังออกจากบ่อดักเศษยาง

น้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตจะไหลผ่านบ่อดักเศษยาง โดยบ่อดักเศษยางจะทำหน้าที่แยกเศษยางที่ปะปนมากับน้ำเสีย ช่วงเวลาที่น้ำเสียไหลผ่านบ่อดักเศษยาง สภาพพีเอชที่เป็นกรดจะทำให้เศษยางในน้ำเสียจับตัวและลอยขึ้นเป็นชั้นอยู่บริเวณผิวน้ำ ซึ่งสามารถจะแยกเศษยางเหล่านี้ออกมาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ส่วนน้ำที่เหลือจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป คุณภาพของน้ำเสียหลังออกจากบ่อดักเศษยาง แสดงในตาราง 9 พบว่าน้ำเสียออกจากบ่อดักเศษยางมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 1,200-5,600 มก/ล จากข้อมูลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งต่อจากบ่อดักเศษยางจะมีปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ 1,800-8,400 กก. บีโอดี/วัน เมื่อคิดอัตราการเกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ย 1,500 ลบ.ม/วัน

ตาราง 9 คุณภาพของน้ำเสียหลังออกจากบ่อดักเศษยาง

วันที่ตรวจสอบ	ค่า BOD_5 (mg/l)
	น้ำเสียหลังออกจากบ่อดักเศษยาง
7 สค. 37	4440.0
13 พค. 38	3960.0
23 มิย. 38	5164.0
1 พย. 38	1680.0
7 ธค. 38	1200.0
15 มค. 39	5600.0
21 กพ. 39	5250.0

1.3 คุณลักษณะของน้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศ

น้ำเสียหลังออกจากบ่อดักเศษยาง จะมีการปรับพีเอชให้เป็นกลาง เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมักมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะไม่เหมาะสมกับสภาพบ่อหมักไร้อากาศ

หลังจากปรับพีเอชแล้ว น้ำเสียจะไหลสู่บ่อหมักไร้อากาศที่ 1, 2 และ 3 โดยมีพีเอชดังแสดงในตาราง 10 พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักเศษยาง เข้าสู่บ่อหมักไร้อากาศ จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามีการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ในบ่อหมักไร้อากาศโดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมลสารต่างๆ ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานตัวแทน แสดงดังตาราง 11 และภาพประกอบ 9, 10 แสดงถึงลักษณะของบ่อหมักไร้อากาศและน้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานตัวแทน

ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียรวมจากโรงงานตัวแทนก่อนเข้าบ่อดักเศษยางและหลังออกจากบ่อหมักไร้อากาศที่ 2 ในช่วงที่มีการผลิตสูงสุดในรอบปี พบว่ามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 6,992 - 9,984 มก/ ล ค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 5,800 - 6,000 มก/ ล เมื่อคิดอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีมีค่า 0.60-0.83 พบว่าเหมาะสมที่จะใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา เมื่อน้ำเสียผ่านจากระบบบำบัดแบบบ่อหมักไร้อากาศปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกกำจัดออกไป โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและบีโอดีจากบ่อดักเศษยางและบ่อหมักไร้อากาศอยู่ในช่วง 63-73 และ 64-65 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีค่ามากกว่า 500 มก/ล แสดงให้เห็นว่ามีตะกอนในน้ำเสียสูง ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะถูกกำจัดออกโดยการตกตะกอนและการลอยตัวของตะกอนในบ่อดักเศษยางและบ่อหมักไร้อากาศทำให้เกิดการสะสมของตะกอนในบ่อ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดโดยปริมาตรของบ่อลดลงได้ ประสิทธิภาพการกำจัดของของแข็งแขวนลอยจากบ่อดักเศษยางและบ่อหมักไร้อากาศคิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ในช่วง 62-68 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยจะลดลงเหลือ 200-216 มก/ล

ตาราง 10 ค่าพีเอชของน้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศ

วันที่ตรวจสอบ	ค่าพีเอช			
	a	b	c	d
12 มค. 39	5.31	6.08	6.50	7.12
19 มค. 39	5.42	6.45	6.65	7.01
26 มค. 39	5.15	6.18	6.48	6.84
2 กพ. 39	5.09	6.22	6.61	7.02
13 กพ. 39	5.32	6.29	6.68	7.16
16 กพ. 39	5.18	6.10	6.77	7.01
21 กพ. 39	5.26	6.25	6.82	7.16
23 กพ. 39	5.31	6.50	6.88	7.38
1 มีค. 39	8.82*	6.41	6.86	7.31
8 มีค. 39	5.54	6.57	6.85	7.26

หมายเหตุ

a หมายถึง น้ำเสียออกจาก rubber trap

b หมายถึง น้ำเสียในบ่อ anaerobic 1

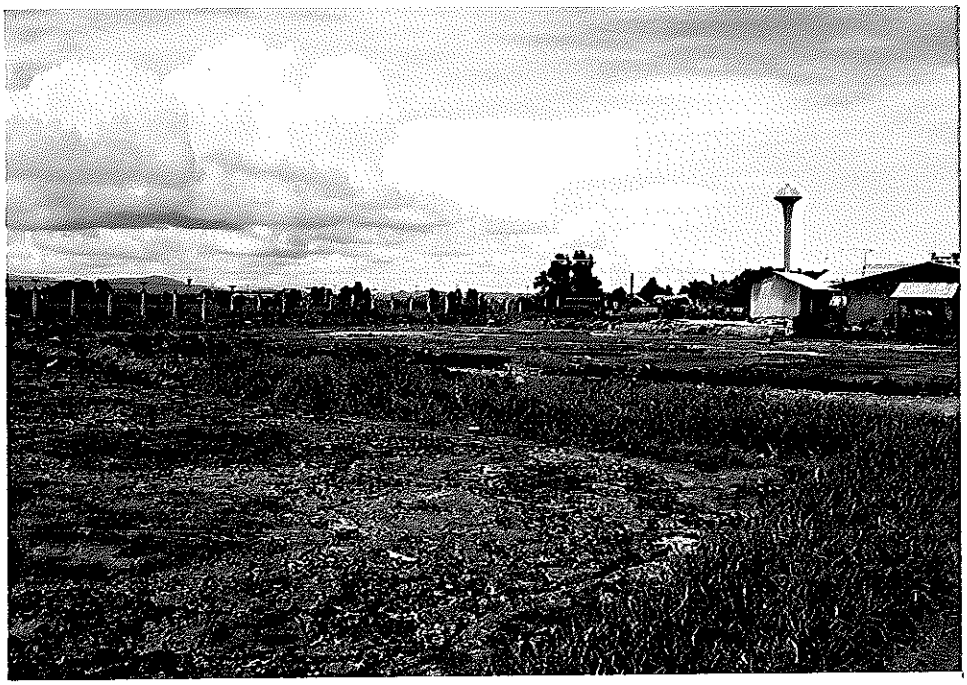
c หมายถึง น้ำเสียในบ่อ anaerobic 2

d หมายถึง น้ำเสียในบ่อ facultative

* rubber trap เกิดอุดตัน

ตาราง 11 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานยาง

วันที่เก็บตัวอย่าง	21 มีนาคม 2539		8 เมษายน 2539	
วิธีการเก็บตัวอย่าง	composite sampling		composite sampling	
พารามิเตอร์	น้ำเสียรวม	น้ำเสียที่ออกจากบ่อ anaerobic 2	น้ำเสียรวม	น้ำเสียที่ออกจากบ่อ anaerobic 2
pH	6.73	7.16	5.54	7.26
temperature (^{o}C)	27.0	27.5	27.0	27.0
DO (mg/l)	0	0	0	0
Total sulfide (mg/l)	16.8	59.2	16.2	56.0
Dissolved sulfide (mg/l)	10.2	40.0	10.0	40.6
H_2S (mg/l)	6.22	15.2	9.6	14.9
COD (mg/l)	9984.0	2633.3	6992.0	2576.0
BOD_5 (mg/l)	6000.0	2100.0	5800.7	2083.3
SS (mg/l)	631.6	200.0	573.3	216.7
Sulfate (mg/l)	400.0	110.0	350.0	100.0
Alkalinity (mg/l)	390.0	2816.7	500.0	2716.7



ภาพประกอบ 9 ลักษณะบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานตัวแทนที่ทำการศึกษา

ภาพประกอบ 10 ลักษณะของน้ำเสียจากบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานตัวแทนที่ทำการศึกษา

นอกจากนี้ในขั้นตอนการผลิตยางสกิมจะมีการเติมกรดซึ่งกรดที่ใช้เป็นกรดซัลฟูริค ทำให้มีปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียอยู่ในช่วง 350-400 มก/ล เมื่อน้ำออกจากบ่อหมักไร้อากาศ ปริมาณซัลเฟตจะลดลงอยู่ในช่วง 100-110 มก/ล ซึ่งเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วง 71-72 อนึ่งปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศคิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ในช่วง 35-59 โดยปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำในบ่อหมักไร้อากาศมีค่า 14-15 มก/ล สภาพบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานตัวแทนมีค่าความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 2,700-2,800 มก/ล แสดงว่าค่าความเป็นด่างในระบบเอื้อให้เกิดการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียในการกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างดีเพราะโดยทั่วไปบ่อหมักไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดีที่ค่าความเป็นด่างในช่วง 2,000-4,000 มก/ล ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

1.4 ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียโรงงานยาง

ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียศึกษาโดยการสุ่มจากตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าระบบและ น้ำเสียในระบบบ่อหมักไร้อากาศ จากโรงงานตัวแทน 2 โรงงาน คือ โรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด และ โรงงานพาราเท็กซ์จำกัด ได้ผลดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากบ่อหมักไร้อากาศโรงงานยาง

ครั้งที่	ค่า T.O.N.			
	โรงงานฉลอง		โรงงานพาราเท็กซ์	
	A	B	A	B
1	7.6	340	19.3	360
2	19.8	334		
ค่าเฉลี่ย	13.7±8.63*	337±4.24*		

หมายเหตุ *ค่าตัวเลขที่แสดงในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A หมายถึง ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย

B หมายถึง ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่ออกจากระบบบ่อหมักไร้อากาศ

การวัดปริมาณกลิ่นโดยใช้วิธีทดสอบตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WPCF, 1992) ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบบ่อหมักไร้อากาศจะมีกลิ่นซึ่งวัดในรูป T.O.N. (Threshold Odor Number) สูงกว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดประมาณ 30 เท่า แสดงให้เห็นว่ากลิ่นจากโรงงานยางเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

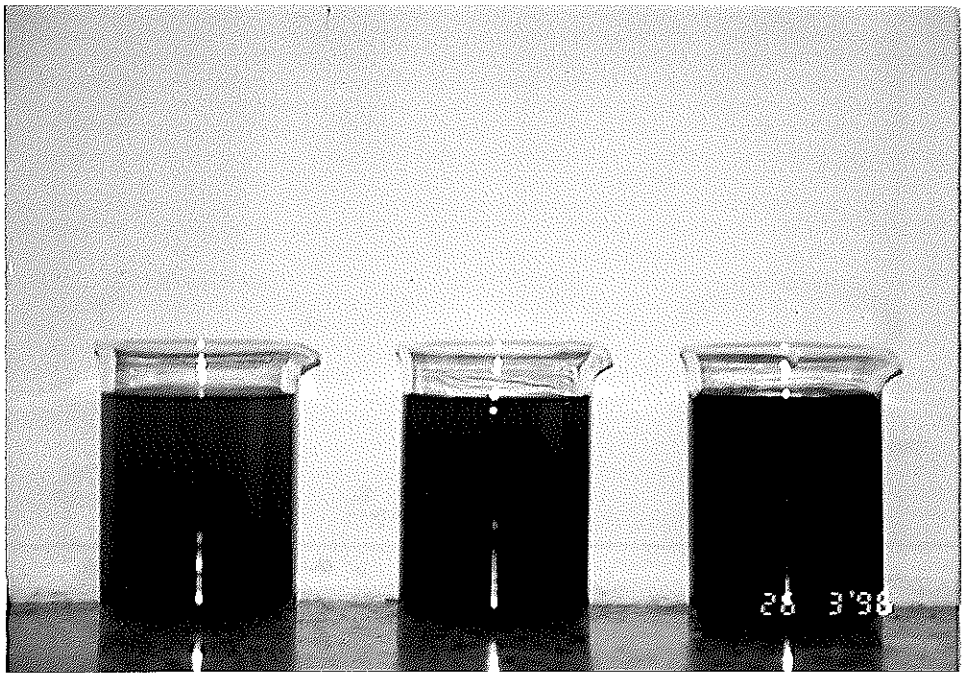
2. ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

เมื่อทำการเติมตะกอนจากบ่อหมักไร้อากาศ (seed) ลงในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง และเติมน้ำเสียด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่องเป็นเวลา 1 เดือน จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่จึงทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากระบบที่ระดับพีเอช 6, 7 และ 8 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงมวลสารต่างๆในแต่ละสภาวะการทดลอง ลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองของแต่ละการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 12 และ 13 โดยการทดลองที่ 1 อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเท่ากับ 0.30 ±.02 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ทำการทดลองติดตามผล 43 วัน (วันที่ 29 - 71 ของการทดลอง) โดยทำการทดลองช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง ธันวาคม 2538 การทดลองที่ 2 อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเท่ากับ 0.26 ± .02 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ทำการทดลองติดตามผล 37 วัน (วันที่ 106-142 ของการทดลอง) โดยทำการทดลองช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม 2539 ลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองของการทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังภาพประกอบ 11, 12

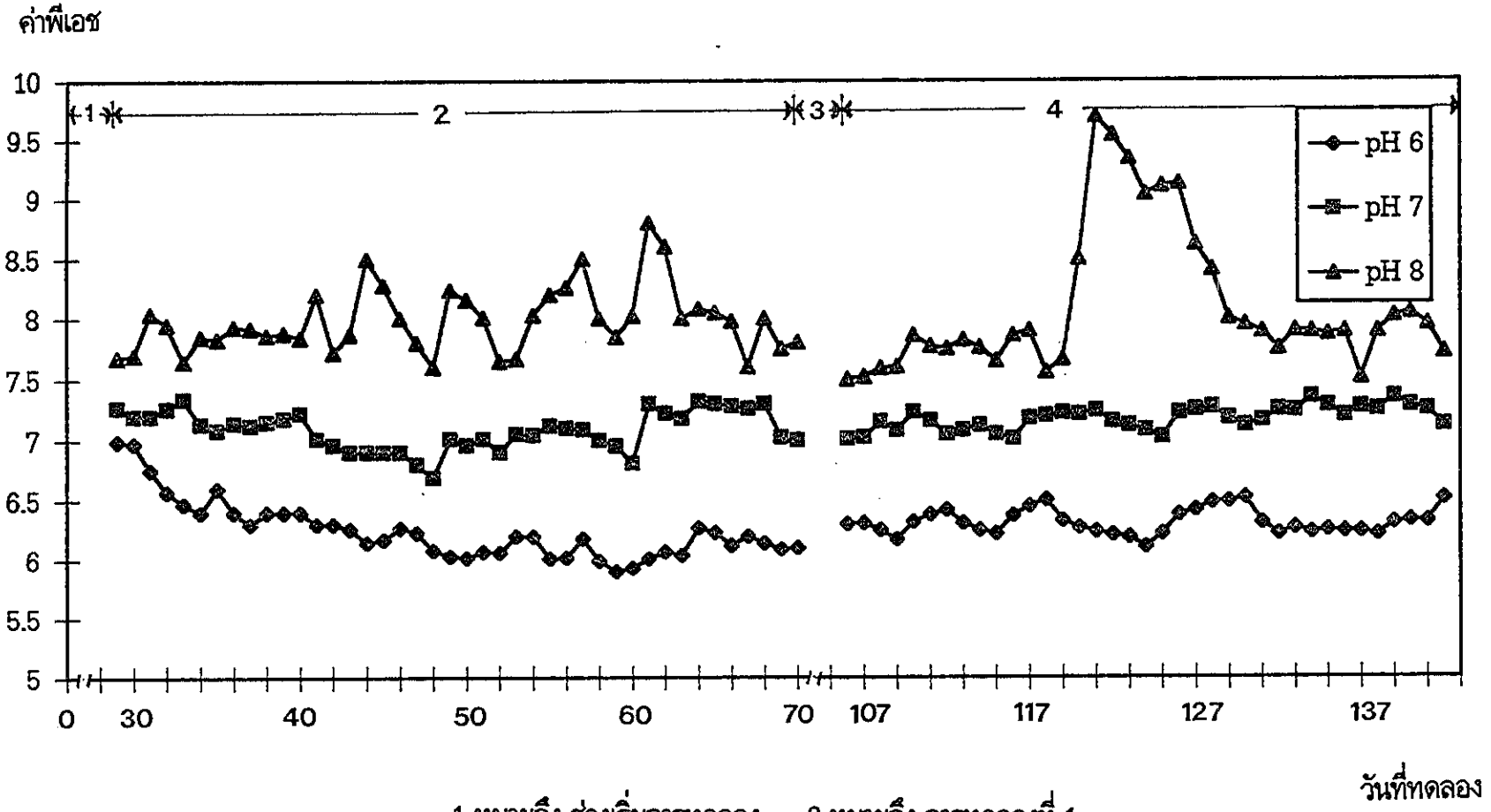
2.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองในห้องปฏิบัติการในแต่ละการทดลอง ประกอบด้วยถังหมัก 3 ถัง ทำการควบคุมค่าพีเอชให้เป็น 6, 7 และ 8 โดยการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนจะป้อนเข้าระบบให้เป็น 6 ,7 และ 8 และมีการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริคและ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในถังหมักเป็นประจำเพื่อให้ได้พีเอชตามที่ควบคุม น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองเป็นไปดังแสดงในตาราง 13 และในภาพประกอบ 13

ภาพประกอบ 11 ลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองของการทดลองที่ 1
(เรียงจากซ้ายไปขวา น้ำเสียจากถังหมักพีเอช 6 , 7 และ 8)



ภาพประกอบ 12 ลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองของการทดลองที่ 2
(เรียงจากซ้ายไปขวา น้ำเสียจากถังหมักพีเอช 6 , 7 และ 8)



1 หมายถึง ช่วงเริ่มการทดลอง 2 หมายถึง การทดลองที่ 1

3 หมายถึง ช่วงเปลี่ยนการทดลอง 4 หมายถึง การทดลองที่ 2

ภาพประกอบ 13 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ตาราง 13 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองที่	ค่าพีเอชเฉลี่ยในแต่ละถังหมัก		
	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
1	6.25±0.25	7.08±0.17	7.99±0.27
2	6.31±0.10	7.18±0.09	8.09±0.61

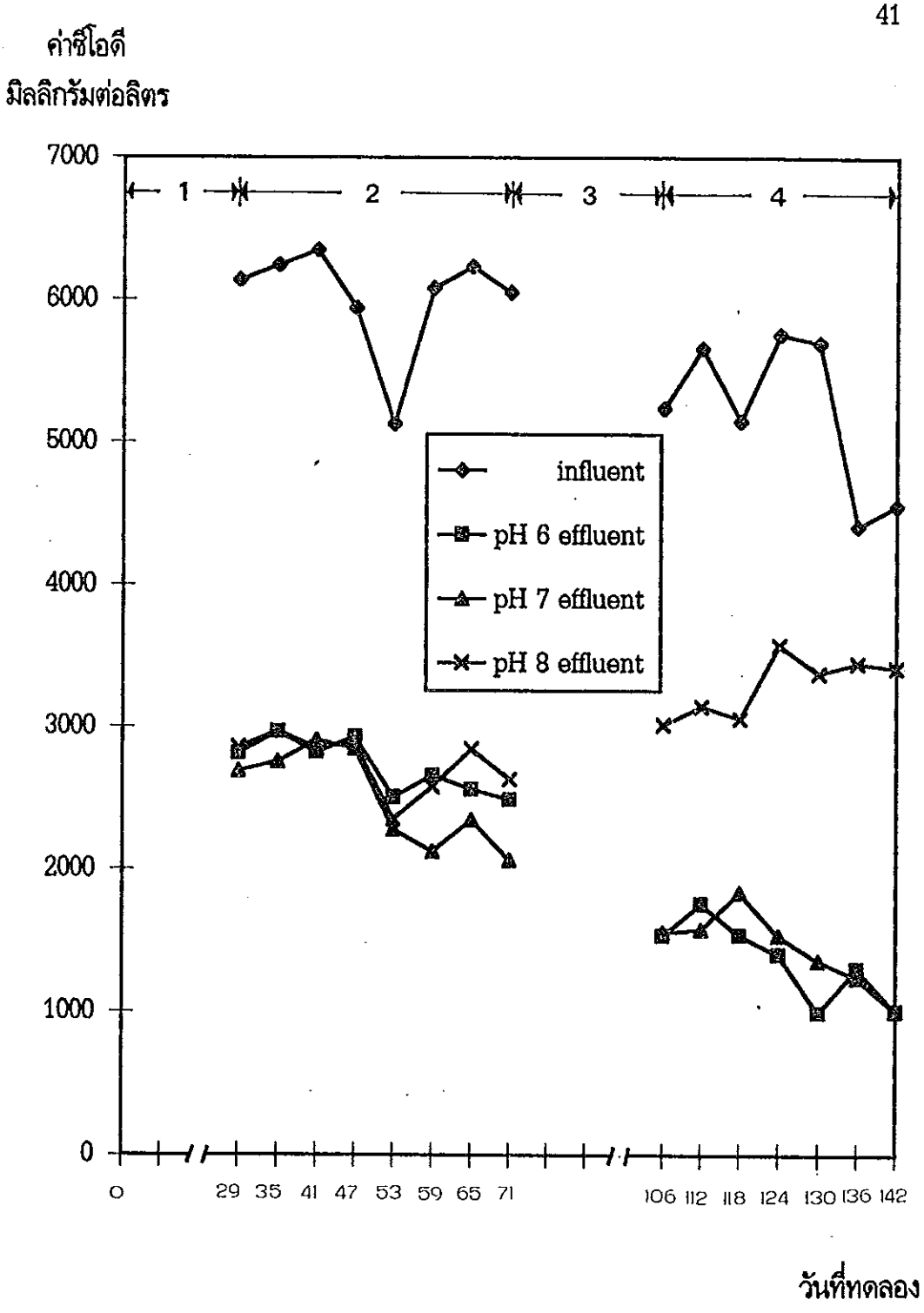
หมายเหตุ ค่าตัวเลขที่แสดงในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

จากการทดลองที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในถังหมักจำลองที่พีเอช 6, 7 และ 8 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 55.14±4.02, 60.14±6.09 และ 54.37±2.39 ตามลำดับ และในการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 74.19±5.31, 72.52±4.69 และ 35.00±9.29 ตามลำดับ ในถังหมักที่พีเอช 8 ของการทดลองที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบลดลง เนื่องจากมีการสะสมของด่างในถังหมัก การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในระบบแสดงดังภาพประกอบ 14

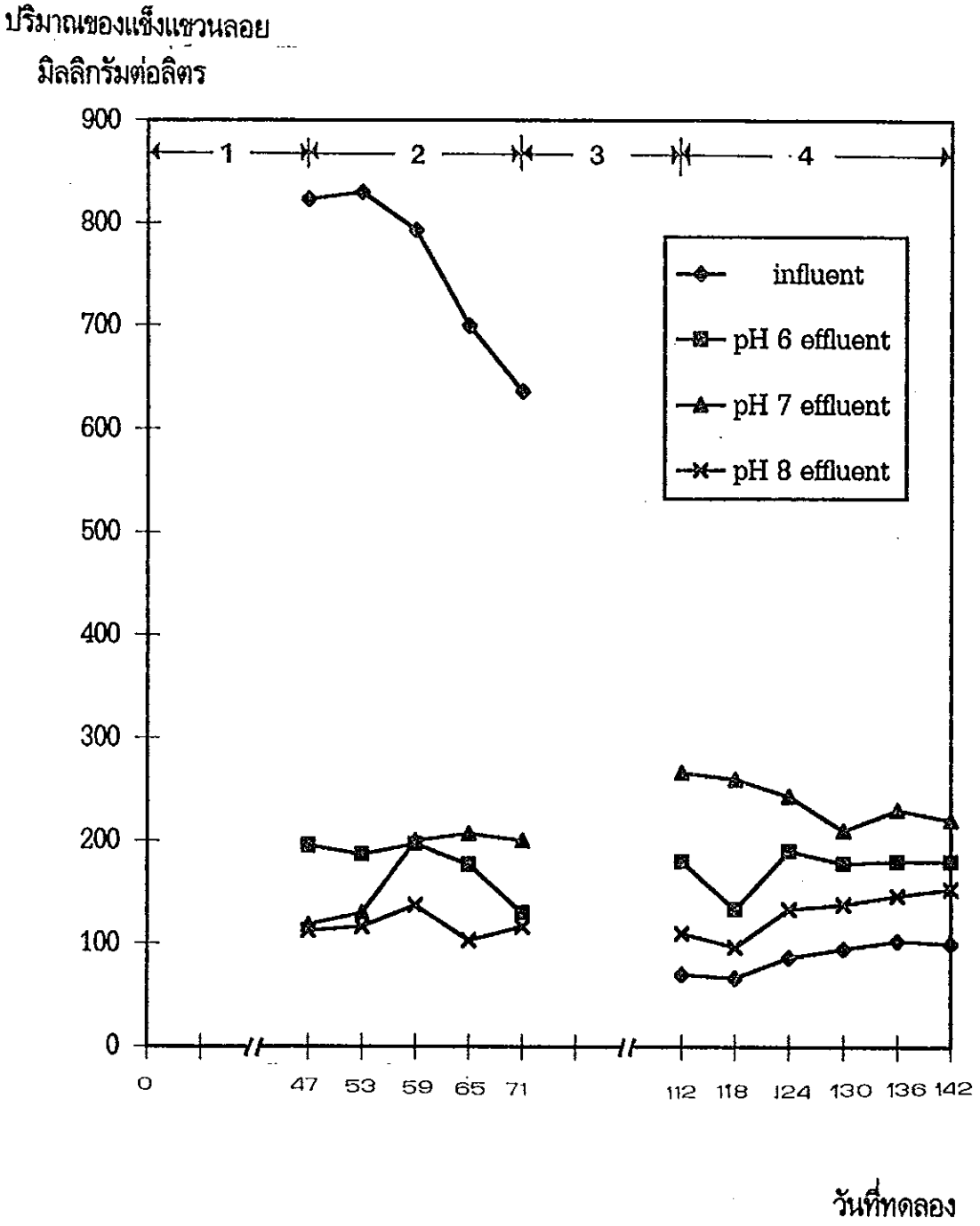
2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองที่ 1 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่าการทดลองที่ 2 เนื่องจากมีเศษยางปะปนในน้ำเสียสูง โดยการทดลองที่ 1 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดที่ถังหมักพีเอช 6, 7 และ 8 มีค่าเท่ากับ 756.67±84.82 มก/ล เมื่อออกจากระบบบำบัดจำลองมีค่าเท่ากับ 177.02±27.48 , 171.0±43.04 และ 117 ±12.45 มก/ล ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งแขวนลอยในถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 เท่ากับ 76.67±1.94, 76.76±7.85 และ 84.70±3.50 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 น้ำเสียผ่านการบำบัดโดยให้ตะกอนลอยตัวแล้วแยกน้ำส่วนที่ใสเติมให้กับระบบ ลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบจะค่อนข้างใส และมีเศษยางปะปนน้อย ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ปริมาณของสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบที่พีเอช 6, 7 และ 8 เท่ากับ 86.81±15.32 มก/ล และจะเพิ่มขึ้นหลังจากน้ำเสียออกจากถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 เท่ากับ



1 หมายถึง ช่วงเริ่มการทดลอง
2 หมายถึง การทดลองที่ 1
3 หมายถึง ช่วงเปลี่ยนการทดลอง
4 หมายถึง การทดลองที่ 2

ภาพประกอบ 14 ค่าซีโอดีที่เข้าและออกจากถังหมักที่พีเอชต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง



1 หมายถึง ช่วงเริ่มการทดลอง 2 หมายถึง การทดลองที่ 1

3 หมายถึง ช่วงเปลี่ยนการทดลอง 4 หมายถึง การทดลองที่ 2

ภาพประกอบ 15 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เข้าและออกจากถังหมักที่พีเอชต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

173.61±20.18, 238.33±22.39 และ 129.72±21.97 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นในถังหมักที่ 6, 7 และ 8 เท่ากับ 49.95±6.82, 62.91±9.38 และ 33.14±2.52 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละการทดลอง พบว่าถังหมักที่ควบคุมค่าพีเอชให้เป็น 8 จะมีค่าต่ำกว่าถังหมักพีเอช 6 และ 7 แสดงดังภาพประกอบ 15

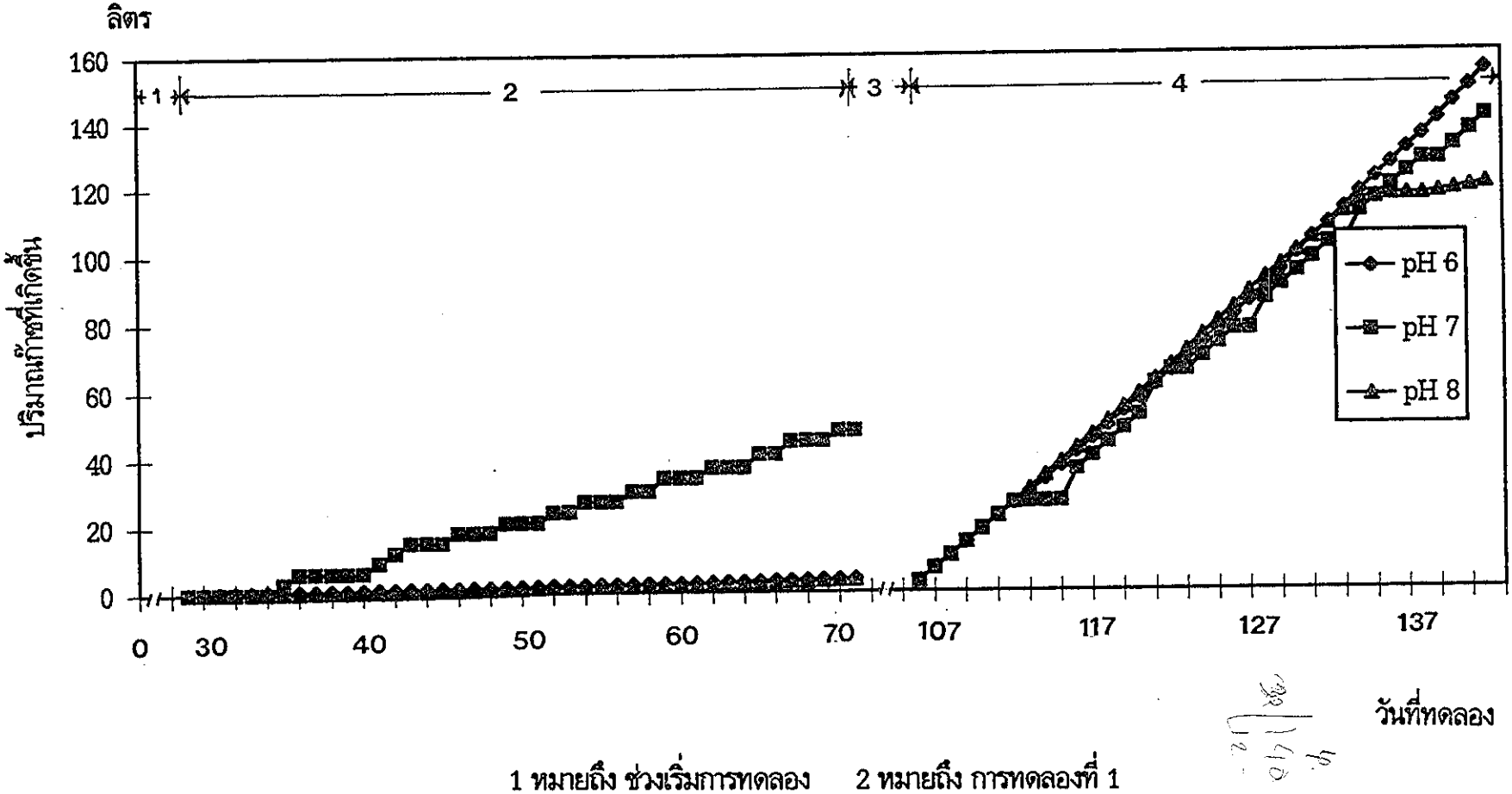
2.4 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

การวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ทำโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ แล้วทำการวัดปริมาตรน้ำแทน โดยสภาพของการทดลองทั้งสองการทดลองมีลักษณะที่แตกต่างกันโดย การทดลองที่ 1 ทำการทดลองในช่วงฤดูฝน (พย.-ธค. 38) อุณหภูมิห้องต่ำอยู่ระหว่าง 27-32 °ซ การทดลองที่ 2 ทำการทดลองในช่วงฤดูร้อน (กพ.-มีค. 39) อุณหภูมิห้องสูงอยู่ระหว่าง 28-37 °ซ การสะสมปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแสดงดังภาพประกอบ 16 และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันเฉลี่ยในแต่ละถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 แสดงดังตาราง 14

ตาราง 14 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองที่	ถังหมัก	ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น		
		ปริมาตรรวม (ลิตร)	ปริมาตรต่อวันเฉลี่ย (ลิตร/วัน)	ปริมาตรต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ (ลิตร/กรัมซีโอดี.วัน)
1	pH 6	3.75	0.087	0.015
	pH 7	48.07	1.12	0.187
	pH 8	3.52	0.082	0.014
2	pH 6	154.4	4.205	0.805
	pH 7	140.35	3.79	0.726
	pH 8	120.01	3.24	0.621

การทดลองที่ 1 ปริมาตรก๊าซเกิดขึ้นมากที่สุดในถังหมักพีเอช 7 มีปริมาตรเฉลี่ย 1.12 ลิตร/วัน ในขณะที่พีเอช 6 และ 8 มีปริมาตรก๊าซเกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ การทดลองที่ 2 การเกิด



1 หมายถึง ช่วงเริ่มการทดลอง 2 หมายถึง การทดลองที่ 1

3 หมายถึง ช่วงเปลี่ยนการทดลอง 4 หมายถึง การทดลองที่ 2

ภาพประกอบ 16 ปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ก๊าซในแต่ละถังหมักไม่แตกต่างกันมากนัก โดยปริมาตรเฉลี่ย 4.2, 3.7 และ 3.2 ลิตร/วัน ในถังหมักพีเอช 6, 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากทั้งสองการทดลองแตกต่างกันมาก สาเหตุที่สำคัญอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง โดยการทดลองที่ 1 อุณหภูมิห้องต่ำ (27-32°ซ) ส่วนในช่วงการทดลองที่ 2 อุณหภูมิห้องสูง (28-37°ซ) ประกอบกับลักษณะของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีความแตกต่างกันโดยน้ำเสียที่เติมให้กับระบบในการทดลองที่ 2 จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนมากอยู่ในรูปที่ละลายน้ำอาจมีผลให้ปฏิกริยาการย่อยสลายโดยแบคทีเรียเกิดขึ้นมากกว่า ทำให้เกิดปริมาณก๊าซสูงในการทดลองที่ 2

2.5 ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟต ทำการเปลี่ยนซัลเฟตให้กลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะไร้อากาศ ทำให้น้ำเสียมีสีดำ และมีกลิ่นเหม็น จากการทดลองพบว่า น้ำเสียหลังบำบัดจากถังหมักที่พีเอชต่างๆทั้ง 2 การทดลอง มีการลดลงของปริมาณซัลเฟตเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปริมาณซัลเฟตและปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง แสดงดังตาราง 15 พบว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าระบบในถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 เท่ากับ 244±16.35, 248±20.49 และ 243 ±25.15 มก/ล ตามลำดับ และเมื่อออกจากระบบจะมีค่าลดลงเท่ากับ 103±10.95, 109± 20.12 และ 112±18.23 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 ในการทดลองที่ 1 เท่ากับ 57.62±5.44, 56.02±6.03 และ 53.59 ±8.09 ตามลำดับ และการทดลองที่ 2 ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าระบบในแต่ละถังหมักเท่ากับ 265± 9.17 มก/ล เมื่อออกจากระบบในถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 เท่ากับ 106.7±8.16, 125.8±3.76 และ 131.7±6.05 มก/ล ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 ของการทดลองที่ 2 เท่ากับ 59.82± 3.48, 52.65±0.87 และ 50.41±3.0 มก/ล ตามลำดับ

ปริมาณซัลเฟตจะลดลงในขณะที่ปริมาณซัลไฟด์ในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำเสียที่ออกจากระบบซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์อิออน(HS^-) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด จากการทดลองที่ 1 ในถังหมักพีเอช 6 , 7 และ 8 เท่ากับ 42.85±14.18, 43.69±20.85 และ 81.50

±14.28 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 ถังหมักพีเอช 6 , 7 และ 8 เท่ากับ 33.22±2.40, 41.88 ±5.56 และ 61.05±7.01 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ออกจากระบบที่พีเอช 6, 7 และ 8 ของการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 24.0±9.72, 14..1±7.18 และ 7.13±4.37 มก/ล ตามลำดับ และการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 32.28±5.71, 18.85±3.13 และ 7.84±3.16 มก/ล ตามลำดับ

ตาราง 15 ปริมาณซัลเฟตและปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ตัวแปร (มก/ล)	ความเข้มข้น(มก/ล)					
	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2		
	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
a	244.0± 16.35	248.0± 20.12	243.0± 25.15	265.83± 9.17	265.83± 9.17	265.83± 9.17
b	103.0± 10.95	109.0± 20.12	112.0± 18.23	106.7± 8.16	125.8± 3.76	131.7± 6.05
c	2.76± 1.64	1.5± 0.57	0.41± 0.18	8.56± 1.22	3.92± 0.68	1.24± 0.47
d	24.0± 9.72	14.1± 7.18	7.13± 4.37	32.28± 5.71	18.85± 3.13	7.84± 3.16
e	9.87±1.67	9.60±1.77	11.33± 1.19	16.33± 1.28	15.87± 1.34	15.98± 2.04
f	52.72± 12.87	53.29± 19.97	92.83± 13.55	49.56± 3.30	67.76± 6.63	77.03± 7.77

หมายเหตุ ค่าตัวเลขที่แสดงในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a หมายถึง ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าระบบ (มก/ล)

b หมายถึง ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่ออกจากระบบ (มก/ล)

c หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่เข้าระบบ (มก/ล)

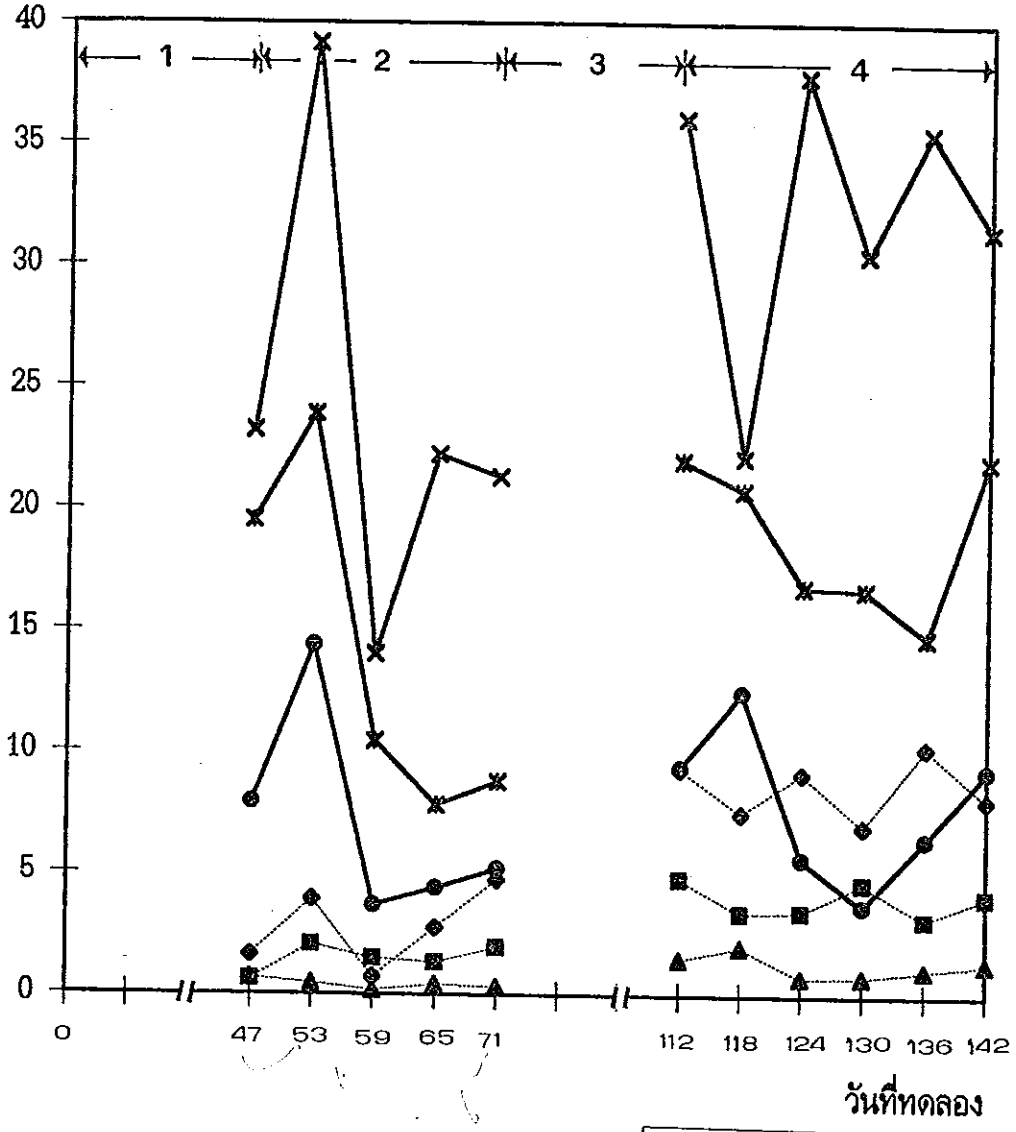
d หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ออกจากระบบ (มก/ล)

e หมายถึง ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำเสียที่เข้าระบบ (มก/ล)

f หมายถึง ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำเสียที่ออกจากระบบ (มก/ล)

ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์

มิลลิกรัมต่อลิตร



1 หมายถึง ช่วงเริ่มการทดลอง 2 หมายถึง การทดลองที่ 1

3 หมายถึง ช่วงเปลี่ยนการทดลอง 4 หมายถึง การทดลองที่ 2

ภาพประกอบ 17 ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าและออกจากถังหมัก ที่พีเอชต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยในถังหมักที่พีเอช 6, 7 และ 8 จากการทดลองที่ 1 เท่ากับ 21.25±8.43, 12.61±7.34 และ 6.72±4.29 ตามลำดับ และในการทดลองที่ 2 เท่ากับ 23.72±4.89, 14.93±2.88 และ 6.60±2.71 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 16 จากการทดลองทั้งสองพบว่าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีค่าสูงที่สุดที่พีเอช 6 และมีค่าต่ำที่สุดที่พีเอช 8 ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดจำลองที่พีเอชต่างๆ แสดงดังภาพประกอบ 17

ตาราง 16 การเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองที่	ถังหมัก	การเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ย (มก/ล)		
		Total Sulfide	Dissolved Sulfide	H_2S
1	pH 6	42.85±14.18	24.47±9.44	21.25±8.43
	pH 7	43.69±20.85	26.45±10.68	12.61±7.34
	pH 8	81.50±14.28	66.61±25.20	6.72±4.29
2	pH 6	33.22±2.40	31.79±5.69	23.72±4.89
	pH 7	41.88±5.56	36.96±6.39	14.93±2.88
	pH 8	61.05±7.01	59.21±7.72	6.60±2.71

หมายเหตุ ค่าตัวเลขที่แสดงในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.6 การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากข้อ 2.5 พบว่าในสภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะมีการเปลี่ยนซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงของซัลเฟอร์ (S) จากรูปซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่พีเอช 6, 7 และ 8 ของการทดลองที่ 1 เท่ากับ 27.77, 16.05 และ 7.28 ตามลำดับ และในการทดลองที่ 2 เท่ากับ 33.57, 20.08 และ

8.35 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 17 จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าที่ระดับพีเอช 6 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุด และที่ระดับพีเอช 8 จะมีเปอร์เซ็นต์ต่ำที่สุด จากการทดลองทั้ง 2 การทดลอง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อพีเอชเปลี่ยนไปโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชของระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีสภาพเปลี่ยนแปลงขึ้นกับพีเอช เมื่อสภาพเป็นกรด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนมากจะอยู่ในรูป H_2S เมื่อพีเอชสูงขึ้นจะแตกตัวอยู่ในรูป HS^- และ S^{2-} ซึ่งทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบลดลง

ตาราง 17 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองที่	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของซัลเฟอร์		
	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
1	27.77	16.05	8.28
2	33.57	20.08	8.35

2.7 ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองแต่ละการทดลองมีปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบที่แตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 1 มีปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบสูงกว่าการทดลองที่ 2 จากการทดลองพบว่าปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่ออกจากถังหมักที่พีเอชต่างๆในการทดลองที่ 1 มีแนวโน้มที่สูงกว่าการทดลองที่ 2 การวัดกลิ่นทำโดยการใช้ผู้ทดสอบครั้งละ 10 คน ทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ Arithmetic Mean ผลดังแสดงในตาราง 18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบจะมีระดับกลิ่นน้อยกว่าน้ำเสียออกจากระบบ 15-25 เท่า โดยจะมีค่ากลิ่นของน้ำเสียที่ออกจากระบบที่ พีเอช 6, 7 และ 8 ในการทดลองที่ 1 เท่ากับ 378, 360.7 และ 341 ตามลำดับ และในการทดลองที่ 2 เท่ากับ 326.3, 270.7 และ 275.3 ตามลำดับ

จากผลการทดลองศึกษาปริมาณกลิ่นของน้ำเสีย โดยการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและเพิ่มพีเอชจาก 6 เป็น 8 พบว่า เมื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่

เข้าระบบ ปริมาณกลิ่นเฉลี่ยของน้ำเสียวัดในรูป T.O.N. จะลดลงจาก 359.8 เป็น 290.8 (คิดเป็นเปอร์เซนต์เท่ากับ 19.2) เมื่อเพิ่มพีเอชของน้ำเสียจาก 6 เป็น 7 และ 8 ปริมาณกลิ่นเฉลี่ยจะลดลงจาก 352.2 เป็น 315.7 และ 308.2 พบว่าการปรับพีเอชของน้ำเสียจาก 6 เป็น 8 ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจะลดลง (คิดเป็นเปอร์เซนต์เท่ากับ 12.5) และพิจารณาเมื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ลงรวมกับการเพิ่มพีเอชในน้ำเสียจาก 6 เป็น 8 ปริมาณกลิ่นเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงดังนี้ เมื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจะลดลงจาก 378 เหลือ 326.3 (คิดเป็นเปอร์เซนต์เท่ากับ 13.7) พร้อมกันนั้นเมื่อปรับพีเอชให้สูงขึ้นปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจะลดจาก 326.3 เหลือ 275.3 (คิดเป็นเปอร์เซนต์เท่ากับ 15.3) แสดงให้เห็นว่าเมื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลงรวมกับการปรับพีเอชจาก 6 เป็น 8 จะสามารถลดปริมาณกลิ่นของน้ำเสียได้มากขึ้น

ตาราง 18 ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองที่	ครั้งที่	ค่า T.O.N.			
		น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบ		
			pH 6	pH 7	pH 8
1	1	14.7	374	354	322
	2	16.3	380	354	347
	3	15.2	380	374	354
	ค่าเฉลี่ย	15.4±0.82*	378±3.46*	360.7±11.5*	341±16.82*
2	1	17.2	267	241	229
	2	19.8	400	320	308
	3	20.8	312	251	289
	ค่าเฉลี่ย	19.2±1.58*	326.3±67.64*	270.7±43.02*	275.3±42.23*

หมายเหตุ *ค่าตัวเลขที่แสดงในตารางหมายถึงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ปริมาณกลิ่นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย

2.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลิ่น และปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย

จากการศึกษาปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่วัดได้กับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น โดยได้นำค่าตัวแปรทั้งสองมาทดสอบความสัมพันธ์กัน โดยใช้ correlation coefficient test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรทั้งสองมีค่าเท่ากับ 0.23 เขียนรูปสมการได้ดังนี้

$$Y = 1.02X + 306.9$$

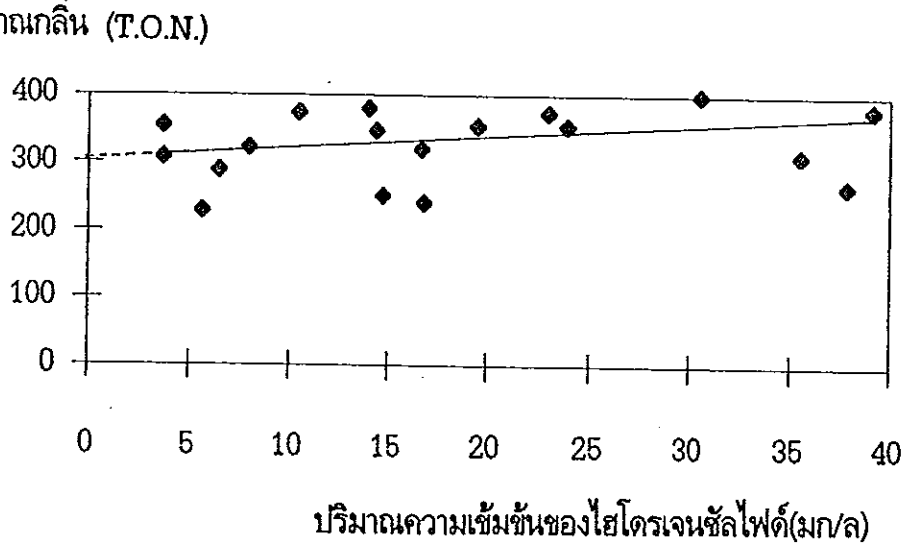
โดย X = ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก/ล)

Y = ปริมาณกลิ่น (T.O.N.)

และค่า X มีค่าอยู่ระหว่าง 4-37 มก/ล

Y มีค่า T.O.N. อยู่ระหว่าง 229-400

สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณกลิ่นที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เมื่อค่า X และ Y อยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งแสดงให้เห็นดังสมการ และ ภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลิ่นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย

2.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และปริมาณกลิ่นของน้ำเสีย

จากการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าพีเอช และปริมาณกลิ่นของน้ำเสียโดยใช้ correlation coffiicient test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.46 แสดงว่าค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลิ่น โดยเมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นปริมาณกลิ่นของน้ำเสียมีแนวโน้มลดลง แสดงดังสมการ และภาพประกอบ 19

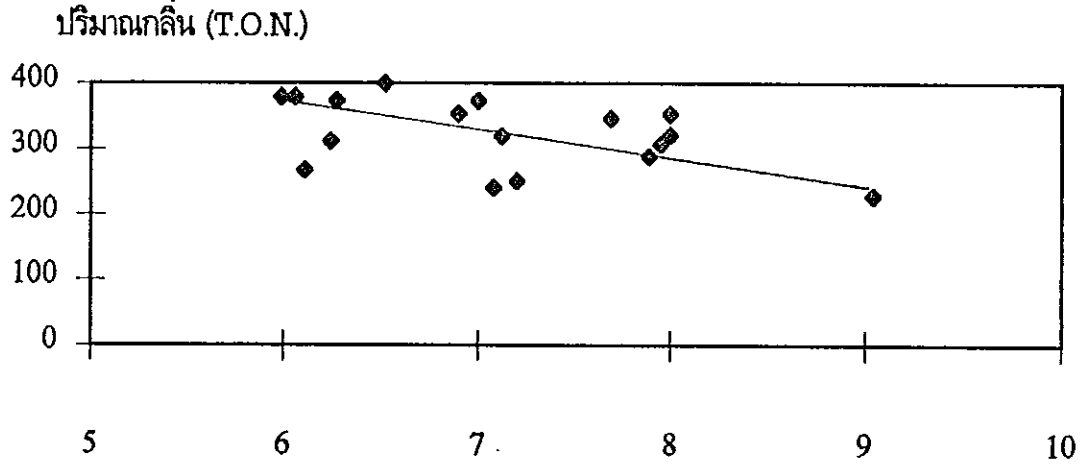
$$Y = -28.52X + 528.06$$

โดย X = ค่าพีเอชของน้ำเสีย

Y = ปริมาณกลิ่น (T.O.N.)

และค่า X มีค่าอยู่ระหว่าง 6-9

Y มีค่า T.O.N. อยู่ระหว่าง 229-400



ภาพประกอบ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณกลิ่นของน้ำเสีย

2.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย

การใช้ correlation coefficient test เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรทั้งสองมีค่าเท่ากับ -0.81 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมากระหว่างค่าของปริมาณ

ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และค่าพีเอชโดยปริมาณความเข้มข้นของโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงเมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้น แสดงดังสมการและภาพประกอบ 20

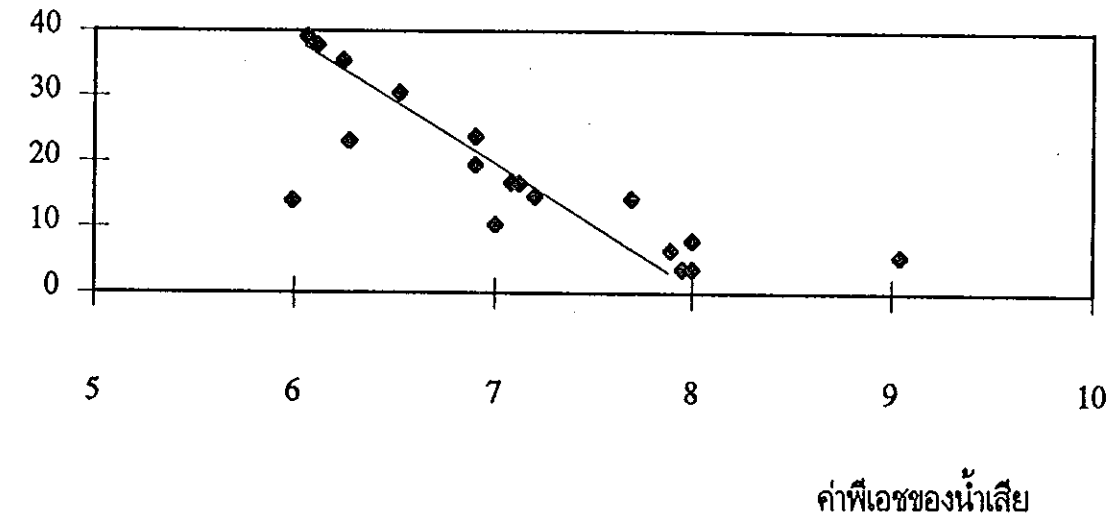
$$Y = -10.98X + 96.07$$

โดย X = ค่าพีเอชของน้ำเสีย

Y = ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก/ล)

และค่า X มีค่าอยู่ระหว่าง 6-9

Y มีค่าอยู่ระหว่าง 4-37 มก/ล



ภาพประกอบ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และปริมาณความเข้มข้นของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำเสีย

บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. ลักษณะของน้ำเสียและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวแทน

จากการศึกษาสภาพระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานตัวแทนพบว่า โครงสร้างของระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วย บ่อดักเศษยาง บ่อหมักไร้อากาศ บ่อ facultative บ่อ oxidation และบ่อผึ่ง บ่อดักเศษยางจะทำหน้าที่เป็นระบบบำบัดขั้นต้น ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของบ่อดักเศษยางค่อนข้างไม่คงที่ โดยสังเกตได้จากในบางช่วงน้ำที่เข้าและออกจากบ่อดักเศษยางจะมีสภาพไม่แตกต่างกันเมื่อสังเกตจากปริมาณตะกอนและความขุ่นของน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบบำบัดไม่มีการออกแบบให้มีถังปรับให้เสมอ(equalization tank) ลักษณะการเกิดน้ำเสียเกิดจากแหล่งการผลิตที่แตกต่างกันทำให้คุณสมบัติของน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตมีค่าพีเอชแตกต่างกันมาก โดยน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตยางแท่งและยางสกิมเครพมีสภาพเป็นกรดพีเอชอยู่ในช่วง 3-5 ในขณะที่น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีสภาพเป็นด่างอยู่ในช่วง 8-9 ประกอบกับน้ำเสียมีอัตราการไหลสูงจึงทำให้เนื้อยางไม่จับตัวและลอยขึ้นในช่วงที่ผ่านบ่อดักเศษยาง จึงมีผลทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่บ่อหมักไร้อากาศมีความแตกต่างและมีความแปรปรวนสูง โดยบางช่วงจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง บางช่วงจะมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ

จากผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสียรวมที่เกิดจากกระบวนการผลิต พบว่ามีค่าปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.85×10^3 กก.บีโอดี/วัน เมื่อผ่านบ่อดักเศษยางปริมาณสารอินทรีย์ลดลงอยู่ในช่วง 1.8×10^3 - 8.4×10^3 กก.บีโอดี/วัน (เมื่อคิดอัตราการไหลของน้ำเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 ลบ.ม./วัน) และเมื่อผ่านการบำบัดโดยบ่อหมักไร้อากาศ พบว่าบ่อดักเศษยางและบ่อหมักไร้อากาศจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีได้ร้อยละ 65 ทำให้สารอินทรีย์ลดลงเหลือ 2000-2100 มก/ล หากทำการคำนวณหาค่าอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสียที่จะเข้าสู่บ่อหมักไร้อากาศพบว่ามีค่า 0.60-0.83 จากค่าอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดีพบว่าเหมาะสมที่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา

ลักษณะของน้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง เนื่องจากมีเศษยางปะปนอยู่มาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 500-600 มก/ล และจะลดลงเมื่อผ่านการบำบัดโดยบ่อดักเศษยาง โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในขั้นต้นนี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของบ่อดักเศษยางเป็นสำคัญ ปริมาณของแข็งแขวนลอยเมื่อผ่านบ่อหมักไร้อากาศจะมีปริมาณลดลงเหลือ 200 มก/ล เกิดจากที่มีการลอยตัวของเศษยางและมีการตกตะกอนในบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งทั้งสองปัจจัยอาจมีผลทำให้ปริมาตรของบ่อลดลงซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดของบ่อหมักไร้อากาศลดลง จึงจำเป็นจะต้องมีการขุดลอกบ่อและลอกเอาเศษยางบริเวณผิวออกอย่างสม่ำเสมอ

อนึ่งแม้ว่าน้ำเสียรวมที่ออกจากบ่อดักเศษยางจะมีการปรับพีเอชโดยใช้ปูนขาว แต่ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่ายังมีสภาพเป็นกรดโดยอยู่ในช่วง 5.0-5.4 และผลจากการตรวจสอบพบว่าค่าพีเอชในบ่อหมักไร้อากาศ 1 และ 2 ยังมีสภาพค่อนไปทางกรด ซึ่งอาจมีผลทำให้น้ำเสียในบ่อหมักไร้อากาศ 1 และ 2 อยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะต่อการถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียประเภทไร้อากาศ

นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยางสกิมเครพมีการใช้กรดซัลฟูริกในปริมาณร้อยละ 6 ของปริมาณหางน้ำยาง เพื่อช่วยให้ยางจับตัว ซึ่งทำให้ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียรวมสูง ปริมาณซัลเฟตที่มีในน้ำเสียจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียพบว่าน้ำเสียรวมมีปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วง 350-400 มก/ล และเมื่อผ่านการบำบัดโดยบ่อหมักไร้อากาศจะมีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นเท่ากับ 14-15 มก/ล เนื่องจากการที่บ่อหมักไร้อากาศมีค่าพีเอชเป็นกรด และมีสภาพเป็นกลางในบ่อแฟคัลเททีฟ จึงส่งผลให้มีปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้นได้ในขณะบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากซัลไฟด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อมีสภาพเป็นกรด จากการศึกษาปริมาณกลิ่นของน้ำเสียพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อผ่านการบำบัดโดยบ่อหมักไร้อากาศ ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักไร้อากาศวัดในรูป T.O.N. พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 337 โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากการเทียบกับปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่เข้าระบบถึง 30 เท่า แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียของโรงงานยางเมื่อผ่านการบำบัดด้วยบ่อหมักไร้อากาศจะมีผลทำให้เกิดกลิ่นเหม็นมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากสภาพบ่อหมักไร้อากาศทั่วไปจะพบว่ามีคราบเศษยางลอยเป็นชั้นหนาปิดผิวฉะนั้นอาจมีผลทำให้ปริมาณกลิ่นที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันไปขึ้นกับปริมาณก๊าซที่ระเหยขึ้นมาจากบ่อหมักไร้อากาศ แต่การ

เกิดกลิ่นเหม็นรุนแรงอาจเกิดในช่วงที่มีการเปิดลอกเศษยางออกหรือในช่วงลอกตะกอนก้นบ่อ หรือในช่วงที่มีมีสภาพอากาศเย็น มีความชื้นสูง เพราะก๊าซที่เกิดขึ้นได้ถูกกักไว้ในชั้นบรรยากาศบริเวณรอบๆบ่อได้มากกว่า

2. ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

2.1 ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดจำลอง

จากผลการทดลองเพื่อการศึกษาระบบบำบัดจำลองแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นได้แก่ ตัวแปรด้านปริมาณสารอินทรีย์และตัวแปรด้านพีเอช ซึ่งการทดลองทั้งสองจะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบแตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 1 น้ำเสียที่เติมให้กับระบบจะเป็นน้ำเสียรวมที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่วนการทดลองที่ 2 น้ำเสียที่เติมให้กับระบบจะผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว โดยการทำให้ตะกอนลอยตัว การศึกษาการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองที่ 1 น้ำเสียที่เติมให้กับระบบบำบัดจำลองเป็นน้ำเสียรวมที่เกิดจากการผลิตมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 5,100-6,300 มก/ล ทำให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 0.30$\pm$ 0.02 กรัมซีโอดี/ลิตร.วัน

การทดลองที่ 2 น้ำเสียที่เติมให้กับระบบบำบัดจำลองเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว โดยน้ำเสียรวมที่นำมาทดลองมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 8,000-10,000 มก/ล และเมื่อผ่านการบำบัดขั้นต้นโดยการทำให้ตะกอนลอยตัว ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอยจะจะถูกกำจัดออก มีผลให้ค่าซีโอดีในน้ำเสียลดลงอยู่ในช่วง 4,400-5,700 มก/ล ทำให้มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบเท่ากับ 0.26$\pm$0.02 กรัมซีโอดี/ลิตร.วัน

ค่าความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำเสียรวมที่เก็บจากโรงงานในทั้งสองช่วงการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก กล่าวคือในช่วงการทดลองที่ 1 ค่าซีโอดีของน้ำเสียรวมมีค่าระหว่าง 5,100-6,300 มก/ล ในขณะที่การทดลองที่ 2 ค่าซีโอดีของน้ำเสียรวมมีค่าระหว่าง 8,000-10,000 มก/ล ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะน้ำเสียรวมที่เกิดจากการผลิตของโรงงานมีคุณภาพไม่คงที่แปรเปลี่ยนไปขึ้นกับฤดูกาล และปริมาณน้ำยางดิบที่นำมาผลิต ดังนั้นในการทดลองที่ 2 แม้ว่าน้ำเสียรวมจะได้รับการบำบัดขั้นต้นโดยการทำให้ตะกอนลอยตัวแล้วยังพบว่ามีค่าซีโอดีค่อนข้างสูงจึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบบำบัดจำลองของการทดลองที่ 1 และ 2

มีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าคุณภาพของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในการทดลองที่ 2 สามารถใช้เป็นตัวแทนได้ เนื่องจากมีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ต่ำกว่า การทดลองที่ 1 ซึ่งเกิดจากการบำบัดขั้นต้น

ผลจากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ที่ระดับพีเอช 6, 7 และ 8 ของการทดลองที่ 1 น้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง การกำจัดสารอินทรีย์ที่พีเอช 7 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 60 % ที่พีเอช 6 และ 8 มีค่าเท่ากับ 55 % และ 54 % ในการทดลองที่ 2 น้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำ การกำจัดสารอินทรีย์ที่พีเอช 6 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 74 % ซึ่งใกล้เคียงกับที่พีเอช 7 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 72 % ส่วนที่พีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 35 % พบว่าการทดลองที่ 2 ที่พีเอช 6 และ 7 จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าการทดลองที่ 1 ทั้งนี้อาจเกิดปฏิกิริยาจากการย่อยสลายสูงกว่า เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายได้ เพราะของแข็งแขวนลอยได้ถูกกำจัดออกประกอบกับมีอุณหภูมิสูงกว่าในขณะทำการทดลองที่ 1 อยู่ในช่วง 27-32 °ซ และอยู่ในช่วง 28-37 °ซ ของการทดลองที่ 2 จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์สูงกว่าการทดลองที่ 1 ในถังหมักที่พีเอช 8 ของการทดลองที่ 1 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ต่ำกว่าถังหมักที่พีเอช 6 และ 7 เพียงเล็กน้อยแสดงว่าระบบสามารถทำงานได้ที่พีเอช 8 แต่ในช่วงการทดลองที่ 2 อาจเกิดจากมีการสะสมปริมาณด่างในถังหมักมากเกินไป ซึ่งเกิดจากเทคนิคการปรับพีเอชภายในถังหมักทำให้ถังหมักที่พีเอช 8 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงอย่างมาก แบคทีเรียบางตัวในระบบถูกยับยั้งเนื่องจากพีเอชสูง แต่เปอร์เซ็นต์การลดลงของซัลเฟตและการเพิ่มขึ้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเป็นเพราะแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถทำงานได้ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 4.2-10.4 จึงมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้สูงกว่า (Brock, *et al.*, 1984) สภาวะการรีดิวซ์ซัลเฟตจึงไม่กระทบกระเทือนจากการเพิ่มพีเอช

2.2 ความยากง่ายและผลการควบคุมพีเอชในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ระบบบำบัดจำลองประกอบด้วย 3 ถังหมัก มีการควบคุมพีเอชที่ 6 , 7 และ 8 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช ลักษณะของแบบจำลองมีการออกแบบให้มีการป้อนน้ำเสียเข้าบริเวณกึ่งกลางถังและปล่อยออกบริเวณก้นถัง และด้วยลักษณะดังกล่าวคาดว่าจะทำให้มีการผสมผสานค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบได้ทั่วถึง แต่ผลของการทดลองพบว่าระบบที่ควบคุมให้พีเอชเท่ากับ 8 โดยมีการเติม

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นประจำในการทดลองที่ 2 มีความแปรปรวนของค่าพีเอชในน้ำเสียที่ออกจากระบบสูง แสดงให้เห็นถึงสภาพของการเปลี่ยนแปลงและความไม่คงตัวของสมดุลกรด-ด่างในระบบ จึงทำให้ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงในบางช่วงของการทดลอง

ผลจากการควบคุมพีเอชในแต่ละถังหมัก พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์จากถังหมักที่พีเอช 6 และ 7 มีค่าสูงกว่าถังหมักที่พีเอช 8 ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่ระดับพีเอชต่างๆ ที่เข้าและออกจากระบบไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีการรีดิวซ์ซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกัน โดยจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดที่พีเอช 6 (32-35 มก/ล) และมีปริมาณน้อยที่สุดที่พีเอช 8 (7 มก/ล) โดยที่พีเอช 8 ซัลไฟด์จะอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) แทน ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบลดลง จากการควบคุมพีเอชที่ระดับ 6 , 7 และ 8 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์จะสูงสุดที่พีเอช 7 ส่วนปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะสูงสุดที่พีเอช 6 และต่ำสุดที่พีเอช 8

2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดจำลองของการทดลองที่ 1 จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงและเมื่อผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดจำลองปริมาณของแข็งแขวนลอยจะลดลง ในการทดลองที่ 2 ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำเนื่องจากผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดจำลอง ปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละถังหมักจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในน้ำเสีย การลอยตัวของเนื้อยางและการตกตะกอนทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละถังหมักมีการเปลี่ยนแปลง จากการทดลองทั้งสองการทดลองพบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอย โดยน้ำเสียที่ออกจากถังหมักที่พีเอช 8 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักที่พีเอช 6 และ 7 สาเหตุอาจเนื่องมาจากถังหมักพีเอช 8 มีสภาวะเป็นด่าง น้ำยางที่อยู่ในน้ำเสียส่วนมากจะอยู่ในสภาพที่ละลายได้ (soluble) และจะไม่เกิดปฏิกิริยาในการจับตัวเป็นก้อนของเนื้อยางเนื่องจากมีสภาพเป็นด่างทำให้ปริมาณของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียต่ำกว่าถังหมักที่พีเอช 6 และ 7

2.4 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นของการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่า อัตราการเกิดก๊าซสูงสุดที่พีเอช 7 โดยปริมาณก๊าซที่เกิดจากการทดลองที่ 2 มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 1 มาก อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิห้องในช่วงการทดลองที่ 1 อยู่ในช่วง 28-32 °ซ เป็นช่วงฤดูฝน (พย.-ธค. 2538) อุณหภูมิในรอบวันค่อนข้างต่ำ ในขณะที่การทดลองที่ 2 เป็นช่วงฤดูร้อน (กพ.-มีค. 2539) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 29-37 °ซ ประกอบกับห้องทดลองปฏิบัติการอยู่บริเวณชั้น 8 ซึ่งอุณหภูมิในรอบวันค่อนข้างสูง และมีระยะเวลาช่วงที่ห้องทดลองมีอุณหภูมิสูงค่อนข้างยาวนาน จึงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายในช่วงการทดลองที่ 2 มีมากกว่า และการทดลองที่ 2 ลักษณะสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ เนื่องมาจากของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดออกไปแล้ว ฉะนั้นอาจทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราการเกิดก๊าซสูงเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 และจากการที่ปริมาณก๊าซในการทดลองที่ 2 เกิดขึ้นมากกว่าการทดลองที่ 1 อาจเป็นไปได้ที่ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากระบบทำให้ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียลดลงได้ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาตรก๊าซที่เกิดของแต่ละถังปฏิกิริยาที่ใช้ทดลองในแต่ละวันไม่คงที่ สาเหตุอาจเนื่องมาจากมีเศษยางลอยปิดบริเวณผิวหน้าของถังหมัก

2.5 การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

จากการทดลองทั้ง 2 การทดลอง แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานยางมีการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งอาจได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มที่สามารถทำลายสารอินทรีย์ และแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตนี้เป็นพวก heterotrophic bacteria โดยจะใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย แต่ต้องการสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน มีการย่อยสลายดังสมการคือ

$$SO_4^{2-} + \text{สารอินทรีย์} \xrightarrow{\text{sulfate reducing bacteria}} S^{2-} + H_2O + CO_2$$

จากผลของปฏิกิริยาทำให้มีการลดลงของปริมาณซัลเฟต และมีผลทำให้ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำเสียเพิ่มขึ้น จากการทดลองทั้งสองการทดลอง ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียที่ออกจากระบบมีแนวโน้มลดลง โดยเปอร์เซนต์การลดลงที่พีเอช 6 อยู่ในช่วง 57.62-59.82 ที่

พีเอช 7 อยู่ในช่วง 52.65-62.02 และ ที่พีเอช 8 อยู่ในช่วง 50.41-53.59 ในขณะที่ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่พีเอช 6 อยู่ในช่วง 33.22-42.85 มก/ล ที่พีเอช 7 อยู่ในช่วง 41.88-43.69 มก/ล และที่พีเอช 8 อยู่ในช่วง 61.05-81.50 มก/ล แสดงให้เห็นว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียจะถูกรีดิวซ์เปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ โดยซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไฮโดรเจนซัลไฟด์อิออน(HS^-) มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าพีเอช โดยน้ำเสียจากถังหมักที่พีเอช 6 จะมีปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงที่สุดจะลดลงที่พีเอช 7 และน้อยที่สุดที่พีเอช 8 ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถังหมักที่พีเอช 6 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.0-32.28 มก/ล ในขณะที่ถังหมักที่พีเอช 7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.1-18.8 มก/ล และที่ถังหมักที่พีเอช 8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.13-7.84 มก/ล แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพีเอชให้สูงขึ้นจาก 6 เป็น 8 จะทำให้ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง ซึ่ง Brock และคณะ 1984 กล่าวว่า ในสภาพพีเอชสูงซัลไฟด์ส่วนมากจะอยู่ในรูป S^{2-} สภาพพีเอชที่เป็นกลางส่วนมากจะอยู่ในรูป HS^- และที่พีเอชเป็นกรดมักจะอยู่ในรูป H_2S เป็นส่วนใหญ่ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อพีเอชของน้ำสูงขึ้นปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียจะลดลง และเปลี่ยนไปอยู่ในรูป HS^- แทน

เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในน้ำเสียที่พีเอช 6, 7 และ 8 จากการทดลองที่ 1 เท่ากับ 27.7, 16.05 และ 8.28 ตามลำดับ และจากการทดลองที่ 2 เท่ากับ 34.28 , 20.02 และ 8.32 ตามลำดับ แสดงว่าซัลเฟตถูกเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากที่สุดที่พีเอช 6 และจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มเป็น 7 และ 8 โดยจะอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์อิออนแทน ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบลดลง

ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นนอกจากขึ้นกับค่าพีเอชแล้วยังขึ้นกับปริมาณซัลเฟตที่เข้าสู่ระบบ น้ำเสียที่นำมาทดลองเป็นน้ำเสียจริงที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีค่าปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วง 250-300 มก/ล ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-32 มก/ล (ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช) โดยปกติค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณน้อยที่สุดที่มนุษย์สามารถจะได้กลิ่นมีค่าเท่ากับ 0.00047 พีพีเอ็ม (Hesketh and Cross, 1989) ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีได้สูงสุดในบรรยากาศ (TLV) เท่ากับ 10 พีพีเอ็ม (Crawford, 1976) การที่อากาศสกปรกเนื่องจากมีสารหรือก๊าซพิษปะปนอาจก่อให้

เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ โดยอาจทำให้ระคายเคืองต่อระบบประสาทที่รับรู้ความรู้สึกของร่างกาย เช่นทำให้แสบจมูก และคอ ทำให้ตาเจ็บ หรือระคายเคืองได้ นอกจากนี้กลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นยังเป็นสาเหตุทำให้ความรู้สึกของการหายใจไม่ปกติและรู้สึกไม่สบายได้ กลิ่นที่เกิดจากก๊าซหรือสารต่างๆ ที่มีในอากาศ เช่น H_2S, NH_3, mercaptans, Phenolic compound จะทำให้แสบจมูกได้เนื่องจากก๊าซเหล่านี้มีพิษต่อเยื่ออ่อนในจมูก ซึ่งถ้ามีปริมาณก๊าซพิษสูงมากก็อาจทำให้เกิดโรคในระบบต่างๆภายในร่างกายได้ (ณรงค์ ณ.เชียงใหม่, 2525) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางน่าจะเป็นปริมาณที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน แต่จะไม่ก่อให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลัน จากการควบคุมพีเอชให้สูงขึ้นเท่ากับ 8 ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.4 - 1.24 มก/ล และเมื่อออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.13-7.84 มก/ล ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถังหมักพีเอช 8 ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับถังหมักพีเอช 6 และ 7 แต่ก็ยังแสดงให้เห็นว่ามีกลิ่นเหม็น แต่เนื่องจากการทดลองนี้มิได้เก็บตัวอย่างอากาศมาวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงมิอาจสรุปผลในเชิงคุณภาพถึงผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นได้โดยตรง อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียน่าจะมีปริมาณสูง และเมื่อทำการคำนวณเพื่อประมาณค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่คิดว่าเป็นส่วนที่ระเหยออกจากบ่อหมักไร้อากาศพบว่ามีค่าเท่ากับ 36.42 มก/ล (วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก) ฉะนั้นหากลดปริมาณซัลเฟตที่เข้าระบบลงโดยการใช้สารเคมี เช่น ปูนขาว, เกลือแบเรี่ยม เพื่อช่วยในการตกตะกอนของน้ำเสียที่ออกจากบ่อดักเศษยาง จะทำให้น้ำเสียที่ออกจากบ่อดักเศษยางมีปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณซัลเฟตต่ำลง ปริมาณกลิ่น และปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศก็จะลดลง

2.6 ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดจำลองและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลิ่นกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพีเอชของน้ำเสีย

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดจะสร้างสารที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ , แอมโมเนีย , indole mercaptane , skatal , aldehyde (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนขึ้นได้ จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานยางมีปริมาณกลิ่นโดยเฉลี่ยที่เกิดจากน้ำเสียในปริมาณสูง โดยในบ่อหมักไร้อากาศของโรงงาน

ตัวแทนสามารถตรวจสอบค่ากลิ่นของน้ำเสียได้ในรูปของ T.O.N. โดยเฉลี่ยเท่ากับ 337 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดจำลองที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกัน โดยระบบบำบัดจำลองที่พีเอช 6, 7 และ 8 ของการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 370, 360.7 และ 341 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 326.3, 270.7 และ 275.3 ตามลำดับ เมื่อนำค่าปริมาณกลิ่นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.23 และเขียนในรูปสมการของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลิ่นและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้คือ

$$Y = 1.02X + 306.9$$

โดย X = ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก/ล)

Y = ปริมาณกลิ่น (T.O.N.)

ทั้งนี้ช่วงค่าที่ทดสอบความสัมพันธ์มีค่าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 4-37 มก/ล และปริมาณกลิ่นมีค่า T.O.N. อยู่ในช่วง 229 - 400 ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และกลิ่นจะมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก นั่นคือปริมาณกลิ่นจากน้ำเสียอาจไม่ได้ขึ้นกับค่าปริมาณความเข้มข้นของปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียเพียงอย่างเดียว โดยเมื่อพิจารณาจากสมการ พบว่ามีค่าคงที่เท่ากับ 306.9 แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศนั้นอาจเกิดจากสารอื่นๆมากมายหลายชนิด ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้อากาศโดยที่ปริมาณกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเป็นเพียงส่วนหนึ่งที่เกิดจากบ่อหมักไร้อากาศ

จากการทดลองพบว่าการลดปริมาณสารอินทรีย์ในระบบลงปริมาณกลิ่นของน้ำเสียมีแนวโน้มลดลง และเมื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้สูงขึ้นทำให้ปริมาณกลิ่นของน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่วิเคราะห์ได้จากการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าพีเอชและปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.46 และเมื่อตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และค่าพีเอชของน้ำเสียพบว่ามีความสัมพันธ์กันมากโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.81 แสดงให้เห็นว่าการปรับพีเอชให้สูงขึ้นสามารถลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียลงได้ จากผลการทดลองพบว่าการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่มีผลมากนักในการลดปริมาณกลิ่น ควรมีการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียควบคู่กับการปรับพีเอชให้สูงขึ้น

เพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบย่อมจะสามารถทำให้บรรเทาปัญหาเรื่องกลิ่นได้มากขึ้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

1. น้ำเสียจากโรงงานยางพาราที่มีกระบวนการผลิตน้ำยางข้น และน้ำยางสกิมจะมีปริมาณซัลเฟตสูง ส่งผลให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศได้ เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยของแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟต (sulfate reducing bacteria) ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางคือ ค่าพีเอชของน้ำเสีย และปริมาณสารประกอบซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

2. การเปลี่ยนรูปของซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับระดับพีเอช โดยเมื่อพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 8 ซัลไฟด์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีกลิ่นเหม็นและเป็นพิษจะเปลี่ยนเป็นรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ออออน (HS^-) ซึ่งไม่เป็นพิษและไม่เกิดกลิ่นเหม็น จากการทดลองเมื่อควบคุมให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้นภายใต้พีเอชเท่ากับ 6 ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24-32 มก/ล และเมื่อควบคุมพีเอชเท่ากับ 8 ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7 มก/ล เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูปซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่พีเอช 6 มีค่าเท่ากับ 27.77-33.57 ที่พีเอช 7 มีค่าเท่ากับ 16.05-20.08 และที่พีเอช 8 มีค่าเท่ากับ 8.28-8.35

3. ความสัมพันธ์ของปริมาณกลิ่นในรูป T.O.N. ของน้ำเสียกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้อากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมาก จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.23 และให้ความสัมพันธ์ของสองตัวแปรในรูปสมการคือ

$$Y = 1.02X + 306.9$$

โดย X = ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก/ล)

Y = ปริมาณกลิ่น (T.O.N.)

ทั้งนี้ช่วงค่าที่ทดสอบความสัมพันธ์มีค่าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 4-37 มก/ล และปริมาณกลิ่นมีค่า T.O.N. อยู่ในช่วง 229-400

4. ปริมาณกลิ่นที่เกิดจากบ่อหมักไร้อากาศ ของการบำบัดน้ำเสียโรงงานยางมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย จากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักสองปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกลิ่นคือ ปริมาณสาร [illegible]งไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบ การควบ

[illegible]

เข้าสู่ระบบให้น้อยลงรวมกับการค[illegible]

ช่วยให้ปัญหาเรื่องกลิ่นบรรเทาลงได้

ข้อเสนอแนะ

การควบคุมปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบให้น้อยลง และลดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic pond) เพื่อทำให้ปัญหาเรื่องกลิ่นของน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศของโรงงานยางลดน้อยลงอาจสามารถทำได้โดย

1. ทำการเจือจาง (dilute) น้ำเสียก่อนเข้าระบบซึ่งในทางปฏิบัติอาจทำได้โดยการหมุนเวียนนำน้ำหลังจากการบำบัดแล้วใช้ผสมกับน้ำเสียดิบ ซึ่งน้ำที่หมุนเวียนมาผสมจะช่วยให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบลดลงและอาจช่วยปรับพีเอชได้บางส่วนเนื่องจากน้ำหลังการบำบัดมักจะมีสภาพเป็นด่าง อนึ่งการทำการเจือจางดังกล่าวอาจต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย อาทิเช่นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าของ HRT รวมถึงค่า BOD loading ที่ระบบต้องรับมากขึ้น ตัวอย่างการคำนวณการเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าระบบแสดงในภาคผนวก

2. เพิ่มประสิทธิภาพของบ่อดักเศษยาง ให้มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปตะกอนให้ได้มากที่สุด เพราะจะทำให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบ่อหมักลดน้อยลง และควรปรับปรุงให้บ่อดักเศษยางสามารถกำจัดปริมาณซัลเฟตออกได้ ทั้งนี้อาจใช้วิธีทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศได้

3. ทำการควบคุมพีเอชในบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ การควบคุมพีเอชจะต้องควบคุมพีเอชในบ่อหมักไร้อากาศให้มีสภาพเป็นด่างโดยมีค่าประมาณ 8 การปรับพีเอชของน้ำเสียนั้นจำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำเสียที่จะเข้าระบบพร้อมทั้งปรับพีเอชภายในบ่อด้วย การควบคุมพีเอชด้วยการเติมปูนขาวที่เป็นอยู่มักประสบปัญหาเกิดตะกอนสะสมสูงในบ่อหมักไร้อากาศ และเกิดการอุดตันของบ่อดักเศษยาง อาจปรับปรุงโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และใช้เครื่องควบคุมพีเอช (pH controller) เข้าช่วยจะทำให้ช่วยลดปัญหาเรื่องตะกอนและความสามารถในการควบคุมค่าพีเอชในระบบที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามการควบคุมพีเอชให้มีสภาพเป็นด่าง ในบางครั้งหากละเลยจนทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียสูงมากเกินไปอาจมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบในด้านการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงด้วย อนึ่งหากทำการควบคุมค่าพีเอชโดยใช้ปูนขาวอาจทำได้โดยเติมปูนขาว

สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง โดยปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วง 5,000-10,000 มก/ลบ.ม ซึ่งการเติมปูนขาวนี้ควรใช้เฉพาะกรณี เนื่องจากพบว่าการเติมปูนขาวมีผลกระทบต่อระบบทำให้เกิดตะกอนสะสมสูงมีผลให้ประสิทธิภาพของบ่อลดลงได้ จึงควรพิจารณาในการใช้

4. การเติมคลอรีน สามารถทำลายหรือเปลี่ยนสภาพของซัลไฟด์ได้ทันทีและสมบูรณ์ ฉะนั้นอาจใช้เติมในน้ำเสียขณะที่น้ำเสียกำลังไหลเข้าสู่ระบบบำบัด หรือเติมลงในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศโดยเติมอยู่ในช่วงประมาณ 10-12 ส่วนคลอรีนต่อซัลไฟด์ 1 ส่วน

5. การเติมเกลือไอร์ออน การเติมเหล็กลงไปในน้ำเสียเพื่อช่วยเปลี่ยนสภาวะของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำให้เป็นเหล็กซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำและจมลง ฉะนั้นการเติมเกลือไอร์ออนอาจเติมลงก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

เนื่องจากการทดลองพบว่าปริมาณกลิ่นเกิดจากปัจจัยที่สำคัญคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบ ซึ่งในการทดลองการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะใช้วิธีการทำให้ตะกอนลอยตัวเท่านั้น ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบยังมีปริมาณค่อนข้างสูงแต่จากการทดลองที่ 2 ปริมาณกลิ่นก็มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าหากลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลงให้เหลือน้อยที่สุด ปริมาณกลิ่นจากน้ำเสียก็น่าจะลดลงได้มาก ในส่วนปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองปรับพีเอชจาก 6 เป็น 8 พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง แต่ก็ยังมีส่วนหนึ่งที่เหลืออยู่ในระบบ ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจลดลงโดยการกำจัดปริมาณซัลเฟตออกจากน้ำเสียรวมที่จะเข้าระบบ ดังนั้นจึงเสนอให้มีการศึกษาเพิ่มเติมคือ

1. กระบวนการหรือวิธีการในการกำจัดสารอินทรีย์ หรือลดสารอินทรีย์ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

2. กระบวนการหรือวิธีการในการกำจัดปริมาณซัลเฟตก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งได้แก่ ระบบบำบัดเบื้องต้นคือระบบของบ่อดักเศษยาง

3. ประเภทของสารเคมีที่เหมาะสมต่อการปรับพีเอชให้เป็นด่างโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบตามมาในด้านการเพิ่มตะกอนหรือ ค่าใช้จ่ายที่สูง นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ทนต่อสภาพการผันแปรของสมดุลพีเอชที่จะเกิดขึ้นในระบบด้วย

บรรณานุกรม

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2528. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล.

เกรียงไกร อุดมสินโรจน์. 2537. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : นรามิตรการพิมพ์.

คมศร สิทธิพงศ์. 2538. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง เทคโนโลยีและการจัดการสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตภาคใต้ตอนล่าง ณ. โรงแรมหาดแก้วปริ้นเซสรีสอร์ท จังหวัดสงขลา วันที่ 24-25 กุมภาพันธ์ 2538.

จงจินต์ ผลประเสริฐ และกัณฑิมา ศิริจีระชัย. 2535. "ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ สำหรับสารอินทรีย์และโลหะหนัก " การประชุมวิชาการการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 2 : มหาวิทยาลัยมหิดล.

ณรงค์ ณ.เชียงใหม่. 2525. มลพิษสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮาส์.

ธงชัย พรรณเสวัสดิ์. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล และ รพีพรรณ วิทิตสุวรรณกุล. 2538. อุตสาหกรรมยางพารากับปัญหาสิ่งแวดล้อม. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องเทคโนโลยีและการจัดการสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตภาคใต้ตอนล่าง ณ. โรงแรมหาดแก้วปริ้นเซสรีสอร์ท จังหวัดสงขลา วันที่ 24-25 กุมภาพันธ์ 2538.

บัญญัติ สุชศรีงาม. 2534. จุลชีววิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยบูรพา

ผลชิต บัวแก้ว. 2531. การผลิตน้ำยางข้น. ศูนย์วิจัยยางสงขลา. สถาบันวิจัยยาง. กรมวิชาการเกษตร.

พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525 เคมีสภาวะแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2535. การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากมนุษย์ในเขตภาคเหนือตอนบน.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2525. การออกแบบขั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา เล่มที่ 1 ความรู้พื้นฐาน. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วราภรณ์ ขจรไชยกุล. 2524. การผลิตยางธรรมชาติ. ม.ป.ท. : ม.ป.พ.

สิริ ทุกข์วินาท. 2528. วิธีวิเคราะห์เพื่อการเพาะเลี้ยงน้ำชายฝั่ง. ม.ป.ท. : สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

อุดมผล พืชน์ไพบูลย์. 2535. เทคนิคการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

APHA, AWWA and WPCF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. New York : American Public Health Association.

Brock, T.D.; Smith, D. W. and Madigan, D. M. 1984. Biology of Microorganisms. 4th ed. America : Prentice - Hall International editions.

Chen, K. V. and Liao, P.H. 1990. "Anaerobic Treatment of Baker's Yeast Wastewater : II. Sulfate Removal " Biomass. 23, 25-37.

Choi, E. V. and Rim, M. J. 1990. "Competition and Inhibition of Sulfate Reducers and Methane Producer in Anaerobic Treatment ", Wat. Sci Tech. 23, 1259-1264.

Crawford, M. 1976. Air Pollution Control Theory. New Delhi : Mc Graw-Hill.

Dally, K.A. 1982. Hazard Lurk Innocent-Looking Manholes. New York : WPCF.

Hesketh, H.E., and Cross, F.L. 1989. Odor Control Including Hazardous/Toxic Odor. America : Technomic Publishing Company.

Kabdasli, I. and Tunay, O. 1993. "Treatment of Sulfate Containing Wastewater Using Barium Salts" Wat. Sci. Tech. 28, 257 - 265.

Kroiss, H. and Plahl - Webnegg, F., 1983. ", Sulfide Toxicity with Anarobic Wastewater Treament", In Proceeding of the European Symposium on Anaerobic Wastewater Treatment. 72-85.

Mc Farland, M. J. and Jewell, W. J. 1989. "In Situ Control of Sulfide Emissions During the Thermophilic (55^{o}c) Anaerobic Digestion Process",

Wat. Res. 23, 1571-1577.

Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3 rd nd. Singapore : McGraw-Hill.

Novaes, R. F.W. 1986. "Microbiology of anaerobic digestion". Wat. Sci. Tech. 18, 1-12.

Oleszkiewicz J.A; Marstaller T., and Mccartney D.M. 1989. "Effect of pH on Sulfide Toxicity to Anaerobic Process" , Environmental Technology Letters. 10, 815 - 822.

Pandey, A.; Radhika, L.G. and Ramakrishna, S.V. 1990. " Start-Up Anaerobic Treatment of Natural-Rubber Effluent" , Biological Waste. 33, 143-147.

Postgate, J.R. 1979. The Sulfate-Reducing Bacteria. London : Cambridge University.

Ronald, M A. 1981. Microbial ecology : Fundamentals and applications. U.S.A. : Addison-wesley.

Sawyer and Mc Carty. 1978. Chemistry for Environmental Engineers. 3 rd ed. New York : Mc Graw - Hill.

Ueki, K.; Ueki, A. and Simogoh, Y. 1988. "Terminal Steps in The Anaerobic Digestion of Municipal Sewage Sludge : Effects of Inhibitors of

Methanogenesis and Sulfate Reduction", J. Gen. Appl. Microbial. 34, 425-432.

Zeikus, J. G. 1980. "Microbial Population in Digesters". Applied Science Publisher, 61-89.

ภาคผนวก

ตารางผนวก 1 คุณลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดจำลอง

การทดลองที่	ถังหมักที่	วันที่ทดลอง	COD in (มก/ล)	คุณลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบ			
				พีเอช	COD eff (มก/ล)	ความเป็นด่าง(มก/ล)	กรดระเหย (มก/ล)
1	pH 6	29	6138.0	6.99	2816.1	-	-
		35	6241.0	6.40	2967.0	-	-
		41	6348.0	6.40	2824.6	820.0	666.7
		47	5940.0	6.27	2930.4	766.7	610.6
		53	5130.0	6.06	2508.0	776.7	620.0
		59	6080.0	5.99	2660.0	720.0	600.7
		65	8230.0	6.27	2563.0	816.7	613.3
		71	6052.0	6.10	2492.0	783.3	616.7
	pH 7	29	6138.0	7.29	2693.0	-	-
		35	6241.0	7.08	2760.4	-	-
		41	6348.0	7.03	2910.0	1400.0	425.0
		47	5940.0	6.9	2851.0	1500.0	500.0
		53	5130.0	6.9	2280.0	1066.7	416.7
		59	6080.0	7.0	2128.0	1316.7	416.7
		65	8230.0	7.32	2349.6	1266.7	483.3
		71	6052.0	7.00	2064.8	1333.3	450.0
	pH 8	29	6138.0	7.69	2859.0	-	-
		35	6241.0	7.83	2970.4	-	-
		41	6348.0	8.12	2857.4	1500.0	416.7
		47	5940.0	8.0	2890.8	1600.0	433.3
		53	5130.0	7.65	2356.0	1400.0	408.3
		59	6080.0	8.0	2584.0	1500.0	483.3
		65	6230.0	8.08	2848.0	1816.7	583.3
		71	6052.0	7.8	2634.4	1666.7	550.0

ตารางผนวก 1 (ต่อ)

การทดลองที่	ถังหมักที่	วันที่ทดลอง	COD in (มก/ล)	คุณลักษณะน้ำเสียที่ออกจากระบบ			
				พีเอช	COD eff (มก/ล)	ความเป็นด่าง(มก/ล)	กรดระเหย (มก/ล)
2	pH 6	106	5240.0	6.25	1536.0	-	-
		109	5272.0	6.32	1552.0	-	-
		112	5660.0	6.42	1760.0	780.0	400.0
		118	5152.0	6.50	1540.0	800.0	366.7
		124	5760.0	6.11	1408.0	720.0	450.0
		130	5700.0	6.52	1000.0	850.0	350.0
		136	4416.0	6.24	1306.67	776.7	366.7
		142	4560.0	6.51	1013.3	833.3	400.0
	pH 7	106	5240.0	7.15	1556.0	-	-
		109	5272.0	7.23	1540.0	-	-
		112	5660.0	7.05	1580.0	1866.7	258.3
		118	5152.0	7.20	1840.0	1833.3	250.0
		124	5760.0	7.08	1536.0	1760.0	216.7
		130	5700.0	7.12	1362.0	2000.0	183.3
		136	4416.0	7.20	1245.3	2083.0	233.3
		142	4560.0	7.12	1013.0	2050.0	216.7
	pH 8	106	5240.0	7.59	2940.0	-	-
		109	5272.0	7.86	3020.0	-	-
		112	5660.0	7.75	3150.0	2000.0	916.7
		118	5152.0	7.56	3066.7	2666.7	1166.7
		124	5760.0	9.04	3584.0	2750.0	1233.3
		130	5700.0	7.95	3384.0	2766.7	1283.3
		136	4416.0	7.85	3454.0	2791.7	1250.0
		142	4560.0	7.72	3420.0	2666.7	1116.7

ตารางผนวก 2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 1 (ถังหมัก pH 6)

วันที่ทดลอง	pH	COD in (mg/l)	COD eff (mg/l)	% remove	SS in (mg/l)	SS eff (mg/l)	% remove	Total sulfide in (mg/l)	Total sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)
47	6.27	5940.0	2930.4	50.67	823.33	195.0	76.31	8.16	72.0	63.84
53	6.06	5130.0	2508.0	51.11	830.0	186.67	77.51	8.21	59.0	50.79
59	5.99	6080.0	2660.0	56.25	793.33	196.67	75.21	10.8	44.8	34.0
65	6.27	6230.0	2563.2	58.85	700.0	176.67	74.76	12.0	48.0	36.0
71	6.1	6052.0	2492.0	58.82	636.67	130	79.58	10.2	39.8	29.6
วันที่ทดลอง	pH	Dissolved sulfide in (mg/l)	Dissolved sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	H_2S in (mg/l)	H_2S eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	Sulfate in (mg/l)	Sulfate eff (mg/l)	% remove
47	6.27	1.88	28.0	26.12	1.62	23.24	21.62	240	120	50.0
53	6.06	4.40	44.0	39.60	3.92	39.16	35.24	220	100	54.54
59	5.99	0.80	15.48	14.68	0.72	14.01	13.29	245	100	59.18
65	6.27	3.14	25.60	22.46	2.77	22.25	19.48	255	105	60.37
71	6.1	5.33	24.80	19.47	4.74	21.33	16.59	250	90	64.0

ตารางผนวก 3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 1 (ถังหมัก pH 7)

วันที่ทดลอง	pH	COD in (mg/l)	COD eff (mg/l)	% remove	SS in (mg/l)	SS eff (mg/l)	% remove	Total sulfide in (mg/l)	Total sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)
47	6.9	5940.0	2851.0	52.0	823.33	118.33	85.63	8.32	72.0	63.68
53	6.9	5130.0	2280.0	55.56	830.3	130.0	84.34	8.36	76.67	68.31
59	7.0	6080.0	2128.0	65.0	793.3	200.0	74.79	12.4	43.0	30.60
65	7.32	6230.0	2349.6	62.28	700.0	206.67	70.47	10.3	44.0	33.70
71	7.0	6052.0	2064.8	65.88	636.67	200.0	68.59	8.6	30.8	22.20
วันที่ทดลอง	pH	Dissolved sulfide in (mg/l)	Dissolved sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	H_2S in (mg/l)	H_2S eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	Sulfate in (mg/l)	Sulfate eff (mg/l)	% remove
47	6.9	2.86	32.0	29.14	0.63	19.52	18.89	215	80	62.8
53	6.9	4.69	48.0	43.31	2.06	23.91	21.89	265	100	62.26
59	7.0	3.20	23.2	20.00	1.50	10.44	8.94	245	110	55.1
65	7.32	3.78	28.0	24.22	1.34	7.84	6.50	265	125	52.83
71	7.0	4.44	20.0	15.56	1.95	8.80	6.85	250	130	48.0

ตารางผนวก 4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 1 (ถังหมัก pH 8)

วันที่ทดลอง	pH	COD in (mg/l)	COD eff (mg/l)	% remove	SS in (mg/l)	SS eff (mg/l)	% remove	Total sulfide in (mg/l)	Total sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)
47	8.00	5940.0	2890.8	51.33	823.33	112.5	86.34	12.16	111.47	99.31
53	7.65	5130.0	2356.0	54.07	830	116.67	85.94	8.5	103.0	94.50
59	8.00	6080.0	2584.0	57.50	793.3	137.33	78.15	13.6	82	68.40
65	8.01	6230.0	2848.0	54.28	700	103.33	85.24	12	85.4	73.40
71	7.8	6052.0	2634.4	56.47	636.67	116.67	81.67	10.4	82.27	71.87
วันที่ทดลอง	pH	Dissolved sulfide in (mg/l)	Dissolved sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	H_2S in (mg/l)	H_2S eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	Sulfate in (mg/l)	Sulfate eff (mg/l)	% remove
47	8.00	9.3	110.4	101.10	0.67	7.95	7.28	200	110	45
53	7.65	5.86	90.4	84.54	0.46	14.4	13.94	255	90	64.7
59	8.00	4	51.2	47.20	0.18	3.69	3.51	245	100	59.18
65	8.01	5.77	63.2	57.43	0.41	4.42	4.01	265	135	49.06
71	7.8	4.44	47.2	52.76	0.32	5.19	4.87	250	125	50

ตารางผนวก 5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 2 (ถังหมัก pH 6)

วันที่ทดลอง	pH	COD in (mg/l)	COD eff (mg/l)	% remove	SS in (mg/l)	SS eff (mg/l)	% remove	Total sulfide in (mg/l)	Total sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)
112	6.42	5660.0	1760	68.9	70	180	61.11	16.8	52.8	36.00
118	6.50	5152	1540	70.11	66.67	133.33	49.99	14.6	44.44	29.84
124	6.11	5760	1408	75.55	86.67	190.0	54.38	16.0	51.6	35.60
130	6.52	5700	1000	82.4	95	178.33	46.73	15.6	47.3	31.70
136	6.24	4416	1306.67	70.41	102.5	180	43.06	16.6	48.8	32.20
142	6.51	4560	1013.33	77.78	100	180	44.44	18.4	52.4	34.00
วันที่ทดลอง	pH	Dissolved sulfide in (mg/l)	Dissolved sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	H_2S in (mg/l)	H_2S eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	Sulfate in (mg/l)	Sulfate eff (mg/l)	% remove
112	6.42	12.6	48.8	36.20	9.32	36.11	26.79	270	110	59.25
118	6.50	10.6	31.2	20.60	7.53	22.15	14.62	275	100	63.64
124	6.11	10.8	44.57	33.77	9.18	37.88	28.70	260	100	61.54
130	6.52	10	43.6	33.60	7	30.52	23.52	270	120	55.55
136	6.24	12.8	44.4	31.60	10.24	35.52	25.28	250	110	56
142	6.51	10	45	35.00	8.1	31.5	23.40	270	100	62.96

ตารางผนวก 6 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 2 (ถังหมัก pH 7)

วันที่ทดลอง	pH	COD in (mg/l)	COD eff (mg/l)	% remove	SS in (mg/l)	SS eff (mg/l)	% remove	Total sulfide in (mg/l)	Total sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)
112	7.05	5660.0	1580	71.78	70	266.67	73.75	14.8	58.9	44.10
118	7.2	5152	1840	64.29	66.67	260	74.35	15.2	51.2	36.00
124	7.08	5760	1536	73.33	86.67	243.32	64.38	14.6	49.2	34.60
130	7.12	5700	1362	76.1	95	210	54.76	16.4	58.8	42.40
136	7.2	4416	1245.3	71.8	102.5	230	55.65	16	61.2	45.20
142	7.12	4560	1013.33	77.79	100	220	54.54	18.2	67.2	49.00
วันที่ทดลอง	pH	Dissolved sulfide in (mg/l)	Dissolved sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	H_2S in (mg/l)	H_2S eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	Sulfate in (mg/l)	Sulfate eff (mg/l)	% remove
112	7.05	12	50	38.00	4.8	22	17.20	270	130	51.85
118	7.2	11	47.2	36.20	3.41	20.77	17.36	275	130	52.72
124	7.08	9.6	38.28	28.68	3.46	16.84	13.38	260	125	51.92
130	7.12	10.5	44	33.50	4.62	16.72	12.10	270	125	53.7
136	7.2	10.2	47.6	37.40	3.16	14.76	11.60	250	120	52
142	7.12	10	58	48.00	4.1	22.04	17.94	270	125	53.7

ตารางผนวก 7 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี จากการทดลองที่ 2 (ถังหมัก pH 8)

วันที่ทดลอง	pH	COD in (mg/l)	COD eff (mg/l)	% remove	SS in (mg/l)	SS eff (mg/l)	% remove	Total sulfide in (mg/l)	Total sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)
112	7.75	5660.0	3150	44.34	70	110.0	36.36	16.5	83.2	66.70
118	7.56	5152	3066.67	40.47	66.67	96.67	31.03	15.2	62.8	47.60
124	9.04	5760	3584	37.78	86.67	133.33	34.99	12.6	75.6	63.00
130	7.95	5700	3384	40.63	95	138.3	31.2	16.8	76.4	59.60
136	7.89	4416	3454.67	21.77	102.5	146.67	30.46	16.0	80.2	64.20
142	7.75	4560	3420	25	100	153.33	34.78	18.8	84	65.20
วันที่ทดลอง	pH	Dissolved sulfide in (mg/l)	Dissolved sulfide eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	H_2S in (mg/l)	H_2S eff (mg/l)	การเพิ่มขึ้น (มก/ล)	Sulfate in (mg/l)	Sulfate eff (mg/l)	% remove
112	7.75	12.4	78.4	66.00	1.49	9.41	7.92	270	140	48.15
118	7.56	10	62.4	52.40	2.0	12.48	10.48	275	135	50.91
124	9.04	9.6	70.28	60.68	0.77	5.66	4.89	260	130	50
130	7.95	11	58.8	47.80	0.79	3.7	2.91	270	125	53.7
136	7.89	12	72.8	60.80	1.07	6.48	5.41	250	135	46
142	7.75	10	77.6	67.60	1.33	9.3	7.97	270	125	53.7

ตารางผนวก 8 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 1 ถังหมัก พีเอช 6

วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)	วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)
29	6.99	125	51	6.02	107
30	6.97	150	52	6.07	107
31	6.75	113	53	6.06	93
32	6.57	120	54	6.20	102
33	6.55	95	55	6.20	45
34	6.47	57	56	6.01	25
35	6.40	68	57	6.02	30
36	6.60	56	58	6.18	115
37	6.40	86	59	5.99	67
38	6.30	50	60	5.90	110
39	6.40	85	61	5.93	133
40	6.40	80	62	6.01	80
41	6.40	77	63	6.07	102
42	6.30	55	64	6.04	87
43	6.30	80	65	6.27	132
44	6.26	60	66	6.23	169
45	6.15	80	67	6.12	91
46	6.17	72	68	6.20	105
47	6.27	108	69	6.14	85
48	6.23	83	70	6.09	90
49	6.08	118	71	6.10	40
50	6.03	117			

ตารางผนวก 9 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 1 ถังหมัก พีเอช 7

วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)	วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)
29	7.27	0	51	6.96	60
30	7.20	1	52	7.01	3000
31	7.20	19	53	6.90	97
32	7.26	0	54	7.05	3000
33	7.34	0	55	7.04	0
34	7.13	24	56	7.12	20
35	7.08	3000	57	7.10	3000
36	7.14	3000	58	7.09	0
37	7.12	0	59	7.00	3900
38	7.15	0	60	6.95	0
39	7.18	0	61	6.81	0
40	7.22	15	62	7.30	3000
41	7.03	3000	63	7.22	27
42	7.01	3000	64	7.18	0
43	6.96	3000	65	7.32	3900
44	6.90	10	66	7.30	0
45	6.90	0	67	7.28	3900
46	6.90	3000	68	7.36	30
47	6.90	70	69	7.30	70
48	6.80	50	70	7.02	3000
49	6.69	2800	71	7.00	23
50	7.01	55			

ตารางผนวก 10 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 1 ถังหมัก พีเอช 8

วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)	วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)
29	7.68	62	51	8.16	140
30	7.70	19	52	8.01	135
31	8.04	37	53	7.65	130
32	7.95	42	54	7.67	132
33	7.65	48	55	8.03	125
34	7.85	41	56	8.20	60
35	7.83	25	57	8.26	20
36	7.93	25	58	8.50	35
37	7.92	62	59	8.00	73
38	7.86	49	60	7.85	53
39	7.88	56	61	8.02	115
40	7.84	59	62	8.80	120
41	8.12	37	63	8.60	60
42	8.20	40	64	8.00	118
43	7.72	72	65	8.08	167
44	7.87	43	66	8.05	120
45	8.50	42	67	7.98	135
46	8.28	58	68	7.60	72
47	8.00	145	69	8.00	102
48	7.80	102	70	7.75	100
49	7.60	147	71	7.80	125
50	8.24	170			

ตารางผนวก 11 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถังหมัก พีเอช 6

วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)	วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)
106	6.30	3000	128	6.48	4400
107	6.31	3900	129	6.49	4600
108	6.25	3900	130	6.52	4800
109	6.17	3900	131	6.31	4600
110	6.32	3900	132	6.22	4100
111	6.38	3900	133	6.27	4600
112	6.42	3700	134	6.23	4800
113	6.31	3200	135	6.25	4500
114	6.25	3900	136	6.24	4200
115	6.22	4000	137	6.24	4600
116	6.37	4000	138	6.21	4000
117	6.45	4000	139	6.31	4900
118	6.50	4000	140	6.33	4900
119	6.33	4000	141	6.32	4800
120	6.27	3900	142	6.51	5000
121	6.24	4000			
122	6.21	4000			
123	6.19	4000			
124	6.11	4000			
125	6.22	4000			
126	6.38	4300			
127	6.42	4100			

ตารางผนวก 12 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถังหมัก พีเอช 7

วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)	วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)
106	7.01	3000	128	7.27	3900
107	7.02	3900	129	7.18	4100
108	7.15	3900	130	7.12	3800
109	7.08	3900	131	7.16	3900
110	7.23	3900	132	7.25	4400
111	7.16	3900	133	7.24	0
112	7.05	3900	134	7.35	9300
113	7.08	250	135	7.28	3900
114	7.12	0	136	7.20	3900
115	7.05	100	137	7.27	4000
116	7.01	9500	138	7.25	3900
117	7.18	4000	139	7.35	0
118	7.20	4000	140	7.28	4300
119	7.22	4000	141	7.25	4400
120	7.21	4000	142	7.12	4200
121	7.24	9200			
122	7.15	3900			
123	7.12	0			
124	7.08	4000			
125	7.02	4000			
126	7.22	3900			
127	7.25	0			

ตารางผนวก 13 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ 2 ถังหมัก พีเอช 8

วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)	วันที่ทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณก๊าซที่เกิดแทนที่น้ำ (มล.)
106	7.50	3000	128	8.41	4000
107	7.52	3900	129	8.00	3900
108	7.59	3900	130	7.95	4000
109	7.60	3900	131	7.89	3900
110	7.86	3900	132	7.75	3900
111	7.70	3900	133	7.90	3700
112	7.75	4000	134	7.89	3800
113	7.82	3900	135	7.87	350
114	7.76	4000	136	7.89	960
115	7.65	4000	137	7.51	0
116	7.86	4000	138	7.89	0
117	7.70	4000	139	8.02	650
118	7.56	4000	140	8.05	830
119	7.66	4000	141	7.95	810
120	8.50	4000	142	7.72	1012
121	9.70	4000			
122	9.54	4200			
123	9.34	4300			
124	9.04	4600			
125	9.11	4000			
126	9.13	4100			
127	8.62	4600			

ตารางผนวก 14 ค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และปริมาณกลิ่นของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ค่าพีเอช	ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก/ล)	ปริมาณกลิ่น (T.O.N.)
6.27	23.24	374
6.06	39.16	380
5.99	14.10	380
6.11	37.88	267
6.52	30.52	400
6.24	35.52	312
6.90	19.52	354
6.90	23.91	354
7.0	10.44	374
7.08	16.84	241
7.12	16.72	320
7.20	14.76	251
8.0	7.95	322
7.69	14.4	347
8.0	3.69	354
9.04	5.66	229
7.95	3.70	308
7.89	6.48	289

การประมาณปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ระเหยออกจากบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานยาง

$$SO_4^{2-} + 4H_2 \xrightarrow{\text{sulfate reducing bacteria}} H_2S + 2H_2 + 2OH^-$$

ตารางผนวก 15 ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานยางพารา

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย (มก/ล)	
	น้ำเสียรวม	น้ำเสียที่ออกจากบ่อ anaerobic 2
Sulfate	375	105
Total sulfide	16.5	57.6
Hydrogensulfide	7.91	15.10

ซัลเฟต มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 96

ซัลไฟด์ทั้งหมด มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 33.27

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 34

ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียรวม $= 375 \times 10^{-3} / 96$

$= 3.91 \times 10^{-3}$ mol/l

จากสมการ sulfate reduction อัตราการเปลี่ยนแปลงของซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 1: 1

ปริมาณซัลเฟตที่เปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ $= 270 \times 10^{-3} / 96$

$= 2.81 \times 10^{-3}$ mol/l

ดังนั้นปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด $= 2.81 \times 10^{-3}$ mol/l

น้ำเสียที่ออกจากบ่อ anaerobic 2

มีปริมาณซัลเฟตทั้งหมด (Total sulfide) = 57.6 mg/l

$= 57.6 \times 10^{-3} / 33.27$ mol/l

$= 1.73 \times 10^{-3}$ mol/l

ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในส่วนที่ระเหยไป = ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น - ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดที่เหลืออยู่

$= 2.81 \times 10^{-3} - 1.73 \times 10^{-3}$ mol/l

$= 1.08 \times 10^{-3}$ mol/l

$= 1.08 \times 10^{-3} \times 10^{3} \times 34$

= 36.42 mg/l

ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในส่วนที่ระเหยจากบ่อหมักไร้อากาศมีค่า 36.42 มก/ล

ตัวอย่างการคำนวณ การหมุนเวียนน้ำหลังจากผ่านการบำบัดแล้วกลับมาเจือจางน้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

กำหนดให้น้ำเสียรวมที่เข้าระบบ มีค่า BOD_5 = 6,000 มก/ล

SO_4^{2-} = 400 มก/ล

อัตราการไหล = 1,500 ลบม/วัน

กำหนดให้น้ำที่นำมาเจือจาง มีค่า BOD_5 = 200 มก/ล

SO_4^{2-} = 50 มก/ล

อัตราการไหล = 750 ลบม/วัน

ขนาดบ่อ = กว้าง x ยาว x ลึก = 44 x 50 x 3.5 ลบม.

BOD_5 loading rate = BOD_5 x Q / A

Q = อัตราการไหล = 1,500 ลบม/วัน

A = พื้นที่บ่อ = 44 x 50 = 2,200 ตร.ม.

BOD_5 loading rate ของน้ำเสียเข้าระบบ = $6,000 \times 10^{-3} \times 1,500 / 2,200$

= 4.09 กก.บีโอดี / $ม^2$.วัน

BOD_5 loading rate ของน้ำเสียที่นำมาเจือจาง = $200 \times 10^{-3} \times 750 / 2,200$

= 0.068 กก.บีโอดี / $ม^2$.วัน

เมื่อนำน้ำหลังการบำบัดมาเจือจางน้ำเสียรวม ค่า BOD_5 loading rate เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.64

ระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) = V/Q

V = ปริมาตรบ่อ (ลบ.ม.)

Q = อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)

ปริมาตรของบ่อ = กว้าง x ยาง x ลึก

= 44 x 50 x 3.5

= 7,700 ลบ.ม.

ระยะเวลาการกักเก็บ (ก่อนการหมุนเวียนน้ำมาเจือจาง) = 7,700 / 1,500 = 5.13 วัน

ระยะเวลาการกักเก็บ = 7,700 / 2,250 = 3.42 วัน
(หลังการหมุนเวียนน้ำมาเจือจาง)

เมื่อนำน้ำมาเจือจางน้ำเสียรวม ระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) จะลดลงร้อยละ 33.33

ค่าบีโอดีและปริมาณซัลเฟตมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ค่าบีโอดี BOD_5 ของน้ำเสียรวม = 6,000 มก/ล

BOD_5 ของน้ำเสียที่เจือจางแล้ว = 6,000(1,500)+200(750) / 1,500+750
= 4066.67 มก/ล

ค่าบีโอดีจะลดลงร้อยละ 32.22

ปริมาณซัลเฟต ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียรวม = 400 มก/ล

ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียที่เจือจางแล้ว = 400(1,500) + 50(750)/(1,500+750)
= 283.33 มก/ล

ปริมาณซัลเฟตจะลดลงร้อยละ 29.17

การนำน้ำหลังการบำบัดที่มีอัตราการไหล 750 ลบม./วัน มาเจือจางน้ำเสียรวมซึ่งมีอัตราการไหล 1,500 ลบม./วัน ทำให้ค่า BOD loading rate เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.64

ระยะเวลาการกักเก็บ ลดลงร้อยละ 33.33

ค่า BOD_5 ลดลงร้อยละ 32.22

ปริมาณซัลเฟต ลดลงร้อยละ 29.17

การนำน้ำหลังการบำบัดมาเจือจางน้ำเสียรวมสามารถทำให้ค่าบีโอดีและปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียลดลงได้ แต่จะมีอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาการกักเก็บลดลง การจะนำน้ำมาเจือจางได้นั้นข้อควรพิจารณาคือ ปริมาตรบ่อจะต้องสามารถรองรับน้ำเสียที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นได้ โดยระยะเวลาการกักเก็บ (Hydraulic retention time) มีค่าเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย จากตัวอย่างเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำกลับมาเจือจาง หากต้องการควบคุมระยะเวลากักเก็บให้มีค่าคงเดิม (5.13 วัน) อาจทำได้โดยขุดบ่อให้มีความลึกเพิ่มขึ้น 1.75 เมตร ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องค่าใช้จ่ายต่อไป

วิธีวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสีย

1. ความเป็นด่าง (Alkalinity) โดยวิธี Direct Titration Method (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้เตรียมสารต่างๆ

2. สารละลายฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์

3. สารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริค ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล หาค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริคโดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 นอร์มัล ซึ่งเตรียมได้โดยละลายโซเดียมคาร์บอเนต (อบแห้งที่ 110°ซ) 1.06 กรัม ในน้ำกลั่นและเติมให้เป็น 1 ลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล 1 มล. จะมีค่าเท่ากับ 1.00 มก. $CaCO_3$

4. สารละลายเมทธิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย $Na_2S_2O_3$ $5H_2O$ 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะหาให้เหมาะสม เพื่อที่จะใช้สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริคไม่เกิน 25 มล. ในการไตเตรทโดยทั่วไปจะใช้ 50 มล. หรือ 100 มล. ไล่คลอรีนอิสระที่อาจมีอยู่ในตัวอย่างน้ำโดยหยดสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ลงไป 1 หยด (0.05 มล.)

1. ดูดตัวอย่างน้ำ 100 มล. โดยใช้ปิเปต ใส่ลงในเออเลนเมเยอร์ฟลาส (Erlenmeyer Flask) และดูดน้ำกลั่น 100 มล. ใส่ลงในเออเลนเมเยอร์ฟลาสอีกใบหนึ่ง

2. หยดฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์ ลงไปฟลาสละ 3 หยด

3. ถ้าตัวอย่างน้ำมีสีชมพู ไตเตรทด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีชมพูหายไป (=P)

4. หยดเมทธิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 3 หยดลงในแต่ละฟลาสค์

5. ถ้าตัวอย่างมีสีเหลืองเรื่อๆ ไตเตรทต่อไปด้วย กรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสังเกตเห็นสีเริ่มเปลี่ยนไปโดยเทียบกับสีในขวดที่มีน้ำกลั่น แสดงว่าถึงจุดสมดุลย์ ซึ่งจะมีสีส้ม

6. จดปริมาตร กรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ทั้งหมดที่ใช้ (=T)

<u>การคำนวณ</u>

ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) = ปริมาตรกรดที่ใช้ทั้งหมด x 10

ให้ P = ปริมาณ มล. กรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรทสำหรับฟีนอฟทาลีนอินดิเคเตอร์

T = ปริมาตร มล.กรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรททั้งหมด

1. ถ้า P = T	ไฮดรอกไซด์	= P x 10
2. ถ้า P > 0.5T	ไฮดรอกไซด์	= (2P-T) x 10
	คาร์บอเนต	= 2(T-P) x 10
3. P = 0.5T	คาร์บอเนต	= T x 10
4. P < 0.5T	คาร์บอเนต	= 2T x 10
	ไบคาร์บอเนต	= (T-2P) x 10
5. P = 0	ไบคาร์บอเนต	= T x 10

หมายเหตุ หน่วยความเข้มข้นเป็น มก./ ล as $CaCO_3$

2. Biochemical Oxygen Demand (BOD) (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. ขวดมาตรฐาน ความจุ 250 - 300 มล. มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอขณะ incubate ที่ 20 °ซ เพื่อกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนใช้

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 20°ซ

3. ตู้เย็นขนาด 6 ลูกบาศก์ฟุต หรือ ใหญ่กว่า

4. กระบอกตวง ขนาด 1 ลิตร

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่าง (alkalinity) กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01มก./ลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย HK_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม Na_2HPO_4 .$7H_2O$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรจะมีค่า pH 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $MgSO_4$ $7H_2O$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย $CaCl_2$ ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายเฟอริคคลอไรด์ ละลาย $FeCl_3$ $6H_2O$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วจึงเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ละลาย Na_2SO_3 ที่อบแห้ง 1.575 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่คงที่สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น

7. สารละลายกรด และ ด่าง 1 นอร์มัล สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

<u>วิธีการ</u>

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และ เฟอริคคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มล. ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลาง คือ pH ประมาณ 7 ด้วย กรดซัลฟูริค ความเข้มข้น 1 นอร์มัล หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

วิธีการเจือจาง

1. เลือกเปอร์เซนต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า BOD อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือกเปอร์เซนต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ขั้น ตามตารางผนวก 16 ดังนั้นจึงต้องรู้ค่า BOD โดยประมาณก่อน

2. ค่อยๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 มล. ในกระบอกตวงขนาด 1000 มล. โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

3. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วจึงเติมน้ำเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

5. ค่อยๆรินใส่ขวด BOD 3 ขวด ปิดจุก นำไปเก็บในตู้ incubater ที่ 20 °ซ 2 ขวด ที่เหลือนำไปหาค่า DO ทันทีเพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D_1)

6. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2 ถึงข้อ 5 สำหรับเปอร์เซนต์ตัวอย่างเจือจางที่ต่ำกว่าและสูงกว่าตามลำดับ

3. การหาปริมาณ DO หาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น โดยวิธี Azide Modification of the Iodometric Method ดังจะกล่าวในข้อ 2.1

4. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

เพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเปอร์เซนต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมืดอุณหภูมิ 20±1°ซ เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (D_2)ตามหัวข้อ 4

5. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งเพาะที่ 20°ซ ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที

6. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมีค่าปริมาณ DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1.0 มก./ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มก./ลิตร จึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้ถูกต้องที่สุด

7. การคำนวณ

ตารางผนวก 16 . ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซนต์ตัวอย่างของการเจือจาง

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	100.0

2.1 ออกซิเจนละลายได้ (Dissolved Oxygen) โดยวิธี Azide Modification of the Iodometric

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $MnSO_4 .4H_2O$ 480 กรัม หรือ $MnSO_4 .2H_2O$ 400 กรัม หรือ $MnSO_4 .H_2O$ 364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์ ละลาย NaOH 400 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมปริมาตรเป็น 1 ลิตร เสร็จแล้วเติม NaN_3 10 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 ลิตร

3. กรดซัลฟูริคเข้มข้น

4. น้ำแป้ง ละลายแป้งมัน 5 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 50มล. ค่อยๆเทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มล. ที่ต้มจนเดือดและคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำอีกจนเป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ปิดไฟตั้งทิ้งให้เย็นเติมกรด Salicylic 1.25 กรัม หรือใช้ Toluene 2-3 หยด เติมลงในสารละลายน้ำแป้งเพื่อป้องกันบูด

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ใช้ในการไตเตรท ละลาย $Na_2S_2O_3$ $5H_2O$ 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดใหม่ๆ และปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพอยู่ได้โดยเติม NaOH 0.4 กรัมต่อลิตร สารละลายมาตรฐานนี้ 1 มล. จะมีค่าเท่ากับปริมาณสารละลายออกซิเจน (DO) 0.2 มก.

<u>การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ด้วยสารละลายไดโครเมท</u>

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่อบแห้ง 1.226 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. ละลาย KI 2 กรัม ในขวดแก้วเออเลนเมเยอร์ฟลาส ด้วยน้ำกลั่น 100 - 150 มล.

3. เติม H_2SO_4 (1+9) 10 มล.

4. เติมสารละลายมาตรฐาน โปรแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 20 มล.

5. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที

6. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 400 มล. โดยประมาณ

7. ไตเตรท ไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

8. Normality ของสารละลายไธโอซัลเฟต a x N / 20

a = มล. ไธโอซัลเฟตที่ใช้

N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$

9. ปรับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ให้มีความเข้มข้นแน่นอนเป็น 0.025 นอร์มัล

วิธีการ

1. จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในขวด 250-300 มล. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มล.

2. แล้วเติมสารละลายอัลคาไลด์-ไดโอไดด์-อาไซด์ ตามลงไปทันที 2 มล. ให้ปลายหลอดจมอยู่ในน้ำตัวอย่าง

3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าแบบพลิกฝ่ามือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น

4. รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มล. ค่อยๆเปิดจุกแล้วเติมกรดเข้มข้นลงทันที 2 มล. ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด

5. ปิดจุกค่อยๆเขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

6. ตวงสารละลายที่ได้ 203 มล.ใส่ลงในฟลาสค์ขนาด 500 มล. (ปริมาตรจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของน้ำตัวอย่างจริงๆ 200 มล. เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มล. ที่เติมลงไปในขวดขนาด 300 มล. ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไตเตรทจึงควรเป็น $\frac{200 \times 300}{(300-4)} = 203$ มล.)

7. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัลจนได้สีเหลืองอ่อนๆ

8. เติมน้ำแป้ง 1-2 มล. และไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

การคำนวน

ออกซิเจนละลาย DO

1 ml 0.025 N $Na_2S_2O_3$ = 1ml/ DO (ในน้ำตัวอย่าง 200 ml)

BOD_5 (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

BOD_5 (mg/l) = $(D_1 - D_2) / P$

BOD_5 (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

BOD_5 (mg/l) = $[(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f] / P$

โดยที่ D_1 = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

D_2 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในวันที่ 5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

P = อัตราส่วนของการเจือจางตัวอย่างน้ำ

B_1 = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรกของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B_2 = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5 ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

f = อัตราส่วนของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

3. ค่า Chemical Oxygen Demand โดยใช้วิธี Dichromate Reflux Method (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

<u>เครื่องมือ</u>

1. Reflux apparatus ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มล. ซึ่งมีคอที่ทำด้วย ground glass 24/40 และ condenser 300 mm Jacket liebig ซึ่งมีข้อต่อทำด้วย ground glass 24/40
2. hot plate
3. บุเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 12.259 กรัม (อบแห้งที่ 103 °ซ เป็นเวลา 2 ชม.) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติมกรดซัลฟามิก 120 มก. เพื่อกำจัดการขัดขวางการหาเนื่องจาก NO_2)
2. สารละลายกรดซัลฟูริก เติม Ag_2SO_4 22 กรัม ลงในขวดกรดซัลฟูริกเข้มข้นขนาด 9 ปอนด์ หรือ 4 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย
3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย $(NH_4)_2$6 H_2O 39 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มล. ลงไป ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

การหานอร์มัลมาตรฐานของเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

ดูดสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมตมา 10 มล.โดยใช้ปิเปต เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มล.ทิ้งให้เย็น ไตเตรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

$$Normality = \frac{ml.K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{ml.Fe(NH_4)_2(H_2SO_4)_2}$$

4. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ ละลายฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1-10 phenanthroline -monohydrate) 1.485 กรัม และ $FeSO_4 7H_2O$ 695 มก. ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.

5. เงินซัลเฟต เป็นผง

6. เมอร์คิวริซัลเฟต เป็นผง

วิธีการ

1. ดูดตัวอย่างในปริมาตร 20 มล. และ ปรับปริมาตร น้ำหนักและนอร์มัลลิตี้ของน้ำยาเคมีโดยดูจากตารางผนวก 15 เพื่อหาอัตราส่วนของตัวอย่าง กับน้ำยาเคมีที่จะเติม

2. เติมเมอคิวรี(II)ซัลเฟต ($HgSO_4$) ตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางภาคผนวก 17 พร้อมด้วยเม็ดแก้ว (glass beads) และ สารละลายกรดซัลฟูริก ควรเติมกรดอย่างช้าพร้อมกับเขย่าเพื่อละลายเมอคิวรี(II)ซัลเฟต

3. เติมสารละลายโปรแตสเซียมไดโครเมตมาตราฐานตามปริมาตรที่กำหนดในตารางภาคผนวก 15 และผสมอีกครั้ง สวมขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากับเครื่องคอนเดนเซอร์ เปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่านผสมของผสมในขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากันดีก่อนที่จะให้ความร้อน

4. รีฟลักซ์ของผสมนี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยน้ำทิ้งไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างคอนเดนเซอร์

5. เจือจางของผสมในขวดด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 2 เท่า ปล่อยให้เย็นเท่าอุณภูมิห้องไตเตรทไดโครเมตที่เกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด (0.1-0.15 มล.) เป็นอินดิเคเตอร์ (ปริมาตรอินดิเคเตอร์ที่ใช้

ควรจะคงที่ทุกครั้ง) ถือเอาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียว-น้ำเงินไปเป็นสีน้ำตาลแดงทันที เป็นจุดยุติถึงแม้ว่าเมื่อทิ้งไว้ 2-3 นาที สีเขียว-น้ำเงินจะกลับคืนมาก็ตาม

6. ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ก็ต้องเท่ากันด้วย

<u>การคำนวณ</u>

$$mg/lCOD = \frac{(a-b)N \times 8{,}000}{ml.sample}$$

เมื่อ COD = ค่า Chemical Oxygen Demand จาก ไดโครเมต

a = มล. ของ เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) ที่ใช้ในการ ไตเตรทแบลงค์

b = มล. ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

N = นอร์มัลลิตี้ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้

ตาราง ผนวก 17 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ

sample size	0.25 N Standard dichromate (ml)	conc. H_2SO_4 with Ag_2SO_4 (ml)	$HgSO_4$ (mg)	Normality of $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$	Final volume before titration(ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

4. ของแข็งแขวนลอย (Suspened Solids : SS) โดยวิธี Gravimetric method (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. กระดาษกรองใยแก้ว
2. กรวยกรองบุคเนอร์ (bucher funnel)
3. เครื่องดูดอากาศ (suction pump)
4. ตู้อบ (drying oven)
5. เครื่องชั่งละเอียด

<u>วิธีการ</u>

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนัก
2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง ที่จะได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิ กรัม
3. วางกระดาษลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
4. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
5. กรองน้ำตัวอย่างโดยอาศัยแรงดึงดูดจากเครื่องดูดอากาศ
6. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด
7. ปิดเครื่องดูดอากาศ คีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ หรือ กระจกนาฬิกา นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในตู้อบประมาณ 1 ชั่วโมง
8. ทิ้งให้เย็นลงจนเท่าอุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

<u>การคำนวณ</u>

ของแข็งแขวนลอย (mg/l) = [(A-B) x 1000] / ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

5. กรดระเหย (Volatile acids) โดยวิธีไตเตรท (Direct titration method) (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
2. บิวเรตขนาด 50 มล. 2 อันและขาตั้งบิวเรต
3. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
4. เครื่องกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
5. บิกเกอร์ขนาด 200 มล.

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00
2. สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4.00
3. สารละลายกรดซัลฟุริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

<u>วิธีการ</u>

1. ตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งที่จะหากรดระเหยให้ตกตะกอน และรินเอาแต่ส่วนที่ใส
2. ตวงน้ำทิ้งใส่บิกเกอร์ขนาด 200 มล. ใบละ 50 มล. 2 ใบ
3. ปรับเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ทั้ง 2 ค่าพีเอช
4. วัดพีเอชของน้ำทิ้ง
5. ไตเตรทน้ำทิ้งด้วยสารละลายกรดมาตรฐาน เขย่าตลอดเวลาโดยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็ก จดปริมาตรกรดที่พีเอช 4 (=A) แล้วไตเตรทต่อจนพีเอชเป็น 3.5 หรือ 3.0
6. ต้มน้ำให้เดือดเบ่าๆประมาณ 3 นาที ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
7. ไตเตรทน้ำทิ้งข้อ 6 ด้วยสารละลายด่างมาตรฐานจนพีเอชขึ้นเป็น 4 โดยกวนตลอดเวลา จากพีเอช 4 ไตเตรทต่อจนพีเอชขึ้นเป็น 7 จดจำนวนด่างที่ใช้ในการไตเตรทจากพีเอช 4 ถึง พีเอช 7 (B)

การคำนวณ

1. ค่าความเป็นด่างของน้ำทิ้งทั้งหมด (Total alkalinity) (มก./ล. ในรูป $CaCO_3$)

= A x 0.1 x 50 x 1000 /มล.ของน้ำตัวอย่าง

2. คำนวณค่าความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหย (Volatile acid alkalinity) (มล./ล ในรูป $CaCO_3$)

= B x 0.1 x 50 x 1000 /มิลลิลิตรของน้ำตัวอย่าง

3. การคำนวณค่าของกรดระเหย จากค่าความเป็นด่างของกรดระเหยในข้อ 2

กรณีที่ 1 ความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหยมากกว่า 180 มก./ล. $CaCO_3$

ค่ากรดระเหยคิดในรูปกรดอะซิติก มก./ ล. = ค่าความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหย x 1

กรณีที่ 2 ความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหยน้อยกว่า 180 มก./ล. $CaCO_3$

ค่ากรดระเหยคิดในรูปกรดอะซิติก มก./ ล. = ค่าความเป็นด่างเนื่องจากกรดระเหย x 1.5

6. ปริมาณซัลเฟต (Sulfate) โดยวิธี Turbidimetric method (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)
2. แท่งแม่เหล็กกวน
3. ช้อนตวงที่มีความจุ 0.2-0.3 มิลลิลิตร

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายบัฟเฟอร์ A ผสม $MgCl_2.6H_2O$ 30 กรัม $CH_3COONa.3H_2O$ 5 กรัม และ KNO_3 1 กรัมด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 20 มล. น้ำกลั่น 500 มล. แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มล.

2. $BaCl_2$ Crystal 20-30 mesh

3. สารละลายมาตรฐาน ซัลเฟต โดยละลาย Na_2SO_4(anhydrous) 147.9 มล. ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มล. (1 มิลลิลิตร = 100 ไมโครกรัมซัลเฟต)

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างมา 100 มล. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มล. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ A 20 มล. ผสมและคน ค่อยๆเติม $BaCl_2$ Crystal 1 ช้อน จับเวลาพอครบ 1 นาที ให้หยุดคนทันที

2. การวัดความขุ่นของ $BaSO_4$

เทสารละลายที่หยุดคนลงในเซลของสเปคโตโฟโตมิเตอร์ วัดค่าความขุ่นที่ 5 $\pm$0. 5 นาที ที่ 420 นาโนเมตร

3. การเตรียมกราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการปิเปต 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 มล. ของสารละลายซัลเฟตที่เตรียมไว้ ใส่ในขวดรูปกรวยแล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตรแต่ละขวดเป็น 100 มล. และทำทุกอย่างเหมือนตัวอย่าง

4. คำนวณค่าปริมาณซัลเฟต โดยนำค่าที่วัดได้จากตัวอย่าง มาเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

7. ปริมาณซัลไฟด์ (Sulfide) โดยวิธี Iodometric Method (APHA, AWWA and WPCF, 1992)

หลักการ

การวิเคราะห์สารประกอบซัลไฟด์ในน้ำทิ้ง จะพบสารประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด ซึ่งรวมทั้งไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนที่ละลายน้ำ (dissolved H_2S) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^- ion) รวมทั้งสารประกอบโลหะซัลไฟด์ (ที่ละลายได้ในกรด) ซึ่งปนอยู่กับตะกอนแขวนลอยในน้ำ สารประกอบซัลไฟด์มีจำนวนน้อย

เมื่อพีเอชต่ำกว่า 13 สารประกอบซัลไฟด์ที่ไม่ละลายในกรดได้แก่ คอปเปอร์ และ ซิลเวอร์ ซัลไฟด์ที่เป็นสารอยู่ในกลุ่มนี้และไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีที่จะกล่าวในที่นี้

2. ซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย (dissolved sulfide) คือส่วนที่เหลืออยู่จากการแยกเอาตะกอนแขวนลอยออกไปแล้วโดยวิธีฟล็อคคูเลชั่น (flocculation) หรือการหมุนเหวี่ยง

3. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งไม่แตกตัว (un-ionzed hydrogen sulfide) คำนวณได้จากความเข้มข้นของซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย และค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ

<u>อุปกรณ์</u>

1. ขวดแก้วมีฝาปิด ขนาด 500-1000 มิลลิลิตร

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายซิงค์แอซีเตต 1 นอร์มัล ละลายซิงค์แอซิเตตไดไฮเดรท [$Zn(C_2H_3O_2)_2 . 2H_2O$] 220 กรัม ในน้ำ 870 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล.

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริค 6 นอร์มัล

3. สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (iodine solution) 0.025 นอร์มัล ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 20-25 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อย ใส่ไอโอดีน 3.2 กรัมจนไอโอดีนละลายหมด เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มล. เทียบมาตรฐานกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

4. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล

5. สารละลายน้ำแป้ง ละลายแป้ง 5 กรัม ตั้งค้างคืนใส่กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 1.25 กรัม เพื่อกันบูด

6. สารละลาย อะลูมินั่มคลอไรด์ 6 นอร์มัล ละลายอะลูมินั่มคลอไรด์เฮกซาไฮเดรต ($AlCl_3.6H_2O$) 100 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 144 มล.

7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

<u>วิธีวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด</u>

1. ตวงน้ำตัวอย่างมา 300 มล. ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

2. เติมสารละลายซิงค์แอซิเตตไดไฮเดรต 0.45 มล. ลงในขวดแก้ว ใส่น้ำตัวอย่าง 300 มล. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.3 มล. ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน (pH > 9) ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

3. ดึงส่วนที่ใสทิ้งไป โดยกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C

4. ตะกอนมาละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 100 มล.

5. ไตเตรต ตามวิธีของ Iodometric Method

<u>วิธีการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย</u>

ซัลไฟด์ส่วนที่ละลายจะวิเคราะห์โดยนำตัวอย่างไปแยกเอาตะกอนที่มีอยู่ออกโดยวิธีฟล็อคคูเลชั่น และตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนนอนก้น นำเอาเฉพาะน้ำใสไปวิเคราะห์ โดยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตวงน้ำตัวอย่างมา 300 มล. ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.6 มล. ลงในขวดแก้ว เติมน้ำตัวอย่าง 300 มล. แล้วเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ 2 นอร์มัล 0.6 มล. ปิดฝาขวดเขย่าให้เข้ากัน (พีเอช 6-9)

3. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 5-15 นาที

4. เทส่วนที่ใสเก็บไว้ประมาณ 200 มล.

5. นำส่วนใสที่ได้มาเติมสารละลายซิงค์แอซิเตต 0.15 มล. และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล 0.1 มล. ต่อน้ำตัวอย่าง 100 มล. ปิดฝาขวดให้สนิท เขย่าตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

6. ดึงส่วนใสทิ้งโดยกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C

7. นำตะกอนไปละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 100 มิลลิลตร

8. ไตเตรท ตามวิธีของ Iodometric Method

<u>การไตเตรทโดยวิธีของ Iodometric Method</u>

1. เติมสารละลายไอโอดีน 0.025 นอร์มัล ลงในฟลาส โดยกะประมาณสารละลายไอโอดีนจากบิวเรตในปริมาณที่มากพอที่จะทำปฏิกริยาพอดีกับซัลไฟด์ เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 20 มล.

2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 นอร์มัล 2 มล.

3. ปิเปตตัวอย่างปริมาณ 200 มล. ลงในฟลาส เขย่าให้เข้ากัน ถ้าสีของไอโอดีนหายไปให้เติมสารละลายไอโอดีนเพิ่มจนกระทั่งสีเหมือนเดิม

4. ไตเตรทกลับด้วยสารละลาย โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติสีฟ้าจะหายไป

<u>การคำนวณปริมาณซัลไฟด์</u>

มก. S^{2-}/ล. = [(A x B) - (C x D)] x 16000 / มล. ของตัวอย่าง

A = จำนวนมล.ของสารละลายไอโอดีน

B = นอร์มัล ของสารละลายไอโอดีน

C = จำนวนมล.ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

D = นอร์มัลของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

<u>วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งไม่แตกตัว</u>

วัดพีเอชของตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วตรวจหาซัลไฟด์ส่วนที่ละลายตามวิธีข้างต้น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่แตกตัวจะเท่ากับจำนวนซัลไฟด์ส่วนที่ละลายคูณด้วยแฟคเตอร์ในตารางผนวก 18

ตารางผนวก 18 ไฮโดรเจนซัลไฟด์แฟคเตอร์ (Hydrogensulfide factors)

pH	Factor	pH	Factor
5.0	0.99	7.3	0.28
5.4	0.97	7.4	0.24
5.8	0.92	7.5	0.24
6.0	0.89	7.6	0.16
6.2	0.83	7.7	0.13
6.4	0.76	7.8	0.11
6.5	0.71	7.9	0.089
6.6	0.66	8.0	0.072
6.7	0.61	8.2	0.046
6.8	0.55	8.4	0.030
6.9	0.49	8.8	0.012
7.0	0.44	9.2	0.0049
7.1	0.38	9.6	0.0019
7.2	0.33		

- Revised 1968. Based on $K_1 = 1.1 \times 10^{-7}$ (25°C)

ionic strength = 0.02

7. วิธีการวัดกลิ่น (Odor test) (APHA, AWWA AND WPCF, 1992)

<u>วัสดุอุปกรณ์</u>

- กระบอกตวงหรือไซลินเดอร์ (Cylinder) ขนาด 250 หรือ 500 มล.
- ขวดแก้วชมพู่ หรือ เออเลนเมเยอร์ฟลาส (Elenmeyer Flask) ขนาด 250 มล.
- น้ำกลั่น

การทดสอบ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบกลิ่น ปริมาตร 200 มล. เทลงขวดแก้วชมพู่ ควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 0°ซ

2. ดมกลิ่นของน้ำในขวดแก้วชมพู่

- ถ้าเริ่มมีกลิ่นให้คำนวณค่ากลิ่น
- ถ้ามีกลิ่นรุนแรงให้ทำการเจือจางในข้อ 3

3. ทำการเจือจางน้ำตัวอย่าง โดยใส่ตัวอย่างน้ำให้มีปริมาตรน้อยกว่า 200 มล. (A มล.) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 200 มล. เทลงในขวดแก้วชมพู่เขย่าให้เข้ากัน

4. ดมกลิ่นของน้ำในขวดแก้วชมพู่

- ถ้าเริ่มมีกลิ่นให้คำนวณค่ากลิ่น
- ถ้ามีกลิ่นรุนแรงให้ทำการเจือจางในข้อ 3 โดยลดปริมาตรตัวอย่างน้ำ A ลงอีกแล้วทำการทดลองข้อ 4 อีกครั้ง

การคำนวณค่ากลิ่น

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

$$\text{กลิ่น (T.O.N.)} = (A+B)/A$$

หรือ

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

โดย A = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)

B = ปริมาตรน้ำกลั่น (มล.)

การวิเคราะห์ผล

ค่ากลิ่นที่คำนวณได้สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางผนวก 19

ตารางผนวก 19 แสดงผลของกลิ่นจากน้ำตัวอย่างที่ทดสอบ

ค่ากลิ่น	สรุปผล
0	ไม่มีกลิ่น
1	มีกลิ่นรบกวนน้อย
มากกว่า 1	ตัวเลขที่มากขึ้นแสดงถึงมีกลิ่นรบกวนรุนแรงมากขึ้น

ผลการทดสอบกลิ่นแต่ละตัวอย่างใช้ผู้ทดสอบประมาณ 10 คน โดยค่า T.O.N. (Threshold Odor Number) ที่ได้แต่ละตัวอย่างจะเป็นค่าเฉลี่ยโดยหาในรูป Arithmatric mean

วันที่ _____

เวลา _____

แบบทดสอบ การวัดกลิ่น

(Odor test)

ชื่อผู้ทดสอบ _____

ชุดที่ 1	หมายเลขตัวอย่าง	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	ผลการทดสอบ	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ชุดที่ 2	หมายเลขตัวอย่าง	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	ผลการทดสอบ	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ชุดที่ 3	หมายเลขตัวอย่าง	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	ผลการทดสอบ	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ชุดที่ 4	หมายเลขตัวอย่าง	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	ผลการทดสอบ	_____	_____	_____	_____	_____	_____

- หมายถึง ไม่มีกลิ่น

0 หมายถึง เริ่มได้กลิ่น

+ หมายถึง มีกลิ่นรุนแรง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวแกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์

วัน เดือน ปีเกิด 10 เมษายน 2514

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2535

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาระดับปริญญาโทและทุนในการวิจัยจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม