



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง อัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวตามแนวดิ่งของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์
ที่เกิดจากน้ำเสียชุมชนในคลองทรงเทวดา แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย
กรุงเทพมหานคร

Emission Rate and Vertical Distribution of Methane and Hydrogen Sulfide from
Domestic Sewage in Song Thevada Canal, Bangkhunsri, Bangkok Noi District,
Bangkok

นามผู้วิจัย นางสาวศศิวิมล ตั้งชีวินศิริกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวตามแนวดิ่งของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดจาก
น้ำเสียชุมชนในคลองทรงเทวดา แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

Emission Rate and Vertical Distribution of Methane and Hydrogen Sulfide from Domestic
Sewage in Song Thevada Canal, Bangkhunsri, Bangkok Noi District, Bangkok

โดย

นางสาวศศิวิมล ตั้งชีวินศิริกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศศิวิมล ตั้งชีวินศิริกุล 2555: อัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวของ
ก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดจากน้ำเสียชุมชนในคลองทรงเทวดา
แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. 101 หน้า

อัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวของก๊าซมีเทน (CH_4) และ
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากตะกอนที่ได้จากท้องน้ำ ในคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย
กรุงเทพมหานคร ทำการศึกษา 4 จุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวลำคลองที่ 5 ระดับความสูง ได้แก่ ระดับ
ตะกอนท้องน้ำ ระดับผิวน้ำ ระดับเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ระดับเหนือผิวน้ำ 150 เซนติเมตร และ
ระดับเหนือผิวน้ำ 350 เซนติเมตร พบว่าจุดที่มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมี
อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.442 และ 0.349 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปีที่ระดับพื้นตะกอน
และผิวน้ำตามลำดับ มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดทั้งลำคลองที่ระดับ
ผิวน้ำมีค่า 0.397 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี และที่ระดับผิวน้ำมีค่า 0.235 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
ต่อปี สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 เช่นเดียวกับก๊าซ
มีเทน มีค่าเท่ากับ 2.980 กรัมต่อตารางเมตรต่อปีที่ระดับพื้นตะกอน และที่ระดับผิวน้ำเท่ากับ 1.701 กรัม
ต่อตารางเมตรต่อปี อัตราการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตลอดทั้งลำคลองที่ระดับผิวน้ำ
มีค่า 2.402 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี และที่ระดับผิวน้ำมีค่า 1.492 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามระดับความสูงที่ระดับ
ผิวน้ำถึงระดับเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรมากที่สุด ซึ่งโดยจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (จุดแคบที่สุดของคลอง)
มีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.2416 ppm ต่อเซนติเมตรสำหรับก๊าซมีเทน และ 0.0320 ppm ต่อเซนติเมตร
สำหรับไฮโดรเจนซัลไฟด์ สำหรับปลดปล่อยในระยะเวลาศึกษา 10 วัน พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทน
และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากที่สุดในวันที่ 6 ของการศึกษา การปลดปล่อยเฉลี่ย 10 วัน จุดเก็บตัวอย่าง
ที่ 3 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 36,183 ppm และ 2.71 ppm
ตามลำดับ โดยมีอัตราการปลดปล่อยของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยจากตะกอนทุกจุด
เก็บตัวอย่างเท่ากับ 2.98 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมตะกอนต่อปี และ 0.37 กรัมต่อกิโลกรัมตะกอนต่อปี
ตามลำดับ

Sasivimol Tangshewinsirikul 2012: Emission Rate and Vertical Distribution of Methane and Hydrogen Sulfide from Domestic Sewage in Song Thevada Canal, Bangkhunsri, Bangkok Noi District, Bangkok. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Surat Bualert, Ph.D. 101 pages.

Emission rate and vertical distribution of methane and hydrogen sulfide from sediment domestic sewage in Song Thevada Canal, Bangkhunsri, Bangkok was sampled in four stations and five positions over the canal. The results indicated that the highest methane emission rate was 0.442 and 0.349 $\text{kg.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ at sediment and water surface level, respectively at sampling station no.1. The average methane emission rate of all sampling station was 0.397 $\text{kg.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ at sediment level and 0.235 $\text{kg.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ at water surface level. For the highest hydrogen sulfide emission rate was 2.980 and 1.701 $\text{g.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ at sediment level and water surface level, respectively at sampling station no.1 as methane. Moreover the average hydrogen sulfide emission rate of all sampling station was 2.402 $\text{g.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ at sediment level and 1.492 $\text{g.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ at water surface level. The concentration gradient of methane and hydrogen sulfide was highest level where between water surface and 30 cm. above water surface level showed maximum gradient at sampling station no.3 which was 2.2416 ppm.cm^{-1} . for methane and 0.0320 ppm.cm^{-1} . for hydrogen sulfide. The cases of 10 days diurnal laboratory study showed maximum methane and hydrogen sulfide emission was on the sixth day of measurement from sampling station no.3 sediment. The maximum average emission was 36,183 ppm of methane and 2.71 ppm of hydrogen sulfide. The average methane and hydrogen sulfide emission rate from sediment of all sampling station were 2.98 $\text{kg.kg}^{-1}_{\text{sediment}}.\text{year}^{-1}$ and 0.37 $\text{g.kg}^{-1}_{\text{sediment}}.\text{year}^{-1}$, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากความช่วยเหลือ และความร่วมมือของหลายๆ ฝ่าย ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ เป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้ คำชี้แนะ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนดูแลและช่วยแก้ไขปัญหาลัพสรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการวิจัย ด้วยดีตลอดมา ไม่เพียงแต่ข้อคิดทางวิชาการเท่านั้นยังรวมถึงข้อคิดในการใช้ชีวิตด้านต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง และผ่านอุปสรรคต่างๆ ได้ด้วยดี

ขอบพระคุณ อ.สมเกียรติ ท้วมแสง รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่าน แห่งศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข รวมถึงคุณทวี ศรีสังข์งาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและอำนวยความสะดวกตลอดการวิจัย

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการเก็บข้อมูลภาคสนามสำหรับการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่เกิดขึ้นมาได้หากขาดแรงสนับสนุนสำคัญจากครอบครัว และจิตสำหรับกำลังใจและแรงผลักดันที่อยู่เคียงข้างเสมอตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาและตลอดไป ขอบคุณเพื่อน นนน ปู ปอ เบียร์ แบงค์ ปูน กานต์ และหนูแนน ที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และเป็นฝ่ายสนับสนุนที่พร้อมตลอดเวลาที่เรียกหา

ศศิวิมล ตั้งชีวินศิริกุล

ธันวาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
สรุป	76
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามแนวระดับ	91
ภาคผนวก ข ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามระยะเวลา	96
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะและองค์ประกอบทั่วไปของน้ำเสียจากชุมชน	8
2	ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจ ลำดับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน และชนิดของตัวรับอิเล็กตรอน	11
3	ผลผลิตสุดท้ายของการสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย	12
4	ก๊าซที่มีกลิ่นในน้ำเสีย	16
5	สภาวะการทำงานของ เครื่อง Gas Chromatography (GC)	40
6	คุณภาพน้ำทางเคมีและทางกายภาพบางประการ ณ จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ	43
7	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับต่างๆ	58
8	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงทุกจุดเก็บตัวอย่าง	59
9	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงต่อความสูง 100 เมตร	60
10	อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ บริเวณคลองทรงเตา	62
11	ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของสารละลายในตัวกลางน้ำ	63
12	อัตราการปลดปล่อยต่อน้ำหนักตะกอน	73
ตารางผนวกที่		
ก1	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (ppm) ตามแนวระดับ ณ จุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่าง วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2554	92
ก2	ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) ตามแนวระดับ ณ จุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่าง วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2554	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข1	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (ppm) ตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด โดย ทำการเก็บตัวอย่างระหว่าง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 3 มีนาคม 2554 ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการกรมควบคุมโรค	97
ข2	ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) ตามระยะเวลา จากจุดเก็บ ตัวอย่าง 4 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่างระหว่าง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 3 มีนาคม 2554 ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการกรมควบคุมโรค	99

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบงานวิจัย	4
2	สมการเคมีแสดงกระบวนการเกิดซัลเฟตที่ได้จากการรีดิวซ์ซีสทีน	9
3	ปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย	13
4	สมการเคมีแสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศ	13
5	ชีวธรณีเคมี (Biogeochemical) ตามระดับความลึก และ การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟต ที่สามารถทำนายถึงลักษณะทางสิ่งแวดล้อมของพื้นน้ำ	14
6	Substrate competition between sulfate-reducing and methanogenic or acetogenic bacteria	17
7	สูตรโครงสร้างเคมีของก๊าซมีเทน	18
8	กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนจากชั้นสเตรทชนิดต่างๆ	20
9	สูตรโครงสร้างของซีสเทอีน (ก) และ เมไทโอนีน (ข)	22
10	กระบวนการเกิดซัลไฟด์หลัก และปัจจัยที่ส่งผลต่อวัฏจักรซัลเฟตในระบบน้ำเสีย	24
11	กลไกการปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์และซัลเฟตไดออกไซด์จากตะกอนในเขตน้ำขึ้น น้ำลง	25
12	ลักษณะกล่องเก็บก๊าซมีเทน	27
13	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซได้น้ำ	28
14	พื้นที่ศึกษา คลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร	34
15	จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (บริเวณท้ายคลองทรงเทวดา หลังโรงเรียนนวมลทิน)	35
16	จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 บริเวณลำกระโคงสาธารณะ	35
17	จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 บริเวณแคบที่สุดของคลอง	36
18	จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 บริเวณปากคลองทรงเทวดาด้านคลองชักพระ	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	กล่องเก็บก๊าซและกรวยเก็บก๊าซที่ถูกติดตั้งในสถานที่ทำการทดลอง	38
20	อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างตามระยะเวลา (Gas chamber)	39
21	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับ ตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1	45
22	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตาม ระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1	47
23	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับ ตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2	49
24	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตาม ระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2	51
25	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับ ตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3	52
26	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตาม ระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3	54
27	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับ ตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4	55
28	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตาม ระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4	57
29	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บ ตัวอย่างจุดที่ 1	65
30	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จาก ตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2	67
32	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2	68
33	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3	69
34	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3	70
35	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4	71
36	แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4	72
37	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด	74
38	ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด	75

อัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวตามแนวตั้งของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์
ที่เกิดจากน้ำเสียชุมชนในคลองทรงเทวดา แขวงบางขุนศรี

เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

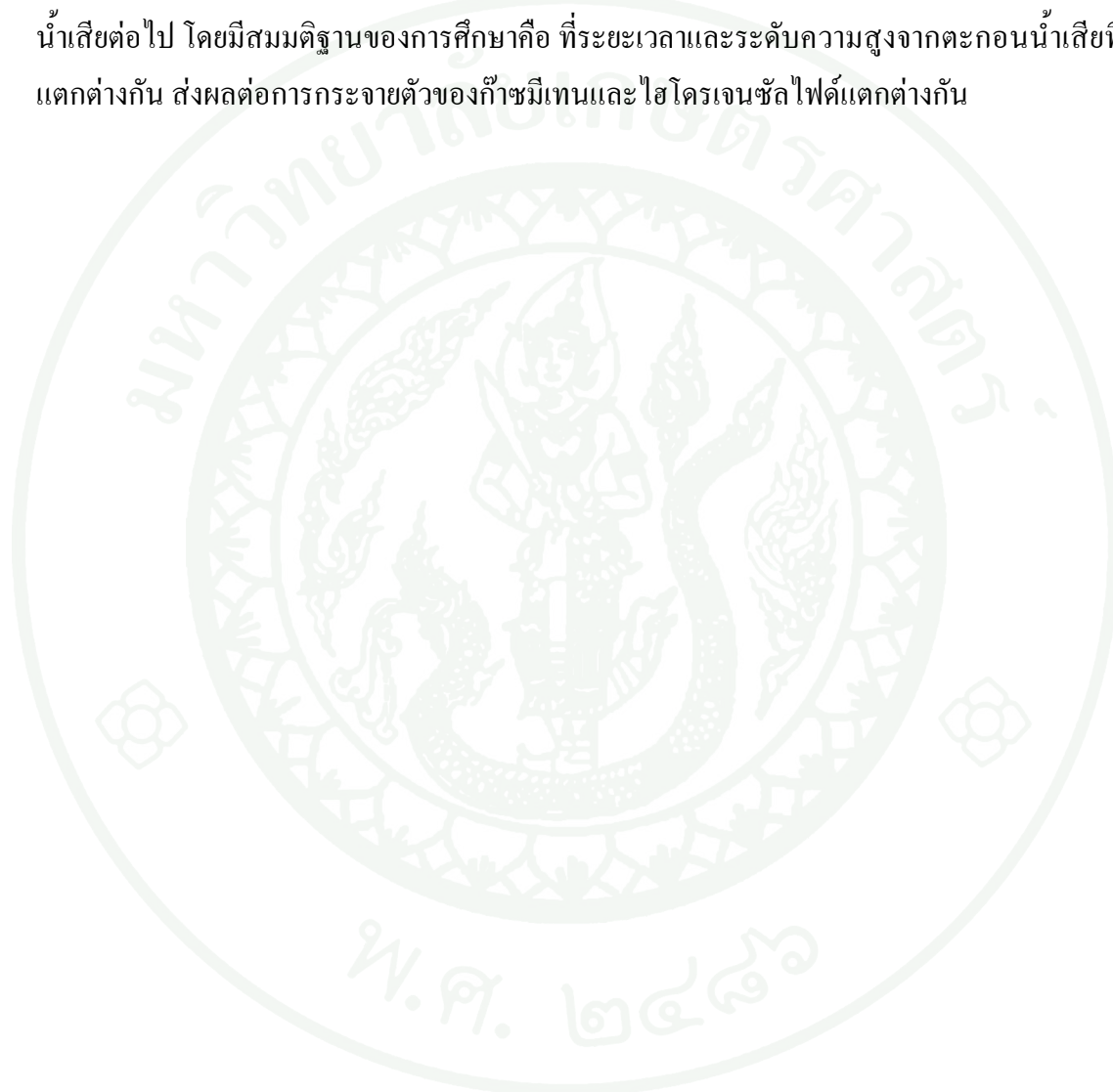
Emission Rate and Vertical Distribution of Methane and Hydrogen Sulfide from
Domestic Sewage in Song Thevada Canal, Bangkhunsri, Bangkok Noi District,
Bangkok

คำนำ

ปัญหาน้ำเสียจากชุมชนเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากน้ำเสีย ส่งผล
กระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของประชากร ไม่ว่าจะเป็นด้านน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค
การนันทนาการ รวมถึงการก่อให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน และน้ำเสียยังก่อให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็น
รวมถึงก๊าซหลายชนิดถูกผลิตขึ้น โดยวิธีการทางชีวภาพและทางเคมีของน้ำเสียเอง เช่น ก๊าซมีเทน
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ รวมถึงปัญหา
ความเดือดร้อนรำคาญ ปัญหาด้านสุขภาพกายและจิตแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบเส้นทางระบาย
น้ำเสียนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซมีเทน และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นก๊าซหลักที่เกิดขึ้นจาก
กระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ไม่เพียงแต่ก๊าซมีเทนที่เป็นก๊าซสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศของโลก
และนำไปสู่สภาวะโลกร้อน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังเป็นอีกตัวการหนึ่งที่เกิดปัญหาดังกล่าว
อีกด้วย (Charlson et al., 1990) โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมี และโฟโต
เคมีคัล ได้มีเทนซัลโฟเนต และซัลฟูริก ซึ่งสารทั้งสองตัวเมื่รวมกับอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศ จะทำ
ให้คุณสมบัติเชิงแสงของอนุภาคฝุ่นเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดฝนกรด และเกิดการก่อตัวของเมฆที่
เปลี่ยนแปลงที่สามารถเชื่อมโยงถึงสภาวะ โลกร้อนได้

การศึกษารั้วนี้เป็นการศึกษาเพื่อทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียชุมชน ที่คลองทรงเตวคา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร ทั้งตามระดับความลึก และเวลา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากน้ำเสียต่อไป โดยมีสมมติฐานของการศึกษาคือ ที่ระยะเวลาและระดับความสูงจากตะกอนน้ำเสียที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการกระจายตัวของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์แตกต่างกัน



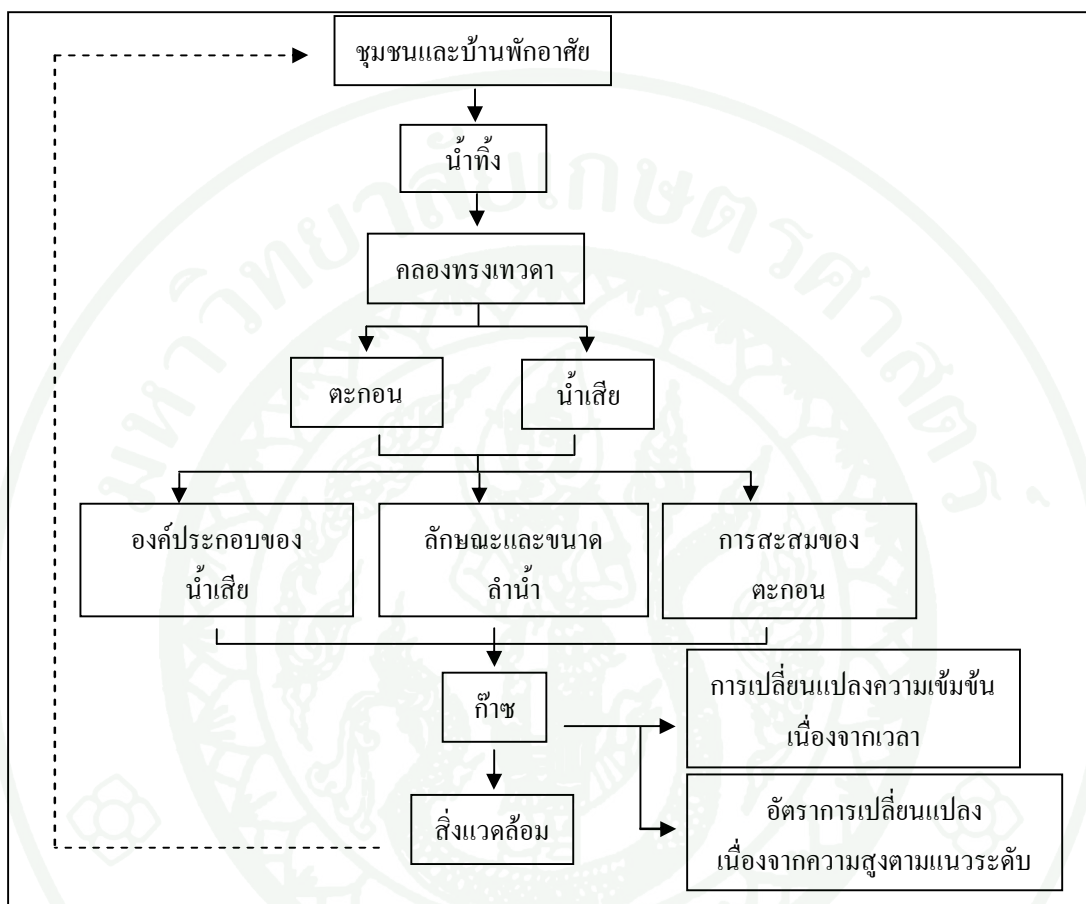
วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวตามแนวดิ่งของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากตะกอนที่ได้จากท้องน้ำ ในคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร
2. ศึกษาการปลดปล่อยของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดขึ้นในคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร ณ เวลาต่างๆ

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซที่เกิดขึ้นในคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยศึกษาตามแนวระดับ
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากตะกอนที่ได้จากท้องน้ำ ณ เวลาต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ
3. เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่าความเป็นกรดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)
4. ระยะเวลาในการวิจัย ตั้งแต่เดือน เมษายน 2553 ถึง ธันวาคม 2553

กรอบงานวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบงานวิจัย

ชุมชนและผู้พักอาศัยบริเวณโดยรอบคลองทรงเทวดา มีการระบายน้ำเสียลงสู่คลองทรงเทวดา โดยประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนน้ำเสียและส่วนตะกอน ปัจจัย ที่ส่งผลให้น้ำเสียและตะกอนแตกต่างกันในแต่ละจุดของคลองคือ องค์ประกอบของน้ำเสีย ลักษณะและขนาดลำน้ำ และการสะสมของตะกอน ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้ ส่งผลให้ก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากจุดเก็บต่างๆ มีความแตกต่างกัน ซึ่งถูกศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเนื่องจากเวลา และอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเนื่องจากความสูงตามแนวระดับ โดยก๊าซเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และคาดว่าชุมชนที่พักอาศัยโดยรอบจะได้รับผลกระทบดังกล่าวในที่สุด

การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำนิยามว่า น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545) ได้นิยามว่า น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป น้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ แก่ลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น ทำให้เกิดการเน่าเหม็นหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น และนิยามน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) ว่ามีความหมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ของชุมชนในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด

น้ำเสียเทศบาล (Municipal Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่อยู่ในท่อน้ำเสียของเทศบาลเมือง ตามปกติแล้วจะมีน้ำเสียที่ถูกปล่อยมาจากชุมชน (Domestic Wastewater) แต่ในบางแห่งอนุญาตให้โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำร่วมกับ น้ำเสียจากชุมชนได้ น้ำเสียในท่อระบายน้ำจึงมีความสกปรกมากขึ้น โดยปกติแล้วในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ในน้ำเสียเทศบาลจะมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กปนอยู่ประมาณร้อยละ 20 (Atkins, 1968)

กิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

(1) บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะ หรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารอาหารต่างๆ ที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของต่างๆ ภายในบ้านและการอาบน้ำ

(2) ภัยพิบัติน้ำเสียเกิดจากห้องครัวและห้องส้วม โดยเฉพาะค่าน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือภัยพิบัติการอื่นเป็นเหตุหนึ่งทำให้เกิดจากอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

(3) โรงแรมมีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัวหรือภัยพิบัติการภายในโรงแรม อาคารสำนักงาน มีน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม

(4) กิจกรรมอื่นๆ เช่น อาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

2. ส่วนประกอบของน้ำเสียจากชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งชุมชนจัดว่ามีส่วนประกอบค่อนข้างคงที่ ส่วนน้ำเสียเทศบาลและน้ำเสียรวมจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ไม่งท่ (Tebbutt, 1983)

เกรียงศักดิ์ (2539); กัณทธี (2540) กล่าวว่า น้ำเสียชุมชนต่างๆ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ มีกลิ่นเหม็น เป็นสีเทา และมีค่าความเป็นกรดต่าง 6.5 ถึง 8.0 ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว คือ น้ำประมาณร้อยละ 99.9 และส่วนที่เป็นของแข็งประมาณร้อยละ 0.1 โดยอาจอยู่ในรูปของแข็งขนาดใหญ่ ไปจนถึงขนาดเล็กมากๆ จนไม่สามารถมองดูด้วยตาเปล่า ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ร้อยละ 70 ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิกลิน สบู่ และผงซักฟอก เป็นต้น และสารอนินทรีย์ ร้อยละ 30 ได้แก่ กรวด ทราย เกลือ และโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้ในน้ำเสียยังมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากอาศัยปะปนอยู่ ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว โดยมีลักษณะและองค์ประกอบทั่วไป ดังตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชนดังที่กล่าวมาข้างต้น มีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะทำให้ น้ำเสียชุมชนแต่ละแหล่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะชุมชน ระบบท่อระบายน้ำ อัตราการไหลภายในท่อ ฤดูกาล ช่วงเวลา และระดับการครองชีพ

Hammer and Bastian (1989) ได้กล่าวว่า สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียชุมชน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น มีทั้งชนิดที่ไม่สามารถหรือยากแก่การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีและชนิดที่สามารถหรือง่ายต่อการย่อยสลายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมี ได้จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียชุมชนออกเป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

(1) คาร์โบไฮเดรต ในน้ำเสียจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ ร้อยละ 25 ถึง 50 ได้แก่ น้ำตาล แป้ง ซึ่งจะมีมากในข้าว ข้าวโพด มันฝรั่ง และเซลลูโลส ซึ่งจะพบได้ใน เชื้อไม้ ฝ้าย กระดาษ เนื้อเยื่อของพืช เป็นต้น จะสลายตัวได้ช้ากว่าแป้ง ส่วนน้ำตาลเมื่อละลายน้ำแล้วจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้เป็นแอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

(2) โปรตีน ในน้ำเสียจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 40 ถึง 60 พบได้ในอาหารพวกเนื้อสัตว์ นอกจากนี้มักพบยูเรียเป็นสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำเสียเสมอทั้งโปรตีนและยูเรียจะถูกย่อยสลายเป็นสารประกอบไนเตรท ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

(3) ไขมัน เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้น้อยมากและจุลินทรีย์จะย่อยสลายได้ในอัตราที่ช้ามาก ไขมันเป็นสารประกอบเอสเทอร์ของแอลกอฮอล์หรือกลีเซอรอลกับกรดไขมัน ในน้ำเสียจะมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 10 แสดงลักษณะและองค์ประกอบในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะและองค์ประกอบทั่วไปของน้ำเสียจากชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
ทางกายภาพ				
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มิลลิกรัมต่อลิตร	350	720	1,200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มิลลิกรัมต่อลิตร	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มิลลิกรัมต่อลิตร	100	220	350
ทางเคมี				
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand;BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	110	220	400
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand;COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	250	500	1,000
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มิลลิกรัมต่อลิตร	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)	มิลลิกรัมต่อลิตร	8	15	35
แอมโมเนีย (Free ammonia)	มิลลิกรัมต่อลิตร	12	25	50
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มิลลิกรัมต่อลิตร	4	8	15
คลอไรด์ (Chroride)	มิลลิกรัมต่อลิตร	30	50	100
ซัลเฟต (Sulfate)	มิลลิกรัมต่อลิตร	20	30	50
น้ำมันและไขมัน (oil and Grease)	มิลลิกรัมต่อลิตร	50	100	150
ทางชีวภาพ				
Total Coliform	MPN/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Fecal Coliform bacteria	MPN/100ml	10 ⁴ -10 ⁵		

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

(3) เขตกลางความลึกของแหล่งน้ำ (Profundal Zone) เป็นเขตที่ปริมาณออกซิเจนและแสงค่อนข้างต่ำ จุลินทรีย์ที่พบในเขตนี้ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ สามารถดำรงชีวิตภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน และสามารถเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นซัลเฟอร์และซัลเฟต จุลินทรีย์ที่พบ เช่น จุลินทรีย์กลุ่ม sulfur bacteria

(4) เขตท้องน้ำ (Benthic Zone) ในเขตนี้ปริมาณออกซิเจนและแสงมีค่าต่ำสุด จุลินทรีย์ที่พบไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และดำรงชีวิตภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเช่นเดียวกับจุลินทรีย์ในเขต Profundal แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่เป็นจุลินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยน ซัลเฟตให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ดินตะกอนของก้นแหล่งน้ำมีกลิ่นเหม็นของก๊าซไข่เน่า นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทน จุลินทรีย์ที่พบ เช่น *Desulfovibrio*, *Clostridium*, *Methanobacterium*, *Methanococcus* เป็นต้น (Maier et al., 2009)

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการมีก๊าซในน้ำเช่น

- (1) ความสามารถในการละลายของก๊าซ
- (2) ความดันย่อย (Partial Pressure) ของก๊าซในบรรยากาศส่วนที่เหนือน้ำนั้น
- (3) อุณหภูมิของน้ำ
- (4) ความบริสุทธิ์ของน้ำที่วัดด้วย พารามิเตอร์ ต่างๆ เช่น ความเค็ม ปริมาณออกซิเจน และของแข็งที่แขวนลอยต่างๆ

ด้วยปริมาณออกซิเจนที่มีปริมาณสูงในบรรยากาศ มากถึงร้อยละ 21 ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดในสภาวะมีอากาศ (Aerobic condition) แต่ในกรณีที่ไม่มียออกซิเจน ซับสเตรต (Substrate) ที่เป็นสารอินทรีย์เหล่านั้นจะถูกย่อยให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการหมัก (Fermentation) หรือด้วยการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ถึงแม้ว่ากระบวนการดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพน้อยกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจน โดยปกติการย่อยสลายแบบสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic degradation) จะเกิดเฉพาะบางบริเวณเท่านั้น เช่น น้ำบริเวณพื้นตะกอนในมหาสมุทรหรือทะเลสาบและในดิน การย่อยสลายแบบสภาวะไร้อากาศต้องการตัวรับอิเล็กตรอน (Electron receptor) ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ หรือกลุ่มของตัวรับอิเล็กตรอนอนินทรีย์

ซึ่งโดยปกติภายใต้สภาวะไร้อากาศ สารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดก็จะสร้างปฏิกิริยาที่เฉพาะและแตกต่างจากชนิดอื่นๆ แต่สุดท้ายแล้วก็จะทำให้เกิดการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์เหล่านั้น กระบวนการสุดท้ายของการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศคือกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อตัวรับอิเล็กตรอนอินทรีย์อื่นๆ เช่น ไนเตรต และซัลเฟต ถูกใช้หมดไป (Maier *et al.*, 2009) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจ ลำดับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน และชนิดของตัวรับอิเล็กตรอน

ชนิดของการหายใจ (Type of respiration)	ปฏิกิริยา รีดักชัน	Reduction potential (V)	ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน	Oxidation potential (V)	ชนิดของ สิ่งมีชีวิต
	ตัวให้อิเล็กตรอน- ผลผลิต		ตัวให้อิเล็กตรอน- ผลผลิต		
Aerobic	O_2-H_2O	+0.81	CH_2O-CO_2	-0.47	Aerobes
Denitrification	$NO_3^- - N_2$	+0.75	CH_2O-CO_2	-0.47	Facultative Anaerobes
Manganese reduction	$Mn^{4+} - Mn^{2+}$	+0.55	CH_2O-CO_2	-0.47	Anaerobes
Nitrate reduction	$NO_3^- - NH_4^+$	+0.36	CH_2O-CO_2	-0.47	
Sulfate reduction	$SO_4^{2-} - HS, H_2S$	-0.22	CH_2O-CO_2	-0.47	
Methanogenesis	$CO_2 - CH_4$	-0.25	CH_2O-CO_2	-0.47	

ที่มา: Maier *et al.* (2009) และ Pepper *et al.* (2006)

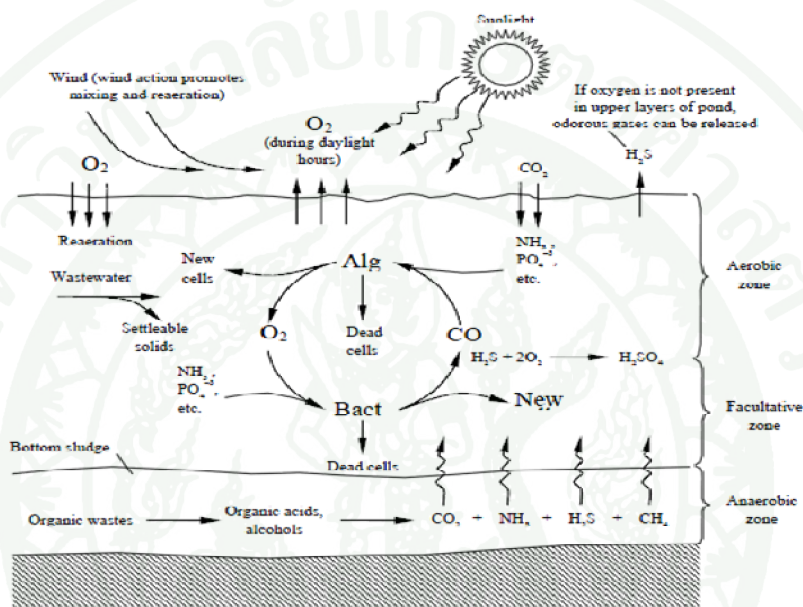
ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายของเสียในน้ำภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันระหว่างสภาวะมีอากาศ และสภาวะไร้อากาศ จะได้ผลผลิตที่ต่างกัสดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลผลิตสุดท้ายของการสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ประเภทของ สารประกอบอินทรีย์	ตัวอย่างผลผลิตสุดท้ายจากการย่อยสลาย	
	สภาพมีอากาศ	สภาพไร้อากาศ
โปรตีน และ สารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจนอื่นๆ	กรดอะมิโน แอมโมเนีย $\rightarrow$ ไนไตรต์ $\rightarrow$ ไนเตรต ไฮโดรเจนซัลไฟด์ $\rightarrow$ กรดซัลฟูริก แอลกอฮอล์/กรดอินทรีย์ $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	กรดอะมิโน แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจน แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ ฟีนอล อินโดล
คาร์โบไฮเดรต	แอลกอฮอล์/กรดไขมัน $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจน แอลกอฮอล์ กรดไขมัน
ไขมัน	กรดไขมัน + กลีเซอรอล/แอลกอฮอล์ $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	กรดไขมัน + กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ที่มา: กัณทริย์ (2540)

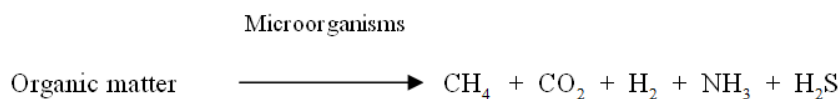
ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นตามระดับความลึกของท้องน้ำรวมถึงสภาพมีอากาศและไร้อากาศ โดยประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน และจุลินทรีย์แบบแฟคัลเททีฟ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

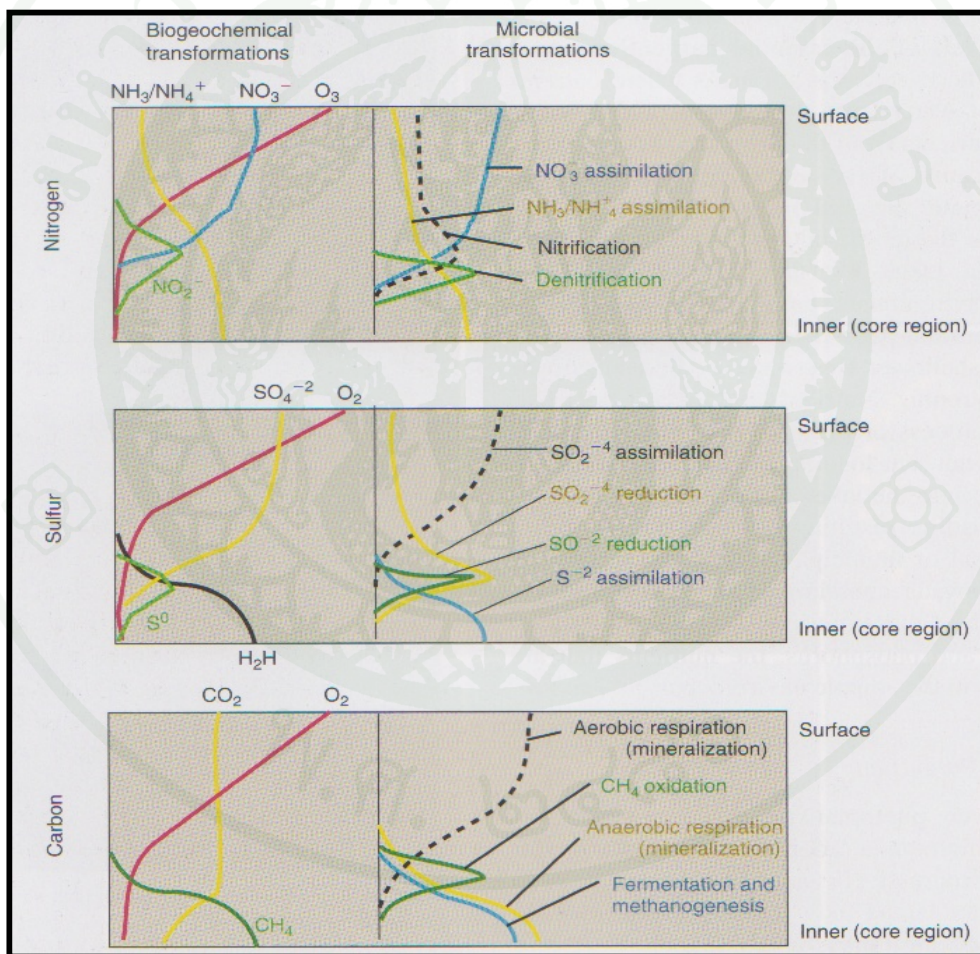
ที่มา: Metcalf and Eddy (1991)

จากภาพที่ 3 พบว่า ในบริเวณไร้อากาศ จะเปลี่ยนสารโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น โดยกระบวนการดังกล่าวเกิดจากจุลินทรีย์หลายชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียดังสมควรต่อไปนี้



ภาพที่ 4 สมการเคมีแสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศ

วัฏจักรของสารอินทรีย์ที่สำคัญในแหล่งน้ำ เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ รวมถึงสารอินทรีย์ต่างๆ ที่หมุนเวียนเหล่านั้น ถูกควบคุมโดยจุลินทรีย์สภาวะมีอากาศและสภาวะไร้อากาศ ลักษณะเฉพาะทาง Physiology ของแบคทีเรียแต่ละกลุ่มจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ภายในระบบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ตามระดับความลึกของแหล่งน้ำ ขณะเดียวกันบริเวณพื้นตะกอนที่น้ำก็จะมีคุณลักษณะที่สนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชีวธรณีเคมี (Biogeochemical) ตามระดับความลึก และการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ที่สามารถทำนายถึงลักษณะทางสิ่งแวดล้อมของพื้นน้ำ

ที่มา: Maier et al. (2009)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในสภาพไร้อากาศ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก (Bitton, 1999) ดังนี้

(1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์โมเลกุลเชิงซ้อนต่างๆ เช่น โปรตีน เซลลูโลส ลิกนิน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติกโดยเอนไซม์ที่ถูกส่งออกมาภายนอกเซลล์ เช่น เซลลูเลส โปรติเอส และไลเปส เป็นต้นได้เป็นสารโมโนเมอร์ที่สามารถละลายได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน ดังแสดงในภาพที่ 6

(2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) เป็นขั้นตอนที่โมโนเมอร์ต่างๆ ถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์เช่นอะซิติก โพรไพโอนิก ฟอรั่มิก แลคติก เป็นต้น แอลกอฮอล์และคีโตน เช่น แอทานอล เมทานอล กลีเซอรอลและอะซีโตน นอกจากนี้ยังเกิดอะซิเตท ไฮโดรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด เช่น *Clostridium* เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 6

(3) กระบวนการสร้างอะซิเตท (Acetogenesis) เป็นขั้นตอนที่กรดไขมันและแอลกอฮอล์จะเปลี่ยนเป็นอะซิเตท ไฮโดรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างอะซิเตท เช่น *Syntrobacter wolinii* และ *Syntromonas wolei* เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 6

(4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนที่สารอะซิเตท ไฮโดรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรีย 3 อันดับ (Order) ได้แก่ Methanobacteriales, Methanococales และ Methanomicrobiales ดังแสดงในภาพที่ 6

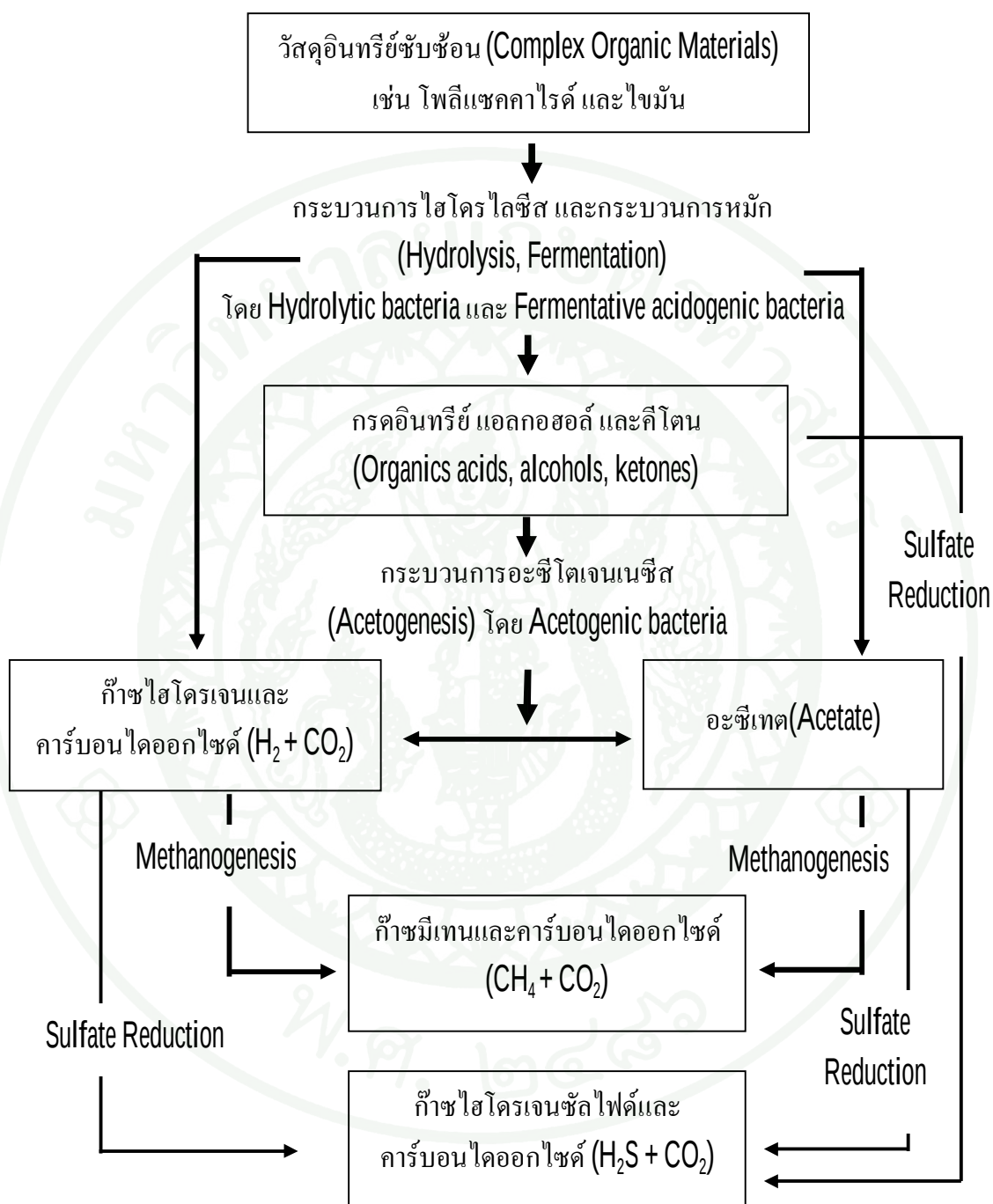
Rinzema and Lettinga (1988) พบว่า แบคทีเรียกลุ่ม Sulfate Reducer และแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen มีลักษณะบางประการที่คล้ายกัน เช่น ต้องอยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Strict Anaerobic Condition) ช่วงของอุณหภูมิและความเป็นกรดด่างที่ใกล้เคียงกัน รวมถึงแบคทีเรียกลุ่ม Sulfate Reducer บางสายพันธุ์ยังสามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนและอะซิเตท คล้ายกับแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen อีกด้วย ทำให้เกิดการแก่งแย่งในการใช้สารดังกล่าว

นอกจากก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้ว ก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียยังเกิดกลิ่นจากน้ำเสียเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากเป็นธรรมชาติของน้ำเสีย องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียแต่ละแห่งจะส่งผลให้กลิ่นที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน (Onkal-Engin *et al.*, 2005) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) แอมโมเนีย (Ammonia) เอมีน (Amine) และเมอร์แคปแทน (Mercaptans) เป็นต้น ส่วนใหญ่เกิดจากสารประกอบซัลเฟอร์และไนโตรเจน น้ำเสียชุมชนโดยทั่วไป ประกอบด้วยซัลเฟอร์อินทรีย์ร้อยละ 3-6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมาจากโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ แหล่งของไนโตรเจนในน้ำเสียได้แก่ ยูรีน โปรตีนและกรดอะมิโน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ก๊าซที่มีกลิ่นในน้ำเสีย

ชื่อสารประกอบ	สูตรเคมี	ลักษณะของกลิ่น
อะซีทอลดีไฮด์	CH_3CHO	กลิ่นฉุน, กลิ่นผลไม้
แอมโมเนีย	NH_3	กลิ่นฉุน, และทำให้รู้สึกระคายเคืองในโพรงจมูก
ไดเมทิลเอมีน	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	กลิ่นเน่าเหม็น, กลิ่นคาวปลา
เอทิลเอมีน	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	กลิ่นคล้ายแอมโมเนีย
เอทิลเมอร์แคปแทน	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	กลิ่นกะหล่ำปลีเน่า
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H_2S	กลิ่นไข่เน่า
เมทิลเอมีน	CH_3NH_2	กลิ่นเน่าเหม็น, กลิ่นคาวปลา
เมทิลเมอร์แคปแทน	CH_3SH	กลิ่นกะหล่ำปลีเน่า

ที่มา: WEF and ASCE (1995)

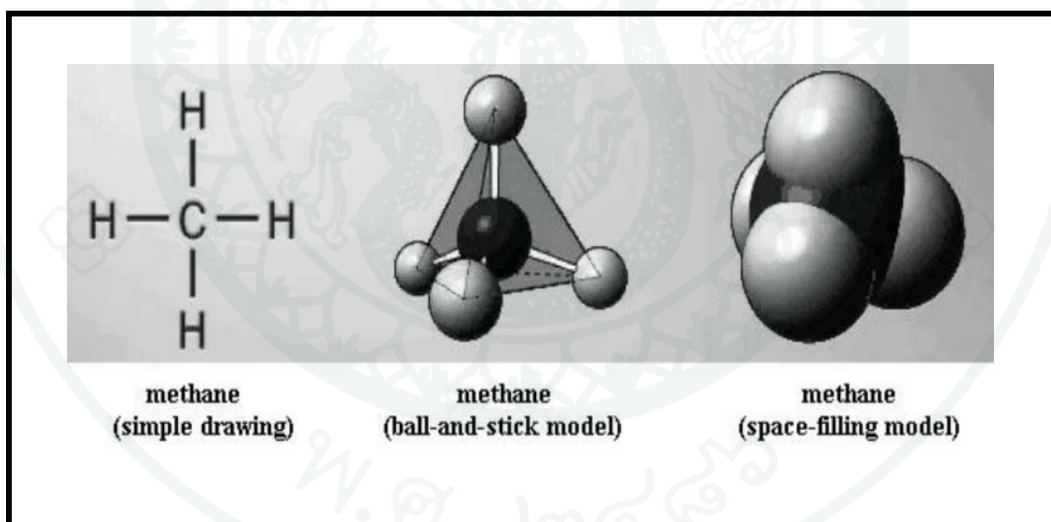


ภาพที่ 6 Substrate Competition between Sulfate-Reducing and Methanogenic or Acetogenic Bacteria

ที่มา: Bitton (1999)

3.1 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ติดไฟง่าย มีจุดเดือดที่ -161.5 องศาเซลเซียส เมื่อผสมกับอากาศแล้วจุดระเบิดได้และมีความเป็นพิษ ก๊าซชนิดนี้ได้รับการพิจารณาให้เป็น ก๊าซเรือนกระจก ตัวหนึ่ง ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก โดยคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 20-30 เท่า (Le Mer and Roger, 2001) โดยกลไกของปรากฏการณ์เรือนกระจกเกิดขึ้นเมื่อ รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กระทบบรรยากาศโลก ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกบรรยากาศดูดซับไว้และอีกส่วนหนึ่งทะลุไปกระทบผิวโลก รังสีความร้อนที่กระทบผิวโลกบางส่วนจะถูกผิวโลกดูดซับไว้และมีบางส่วนสะท้อนกลับไปยังบรรยากาศ ซึ่งส่วนนี้บรรยากาศจะดูดซับไว้ส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งจะหลุดออกสู่อวกาศ ดังนั้นบรรยากาศจึงทำหน้าที่เสมือนเรือนกระจกที่ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 7 สูตรโครงสร้างเคมีของก๊าซมีเทน

ที่มา: Seton Hall University (n.d.)

ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นเนื่องจากสารอินทรีย์ในดินถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลุ่ม Obligate Anaerobic Bacteria โดยแบคทีเรียชนิดนี้ถูกเรียกว่า แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria หรือ Methanogen) อยู่ใน Family Methanobacteriaceae แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่ง (Rod Shape) และแบคทีเรียที่มีรูปร่างกลม (Spherical Cell) (Seiler, 1990; Yavitt, 1992)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน มักพบในตะกอนของแหล่งน้ำในทะเล และแหล่งน้ำจืด ตะกอนแหล่งน้ำทั้ง ตะกอนดินที่เกิดจากการทำเหมือง และดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ในลำไส้ใหญ่ของสัตว์และอุจจาระ หรืออาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนจะอาศัยบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนและไม่จำเป็นต้องใช้สารอาหารเพิ่มเติมในการเจริญเติบโต เพราะสามารถใช้ผลผลิตที่เกิดจากจุลินทรีย์อื่น (Microorganism) มาใช้เป็นสารอาหารและเจริญเติบโตได้ สารอาหาร ที่สำคัญของแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ อะซิเตท (Acetate) ฟอร์เมท (Formate) เมทานอล (Methanol) เมทิลเลท เอมีน (Methylated Amine) และคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 8 สารประกอบเหล่านี้ที่พบในธรรมชาติเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่สำคัญคือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียประเภทนี้ จะขึ้นกับไฮโดรเจนที่ลดลง หรือปริมาณการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะย่อยสลายคาร์บอนของสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ซึ่งมีลำดับการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ สั้นกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น เพราะเป็นแบคทีเรียที่อยู่ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการแข่งขันแย่งชิงสารอาหาร (Substrate) กับแบคทีเรียชนิดอื่น สารอาหารที่ใช้มักเป็นเมทิลเลท เอมีน ในขณะที่แบคทีเรียกลุ่ม Reducing Sulfate จะไม่ชอบสารอาหารชนิดนี้

การคำนวณเพื่อหาอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่อหน่วยพื้นที่ เพื่อศึกษาถึงอัตรา
การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากคลองทรงเตวดา แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร
สามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ Close-Chamber (Rolston, 1986) ดังนี้

$$F = (V/A) (273/T) (\Delta C/\Delta T)$$

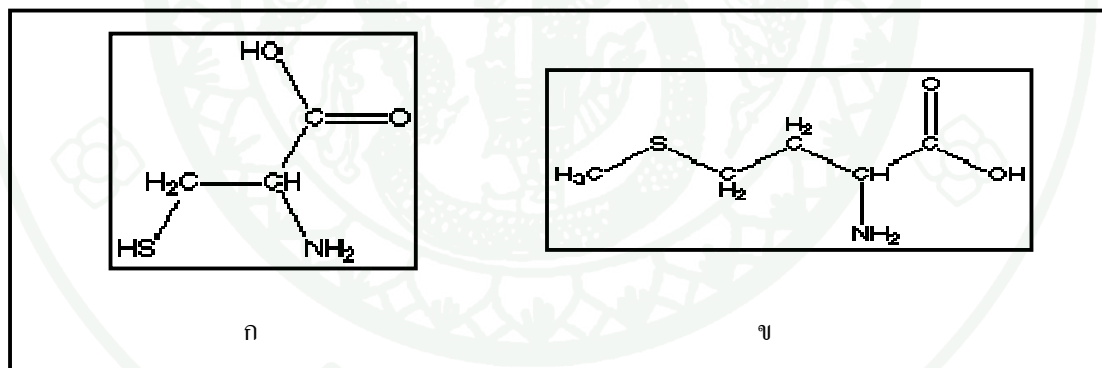
- โดย F = ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อย (CH₄ Gas Flux)
หน่วยเป็น มิลลิกรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง
- V = ปริมาตรช่องว่างภายในกล่องเก็บก๊าซ (Chamber Headspace)
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร
- A = พื้นที่ผิวน้ำที่กล่องเก็บก๊าซครอบ หน่วยเป็นตารางเมตร
- ($\Delta C/\Delta T$) = การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนต่อเวลา
หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศภายในช่องว่างภายในกล่องเก็บก๊าซ
หน่วยเป็น เคลวิน (K)

3.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นที่รู้จักในหลายๆ ชื่อเช่น กรดไฮโดรซัลฟูริก กรดไฮโดรเจนซัลฟูริก ไดไฮโดรเจน โมโนซัลไฟด์ ไดไฮโดรเจน ซัลไฟด์ และ ก๊าซน้ำเสีย เป็นต้น โดยมีสูตรโครงสร้างคือ H-S-H เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ดิบไฟได้ และมีกลิ่นเฉพาะตัวคล้ายไข่เน่า มีความสามารถละลายน้ำได้ 1 กรัม ในน้ำ 242 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ใน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ กลีเซอรอล น้ำมันดิบ เป็นต้น (WHO, 2003) นอกเหนือจากนั้นยังเป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษสูง สามารถถูกตรวจพบได้ง่าย แม้ว่าจะมีความเข้มข้นต่ำ

การสูดดมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่ำจะส่งผลให้เกิด อาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ อาเจียน อึดอัด แน่นหน้าอก ถ่ายท้อง จาม เค้น โหเซะ กล้ามเนื้ออ่อนแรง รวมถึง อาการ ง่วงนอนสะสมสะสม หากมีการสัมผัสที่ความเข้มข้น 50 ppm จะส่งผลให้เกิดอาการหลอดลมอักเสบ เกิดการอักเสบภายในลำคอ และอาการปอดบวมหากสัมผัสถึง 250 ppm จะมีอาการภาวบน้ำท่วม ปอด สภาวะขาดออกซิเจน อาการชัก หมดสติ และเสียชีวิตเนื่องจากระบบทางเดินหายใจเป็น อัมพาต

ธาตุซัลเฟอร์ปรากฏอยู่ในน้ำเสียชุมชนจากการทิ้งของครัวเรือน รวมถึงจากสาหร่าย และจุลินทรีย์ต่างๆที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นตามธรรมชาติ พืชชั้นสูง สาหร่าย และจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (Heterotroph) สามารถนำซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตมาผลิตเป็นกรดอะมิโน เช่น ซีสเทอีน (Cysteine), เมไทโอนีน (Methionine) และโคเอนไซม์ชนิดต่างๆ (Coenzyme) (สุบรรณทิศ, 2548) นอกจากนั้นอาจมาจาก สารซัลฟาล์งจากบ้านเรือนกลุ่มซัลโฟเนต เป็นต้น

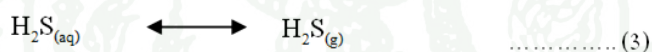


ภาพที่ 9 สูตรโครงสร้างของซิสเทอีน (ก) และ เมไทโอนีน (ข)

ที่มา: Network Science Corporation (2010)

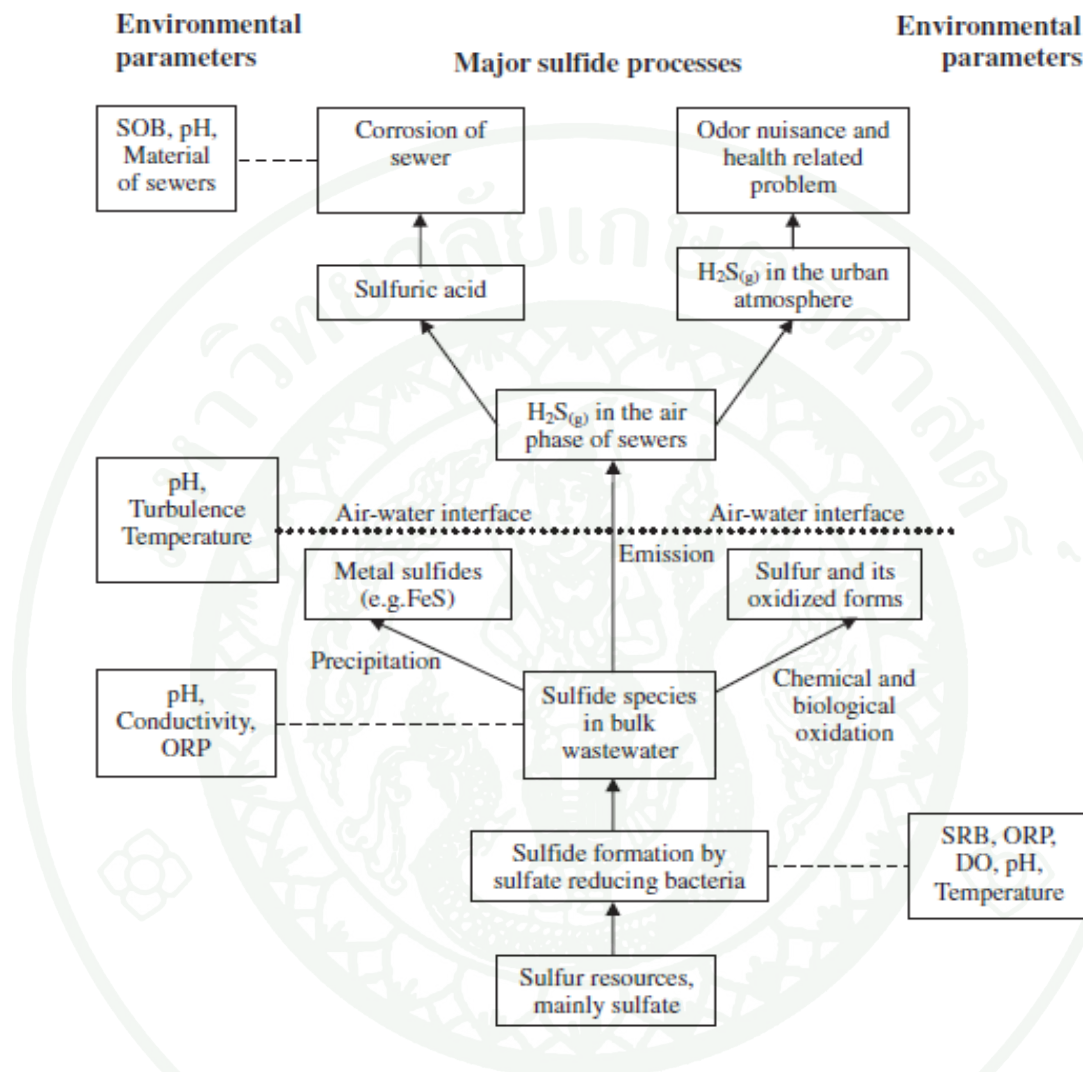
ที่มาของซัลเฟอร์ในก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลเฟอร์หลักในน้ำเสียชุมชนจะอยู่ในรูปของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 40-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นซัลไฟด์ โดยแบคทีเรียกลุ่ม Sulfate-Reducing Bacteria แบคทีเรียเหล่านี้สามารถใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการหายใจแบบไร้อากาศ เช่น *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* และ *Desulfobacter* ซึ่งกระบวนการชีวภาพนี้เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้อากาศในตะกอนใต้น้ำเสีย (Parande et al., 2006)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียจะปรากฏอยู่ในรูปของซัลไฟด์สองรูปหลัก เมื่อค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสียอยู่ที่ pH 7 คือ H_2S และ HS^- ดังแสดงในสมการ



สมการเคมีทั้ง 1 และ 2 มีค่า pK_a เท่ากับ 7.04 และ 11.96 ตามลำดับ ในส่วนของสมการ 3 มีค่า k_c (Henry's Constant ที่ 20 °C) เท่ากับ 468 atm (Mole Fraction)⁻¹

ซึ่งมีเพียงไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะสารละลาย ($\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq})}$) เท่านั้น ที่สามารถออกสู่อากาศสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ การปลดปล่อยของไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์เคมีของชั้นน้ำและอากาศของน้ำเสีย ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อัตราการไหลของน้ำเสีย และการไหลเวียนของอากาศเหนือน้ำเสียนั้น (Yongsiri et al., 2004) ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 10 กระบวนการเกิดซัลไฟด์หลัก และปัจจัยที่ส่งผลต่อวัฏจักรซัลเฟอร์ในระบบน้ำเสีย

ที่มา: Zhang *et al.* (2008)

หมายเหตุ SOB คือ Sulfur-Oxidizing Bacteria

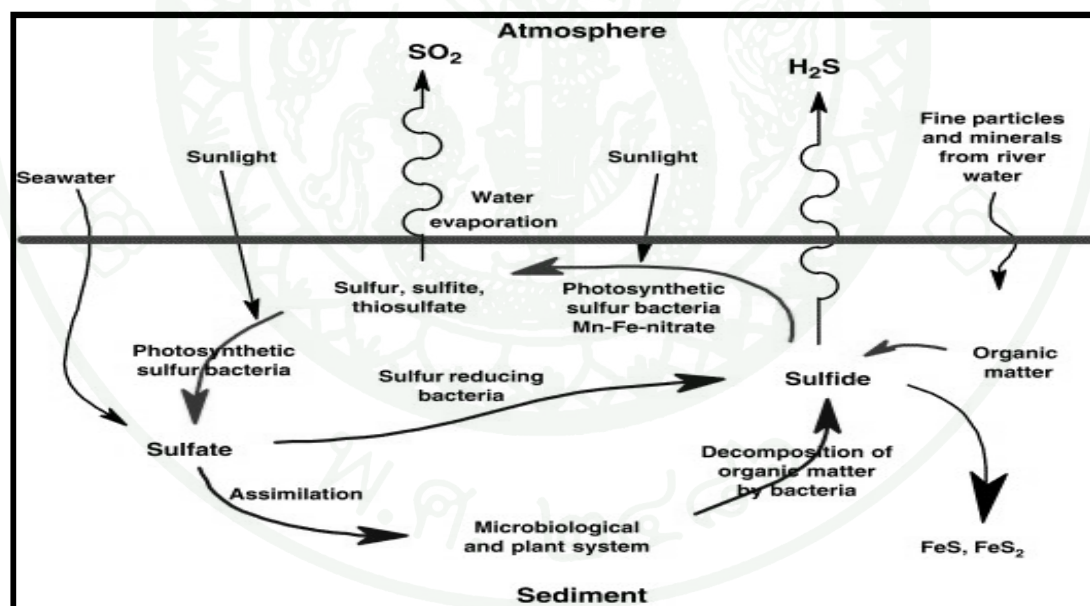
SRB คือ Sulfate-Reducing Bacteria

ORP คือ Oxidation Reducing Potential

DO คือ Dissolved Oxygen

Stanier et al. (1970) และ Azad et al. (2005) กล่าวว่า ปัจจัยทางด้านเคมีและชีวภาพจำนวนมากที่ควบคุม วัฏจักรของซัลเฟอร์บริเวณพื้นที่ชายฝั่ง โดยซัลเฟอร์หลักในชั้นตะกอนในเขตน้ำขึ้นน้ำลงคือ ซัลเฟตและการย่อยสลายของการประกอบอินทรีย์ต่างๆ โดยไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกสร้างขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายซัลเฟตของแบคทีเรียที่เรียกลุ่ม Sulfate Reducing ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้ออกซิเจนจะทำการออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์และโมเลกุลของไฮโดรเจนโดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงขึ้นกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในแหล่งน้ำนั้น

อัตราการปลดปล่อยของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแหล่งน้ำ พบว่ามีอัตราต่ำกว่าเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการคือ การออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์และปฏิกิริยาการตกตะกอนได้เป็น โลหะซัลไฟด์ เช่น FeS และ FeS_2 ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กลไกการปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากตะกอนในเขตน้ำขึ้นน้ำลง

ที่มา: Azad et al. (2005)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อให้เกิดผลเสีย คือ

(1) ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเนื่องจากก๊าซนี้มีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่รับรู้ได้มีค่าต่ำมาก คือ 0.0011 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้ประสาทรับกลิ่นเกิดการล้ากลิ่นเหม็นจึงหายไป เมื่อมนุษย์ได้รับก๊าซนี้เข้าไปจะทำให้หมดสติและถึงตายอย่างรวดเร็วถ้าในบรรยากาศมีก๊าซนี้อยู่ในประมาณ 300 ppm นอกจากนี้ยังเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำแม้ในปริมาณน้อยกว่า 1 ppm ระดับความเป็นพิษยังเปลี่ยนแปลงได้ตามค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจนเอง

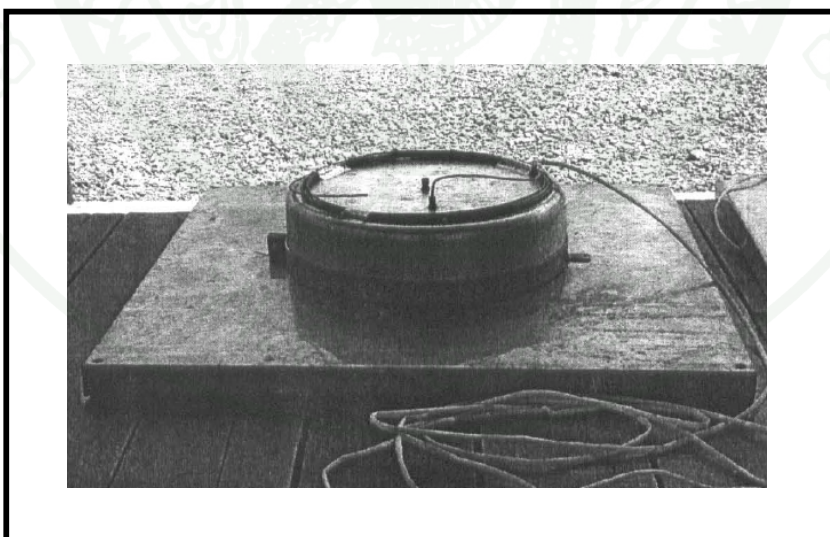
(3) ทำให้เกิดการกัดกร่อนของท่อคอนกรีตหรืออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะ เนื่องจากเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์จะเกิดเป็นกรดซัลฟูริกซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อน และเมื่อกรดนี้ถูกชะลงสู่แหล่งน้ำ จะเกิดสภาวะกรดที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น (อำพน, 2540)

ก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งมนุษย์ และสัตว์ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นด้านของกลิ่นรบกวน ความเป็นพิษเนื่องจากคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิด ตั้งแต่การทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ วิงเวียนศีรษะและก่อให้เกิดโรคเรื้อรังอื่นๆ รวมถึงคุณสมบัติการเป็นก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบรรยากาศโลก

4. งานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

Orlich (1990) และ Thorneloe (1993) ได้ทำการศึกษาพบว่า สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงบีโอดี (BOD loading) ในน้ำเสียเป็นก๊าซมีเทน มีค่าเท่ากับประมาณ 0.22 กิโลกรัมของมีเทนต่อบีโอดี 1 กิโลกรัม

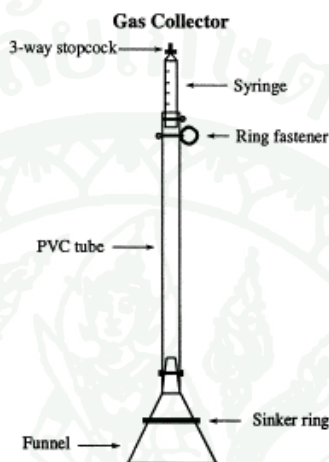
ธวัชชัย (2544) ได้ทำการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าปัจจัยที่ทำให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกันคือ อุณหภูมิของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ความลึกพื้นที่ศึกษา รวมถึงค่าความเป็นกรดด่าง โดยพบว่าอัตราความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ที่บ่อรวบรวมน้ำเสีย สถานีสูบน้ำเสียบ้านคลองยาง มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ย เท่ากับ 3,441.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนที่ผิวน้ำ จากบ่อบำบัดน้ำเสียโดยใช้กล่องเก็บก๊าซ ซึ่งเป็นกระบอกปลายปิด ทำจากสแตนเลส มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.1257 ตารางเมตร โดยต่อกับแผ่นอลูมิเนียมที่หุ้มด้วยโฟม เพื่อช่วยให้กล่องเก็บก๊าซสามารถลอยน้ำได้ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ลักษณะกล่องเก็บก๊าซมีเทน

ที่มา: ธวัชชัย (2544)

Huttunen *et al.* (2001) ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนที่มีลักษณะเป็นฟองผุด จากทะเลสาบในประเทศฟินแลนด์ โดยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะกรวยที่ทำจากโพลีโพรพิลีน (polypropylene) ต่อกับท่อพีวีซี ที่เชื่อมด้านหนึ่งด้วยหลอดฉีดยา ที่มีวาล์วเปิดปิด อยู่ด้านบน ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซได้น้ำ

ที่มา: Huttunen *et al.* (2001)

Huttunen *et al.* (2003) ที่ศึกษาการปลดปล่อยของก๊าซมีเทนจากทะเลสาบ Postilampi ประเทศฟินแลนด์ ที่พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับเก็บตัวอย่างลึกมากขึ้น และปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในทะเลสาบ Postilampi คือ สภาพภูมิอากาศ และ การใช้ที่ดินโดยรอบทะเลสาบ

Parvinen and Lajunen (1994) ได้ทำการศึกษาในน้ำเสียพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าระหว่าง 3.1 -5.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Slooff *et al.* (1991) ทำการศึกษาปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดจากตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำมิสซิสซิปปี ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า มีค่า 0.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดจากตัวอย่างสระน้ำ และบ่อน้ำ ที่รัฐมินเนโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่า 1.6 และ 1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

อรอนงค์ (2541) ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซจากขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกปลดปล่อยมากในช่วง 3 ชั่วโมง ถึง 2 วัน ของการทดลอง โดยพบว่าก๊าซที่ถูกปลดปล่อยหลักคือก๊าซมีเทน คิดเป็นร้อยละ 60.46-89.07 รองลงมาคือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คิดเป็นร้อยละ 0.96-15.34

วันฉิภา (2547) ได้ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ความลึกต่างระดับในระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนครอุบลราชธานี พบว่าค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) มีแนวโน้มมากขึ้นในระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น และค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำ โดยปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้บริเวณบ่อบำบัดที่ ระดับความลึกผิวน้ำ ระดับกึ่งกลางชั้นน้ำ และระดับเหนือพื้นท้องน้ำพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.028 0.034 และ 0.049 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Azad et al. (2005) ได้ทำการศึกษาก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปลดปล่อยจากตะกอนในพื้นที่ทะเลอาริกาเกะ ประเทศญี่ปุ่น พบว่าการปลดปล่อยเกิดขึ้นสูงในฤดูร้อนคือเดือนกรกฎาคมและลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเย็นลง และการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามช่วงเวลาพบว่าอัตราการปลดปล่อยจากตะกอนสู่บรรยากาศมีค่าสูงในช่วงกลางคืนมากกว่าช่วงเวลากลางวัน โดยมีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดเท่ากับ 5.5 ไมโครกรัมซัลเฟอร์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ($\mu\text{g S m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ที่เวลา 3-6 นาฬิกา และมีอัตราการปลดปล่อยต่ำสุดเท่ากับ 1.8 ไมโครกรัมซัลเฟอร์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ($\mu\text{g S m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ที่เวลา 6-18 นาฬิกา

Reese et al. (2008) ศึกษาทะเลสาบทางใต้ของแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ในปลายเดือนกรกฎาคม ที่ระดับความลึกต่างๆ พบว่าจากตัวอย่างน้ำภายในตะกอนมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ เท่ากับ 5.6 mmol L^{-1} ที่ระดับความลึกที่สุดของพื้นที่ศึกษา มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่า 1.2 mmol L^{-1} และที่ระดับผิวน้ำมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.1 mmol L^{-1}

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1 วัสดุและอุปกรณ์ภาคสนาม

- (1) เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ (Water Samplers) ขนาด 1000 ml
- (2) เครื่องวัดอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลาย
- (3) เครื่องวัดค่าค่าความเป็นกรดด่าง โดยใช้เครื่องวัดค่าค่าความเป็นกรดด่าง
- (4) เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ
- (5) กล้องเก็บก๊าซ (Gas Chamber)
- (6) หลอดเก็บก๊าซ ขนาด 10 มิลลิลิตร
- (7) หลอดฉีดยา ขนาด 60 มิลลิลิตร
- (8) เข็มฉีดยา
- (9) นาฬิกาจับเวลา
- (10) ถังแช่น้ำแข็ง
- (11) ขวดบีโอดี ขนาด 50 และ 300 มิลลิลิตร

(12) สมุดจด

(13) ฉลากติดซองซีบแพ็ค

(14) บีกเกอร์

(15) กระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์

(16) ถุงเก็บก๊าซ (Sampling Bag)

(17) เครื่องดูดอากาศแบบพกพา (Personal Air Sampler)

1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

1.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer

(2) เครื่อง Gas Chromatography Flame Ionization Detector

(3) เครื่องชั่ง

(4) กระบอกตวง

(5) บีกเกอร์

(6) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask)

(7) บิวเรต

(8) ขวดแก้วรูปกรวย

(9) จุกยาง

(10) ปิเปต

(11) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง

(12) ขวดทิ้งสารเคมี ติดฉลากแยกชนิดสารเคมี

(13) กระดาษสติกเกอร์สำหรับทำฉลากติดขวดตัวอย่าง

(14) เสื้อกราวน

(15) แวนตากันสารเคมี

(16) ตู้เย็นสำหรับเก็บตัวอย่าง

1.2.2 สารเคมี

(1) กรดไฮโดรคลอริก

(2) โซดียมไฮดรอกไซด์

(3) ไอโอดีน

(4) โซเดียมไฮดรอกไซด์

(5) แป้ง

(6) สังกะสีอะเซเตต

(7) โซเดียมไฮดรอกไซด์

2. วิธีการทดลอง

2.1 พื้นที่ศึกษา

ทำการศึกษาบริเวณคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร เริ่มต้นศึกษาจากปากคลองด้านคลองชักพระ จนถึง บริเวณซอยจรัญสนิทวงศ์ 23/1 โดยทำการเก็บตัวอย่าง 4 บริเวณ ได้แก่

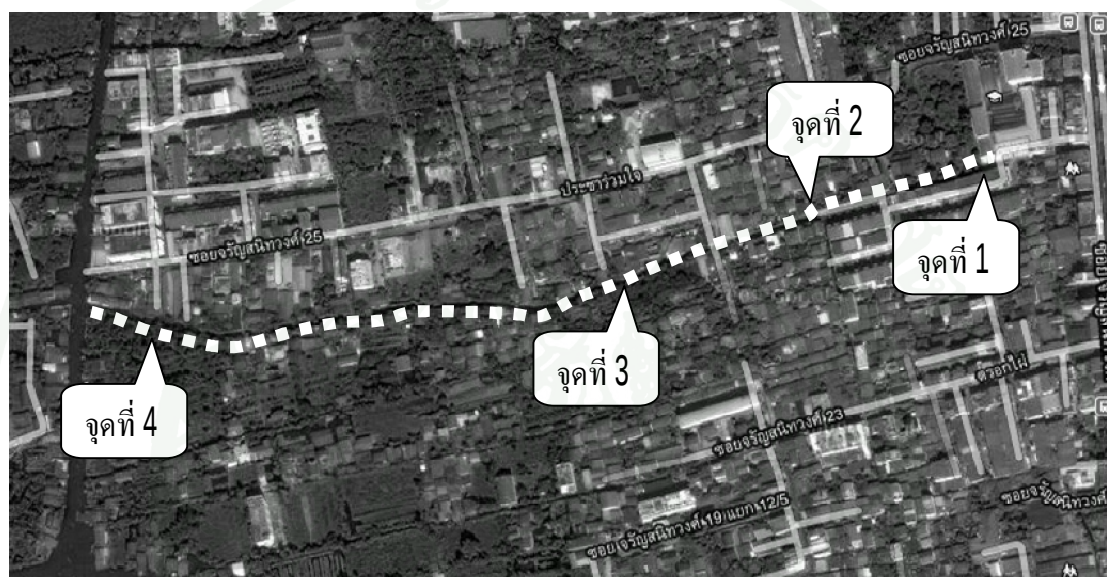
(1) บริเวณท้ายคลองทรงเทวดา หลังโรงเรียนนวมวิทย์

(2) บริเวณท่ากระโคงสาธารณะ

(3) บริเวณที่แคบสุดของคลอง

(4) บริเวณปากคลองทรงเทวดาด้านคลองชักพระ

ซึ่งแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกันด้านองค์ประกอบของน้ำเสีย ลักษณะและขนาดลำน้ำรวมถึงการสะสมของตะกอน ด้วยคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังที่กล่าวมาส่งผลให้คุณภาพของน้ำรวมถึงอัตราการเกิดตะกอนมีความแตกต่างกัน โดยจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 บริเวณ แสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 พื้นที่ศึกษา คลองทรงเตวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

ที่มา: Google Map (2011)

2.1.1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1

บริเวณท้ายคลองทรงเตวดา หลังโรงเรียนนวมลทิน ประกอบด้วยกลุ่มของสิ่งปลูกสร้าง ลักษณะเป็นทาวเฮ้าส์ทางด้านทิศใต้ และทางทิศเหนือมีสิ่งปลูกสร้างเป็นบ้านไม้ภายในสวน และทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือมีโรงเรียนนวมลทินตั้งอยู่ ลำคลองมีความกว้าง 3.80 เมตร ลักษณะพื้นที่ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (บริเวณท้ายคลองทรงเทวดา หลังโรงเรียนนวมวิทย์)

2.1.2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2

บริเวณลำกระโดงสาธารณะ ประกอบด้วยกลุ่มของบ้านพักอาศัยที่ปลูกอย่างไม่
แออัดทางด้านทิศใต้ และทางทิศเหนือ ความสูงสองชั้นโดยเฉลี่ยตลอดแนว ลำคลองมีความกว้าง
3.10 เมตร ลักษณะพื้นที่ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 บริเวณลำกระโดงสาธารณะ

2.1.3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 3

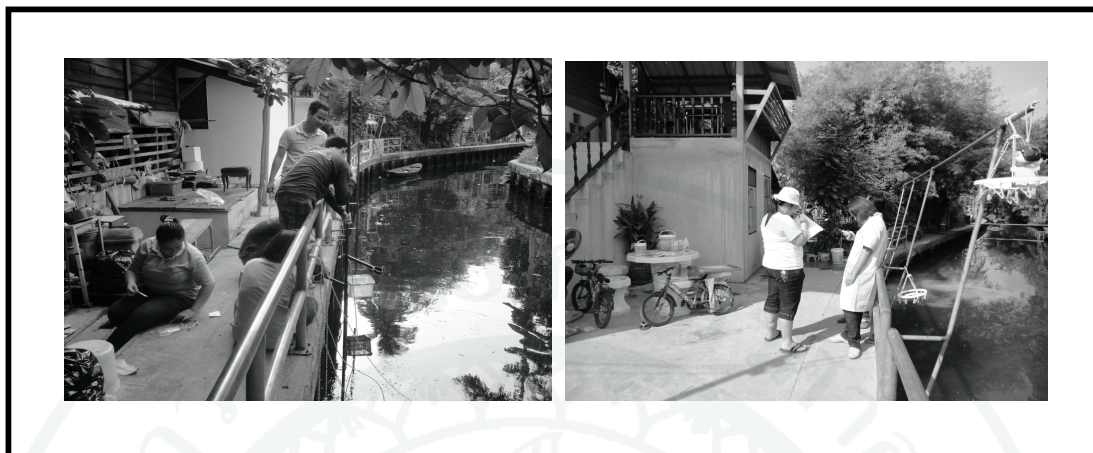
บริเวณแคบที่สุดของคลอง ประกอบด้วยพื้นที่สวนที่ถูกปรับปรุงเป็นสวนสาธารณะทางด้านทิศใต้ และทางทิศเหนือมีกลุ่มสิ่งปลูกสร้างบ้านไม้ บ้านไม้ผสมปูน และบ้านปูน ความสูงสองชั้น โดยเฉลี่ยตลอดแนว ปลูกติดกันอย่างแออัด ลำคลองมีความกว้าง 0.80 เมตร ลักษณะพื้นที่ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 บริเวณแคบที่สุดของคลอง

2.1.4 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4

บริเวณปากคลองทรงเทวดาด้านคลองชักพระ ประกอบด้วยพื้นที่บ้านพักอาศัยที่ปลูกอย่างไม่แออัด และพื้นที่สวนผลไม้ทางด้านทิศใต้ ทางทิศเหนือมีกลุ่มสิ่งปลูกสร้างบ้านไม้ บ้านไม้ผสมปูน และบ้านปูน ความสูงสองชั้น โดยเฉลี่ยตลอดแนว ปลูกติดกัน และมีพื้นที่ว่างเปล่าขนาดประมาณ 200 ตารางวา จำนวน 1 แปลง ลำคลองมีความกว้าง 4.20 เมตร ลักษณะพื้นที่ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 บริเวณปากคลองทรงเทวดา ด้านคลองชักพระ

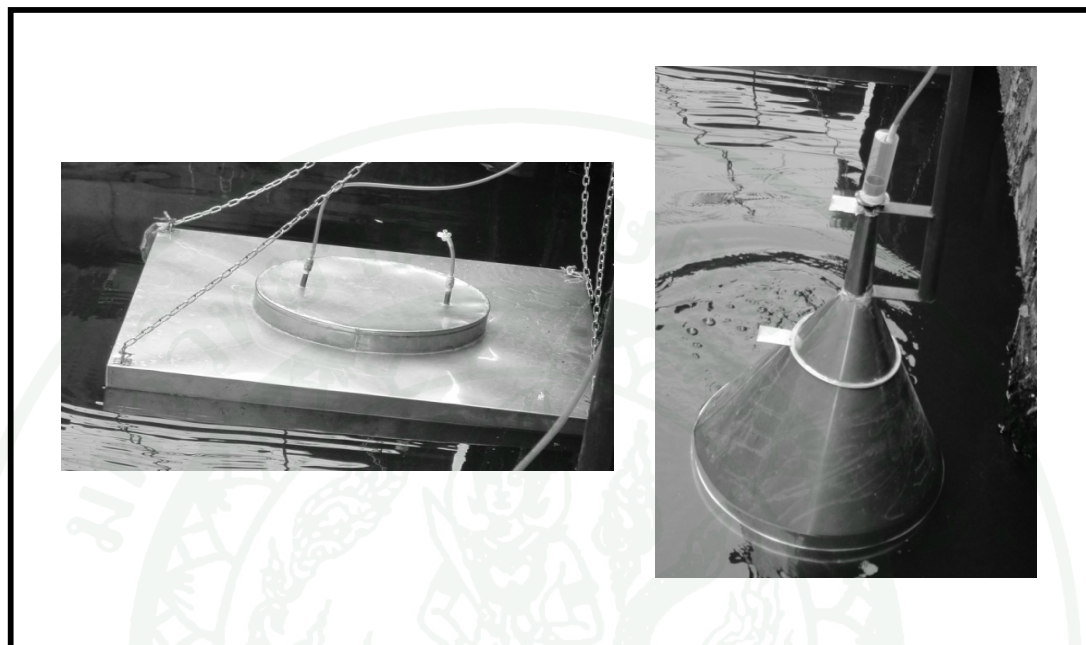
2.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

โดยทำการศึกษาด้านกายภาพของชุมชนบริเวณ โดยรอบรวมถึงกิจกรรมการใช้น้ำ เก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของคลองทรงเทวดา โดยเก็บข้อมูลลักษณะคลอง ความกว้าง ความยาวของคลอง และความลึกของน้ำและตะกอน

2.3 การศึกษาการกระจายตัวตามแนวดิ่งของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากตะกอนได้น้ำ

โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ 5 ระดับ ความสูง ได้แก่ ระดับตะกอนท้องน้ำ ระดับผิวน้ำ ระดับเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ระดับเหนือผิวน้ำ 150 เซนติเมตร และ ระดับเหนือผิวน้ำ 350 เซนติเมตร

2.3.1 ที่ระดับเหนือตะกอนท้องน้ำและระดับผิวน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน (CH_4) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากน้ำเสีย โดยใช้กล่องเก็บก๊าซ (Gas Chamber) และกรวยเก็บก๊าซที่พัฒนามาจากงานของ Huttunen et al. (2001) ดังภาพที่ 19 ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทันทีที่สามารถทำได้



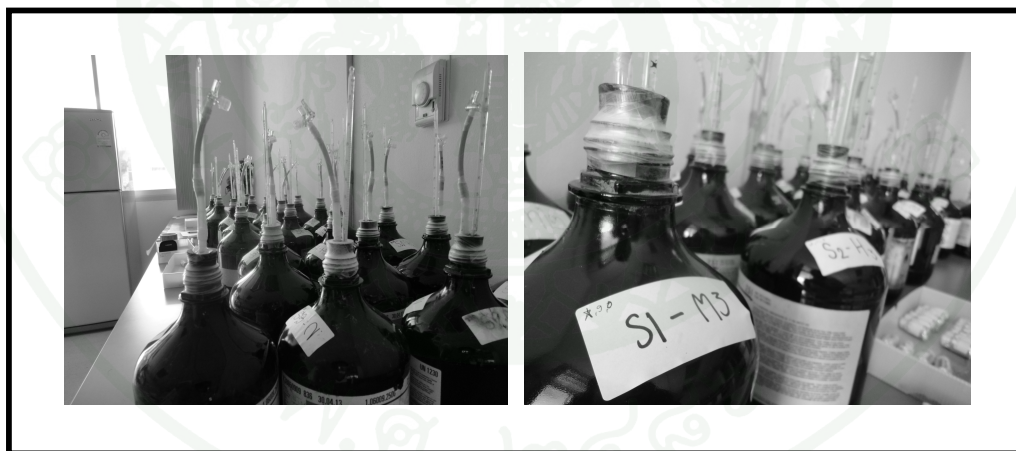
ภาพที่ 19 กล่องเก็บก๊าซและกรวยเก็บก๊าซที่ถูกติดตั้งในสถานที่ทำการทดลอง

2.3.2 ที่ระดับเหนือผิวน้ำทุกระดับความสูง ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซสองชนิด คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้เครื่องดูดอากาศแบบพกพา (Personal Air Sampler) ที่มีอัตราการไหลอากาศ 50 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทันทีที่สามารถทำได้

2.4 การศึกษาก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากตะกอนดินน้ำ

โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินน้ำ ทำการสุ่มพื้นที่เก็บตะกอน 3 ชั่วโมง โดยแต่ละจุด ให้มีความห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร เป็นรูปสามเหลี่ยม จำนวน 3.5 กิโลกรัม และทำการเก็บตัวอย่าง น้ำจากแต่ละจุดเก็บ จำนวน 1 ลิตร แล้วทำการรักษาตัวอย่างโดยบรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิดปากถุงให้ แน่นหนาเพื่อป้องกันการรบกวนจากก๊าซอื่นในบรรยากาศและทำการเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส

จากนั้นทำการบรรจุตะกอนดิน และน้ำจากแหล่งตัวอย่างต่างๆ ลงในอุปกรณ์สำหรับ เก็บตัวอย่างที่ติดตั้งปลายด้วย 3-Way Stop Clock ดังภาพที่ 20 โดยวันที่ 1-5 ทำการเก็บตัวอย่างวัน ละ 3 ช่วงเวลา และวันที่ 6-10 ทำการเก็บตัวอย่างวันละ 1 ช่วงเวลา รวม 20 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง และ ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลองในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 20 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างตามระยะเวลา (Gas Chamber)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

การวิเคราะห์ข้อมูลก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้วิธี ไอโอดิเมตริก (Iodometric) โดยทำการวิเคราะห์ภายใน 1 วัน วิเคราะห์ตามวิธีใน Standard Method โดย APHA, AWWA and WEF (2005) และทำการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำอื่นๆ ประกอบด้วย อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าความต้องการออกซิเจน (DO) ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และค่าการนำไฟฟ้า (EC)

2.5.2 การวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

(1) การวิเคราะห์ปริมาณ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC) ชนิด Flame Ionization Detection (FID) และ ชนิด Flame Photometric Detection (FPD) ตามลำดับ โดยมีสภาวะการทำงานของเครื่องดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สภาวะการทำงานของ เครื่อง Gas Chromatography (GC)

Gas Chromatography	ก๊าซที่ทำการทดสอบ	สภาวะการทำงาน
FID	CH_4 (ยี่ห้อ HP รุ่น 6890) ชนิดของคอลัมน์ (Column Type) อุณหภูมิ Injection อุณหภูมิ Inlet ความดัน	แคปิลารี RESTEX 688347 ยาว 50 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 530 มิลลิเมตร ความหนาฟิล์ม 1 ไมครอน 45 °C 90 °C 64.5 psi

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Gas Chromatography	ก๊าซที่ทำการทดสอบ	สภาวะการทำงาน
	โหมคการฉีดตัวอย่าง (Split Liner)	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 มิลลิลิตร (Split Ratio 5:1)
	อุณหภูมิ Detector	120 °C
FPD	H ₂ S (ยี่ห้อ HP รุ่น 6890)	Carrier gas N ₂ ที่อัตราการไหล 51.9 มิลลิลิตร ต่อ นาที
	ชนิดของคอลัมน์ (Column Type)	แคปิลารี Agilent รุ่น 19091Z-216 ยาว 60 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 320 ไมครอน
	อุณหภูมิ Injection	90 °C
	อุณหภูมิ Back Inlet	250 °C
	ความดัน	11.24 psi
	อุณหภูมิ Back Detector	250 °C
	Carrier gas	N ₂ ที่อัตราการไหล 60 มิลลิลิตร ต่อ นาที

(2) วิเคราะห์ค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ตามวิธีใน Standard Methods (APHA, AWWA and WEF, 2005)

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่าง จำนวน 4 จุด ตลอดบริเวณคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร โดยศึกษาคุณภาพน้ำทางเคมีและทางกายภาพบางประการ ได้ดำเนินการวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2554 ผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังนี้

อุณหภูมิ

ขณะทำการเก็บตัวอย่างอุณหภูมิของน้ำเสีย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 28.4 ถึง 29.6 องศาเซลเซียส โดยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.1 องศาเซลเซียส จุดที่มีอุณหภูมิต่ำสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (บริเวณท้ายคลองทรงเทวดา หลังโรงเรียนนฤมลทิน) มีค่า 28.4 องศาเซลเซียส และจุดเก็บตัวอย่างที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (บริเวณแคบที่สุดของคลอง) มีค่า 29.6 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 6

อุณหภูมิของอากาศบริเวณคลองทรงเทวดาโดยทำการเก็บตัวอย่างทุก 5 นาที ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างพบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 37.8 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 45.5 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12.45 นาฬิกา และมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 30.7 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.25 นาฬิกา

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำ

พบว่ามีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำอยู่ในช่วง 7.0 ถึง 7.3 โดยตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.1 จุดที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (บริเวณแคบที่สุดของคลอง) มีค่า 7.0 และจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (บริเวณท้ายคลองทรงเทวดา หลังโรงเรียนนฤมลทิน) มีค่า 7.3 ดังแสดงในตารางที่ 6

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ณ จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด ตลอดคลองทรงเทวดา มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าเท่ากับ 1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทุกจุดเก็บตัวอย่าง ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 (บริเวณปากคลองทรงเทวดาด้านคลองชักพระ) ซึ่งมีค่า 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 6

ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำ

ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำ มีค่าระหว่าง 21 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจุดที่มีค่าบีโอดี (BOD) สูงสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 (บริเวณลำกระโจงสาธารณะ) มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดที่มีค่าบีโอดี (BOD) ต่ำสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 21 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำทางเคมีและทางกายภาพบางประการ ณ จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ

จุดเก็บตัวอย่าง	คุณภาพน้ำทางเคมีและทางกายภาพ			
	อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)	ความเป็นกรดด่าง	ปริมาณออกซิเจน ที่ละลายน้ำ (mg/l)	บีโอดี (mg/l)
1	28.4	7.3	1.1	21
2	29.5	7.1	1.0	50
3	29.6	7.0	1.1	49
4	29.0	7.1	1.2	27
ค่าเฉลี่ย	29.1	7.1	1.1	37

1. การกระจายตัวตามแนวตั้งของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

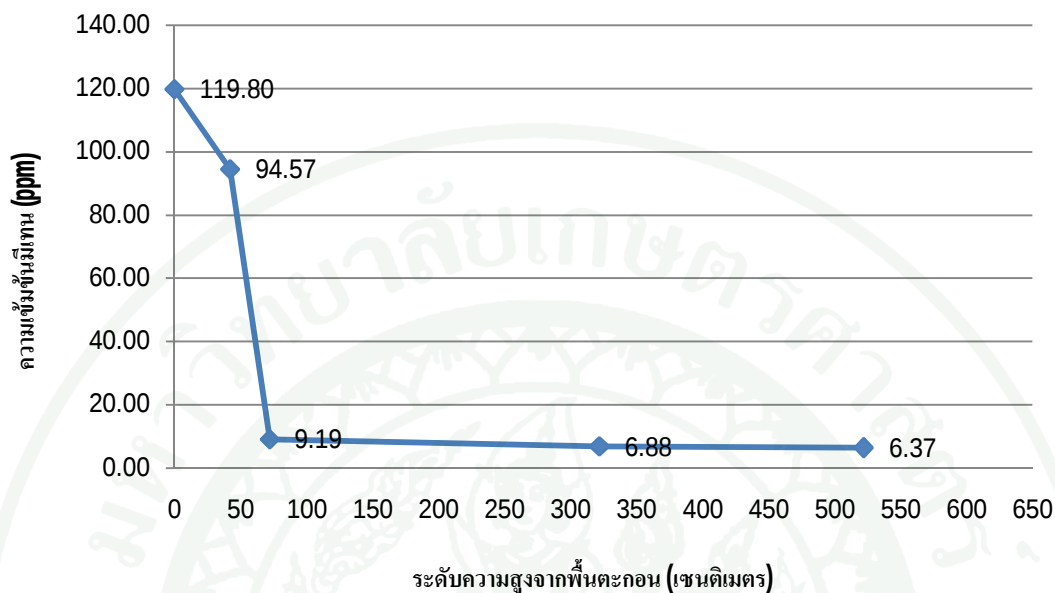
1.1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1

1.1.1 ก๊าซมีเทน

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทน จากพื้นที่บริเวณคลองทรงเตา พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับตะกอนเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซมีเทนที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 119.80 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่า ก๊าซมีเทนมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.37 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวน้ำ สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 21

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.7197 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 2.6795 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0093 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0025 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล คือ $y = 56.047e^{-0.005x}$, $R^2 = 0.579$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และ X คือ ความสูงจากระดับตะกอน



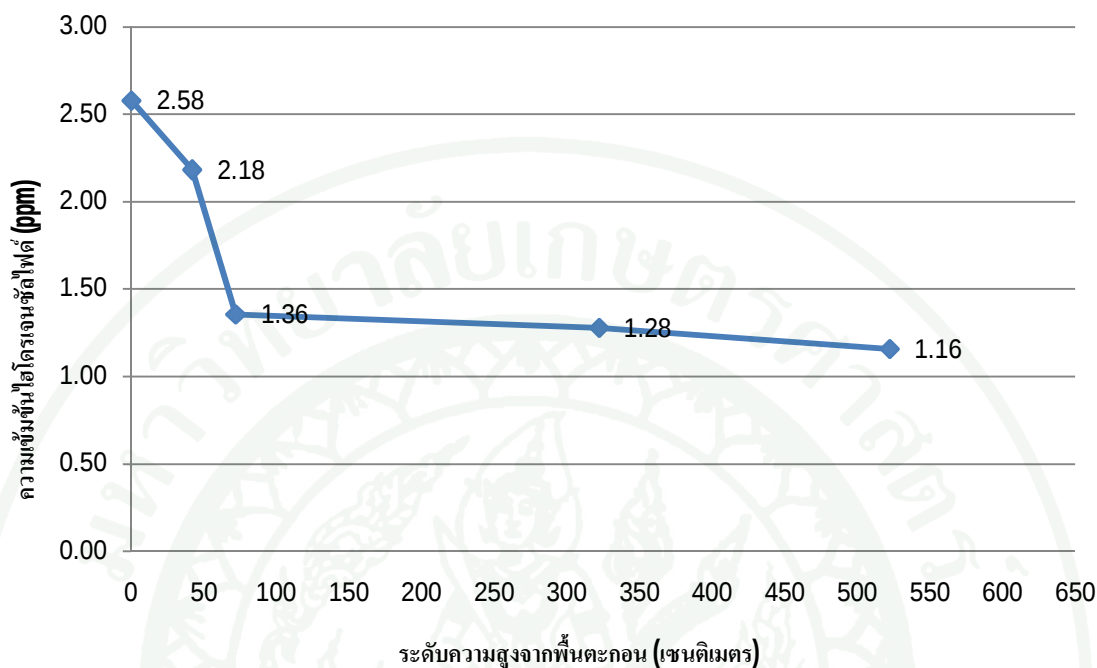
ภาพที่ 21 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1

1.1.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับของผิวตะกอนเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับก๊าซมีเทน โดยบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของก๊าซสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.58 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่า มีความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.16 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดิน สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 22

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.0095 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0275 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0003 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0006 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำสู่อากาศคือปัจจัยทางด้านฟิสิกส์เคมีคัลของน้ำและอากาศประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่าความเป็นกรดด่าง ปัจจัยด้าน Hydraulic ของน้ำ ปัจจัยด้านอากาศของอากาศเหนือผิวน้ำนั้น (Elmaleh *et al.*, 1998; Yongsiri *et al.*, 2004)

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 2.071e^{-0.001x}$, $R^2 = 0.640$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



ภาพที่ 22 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1

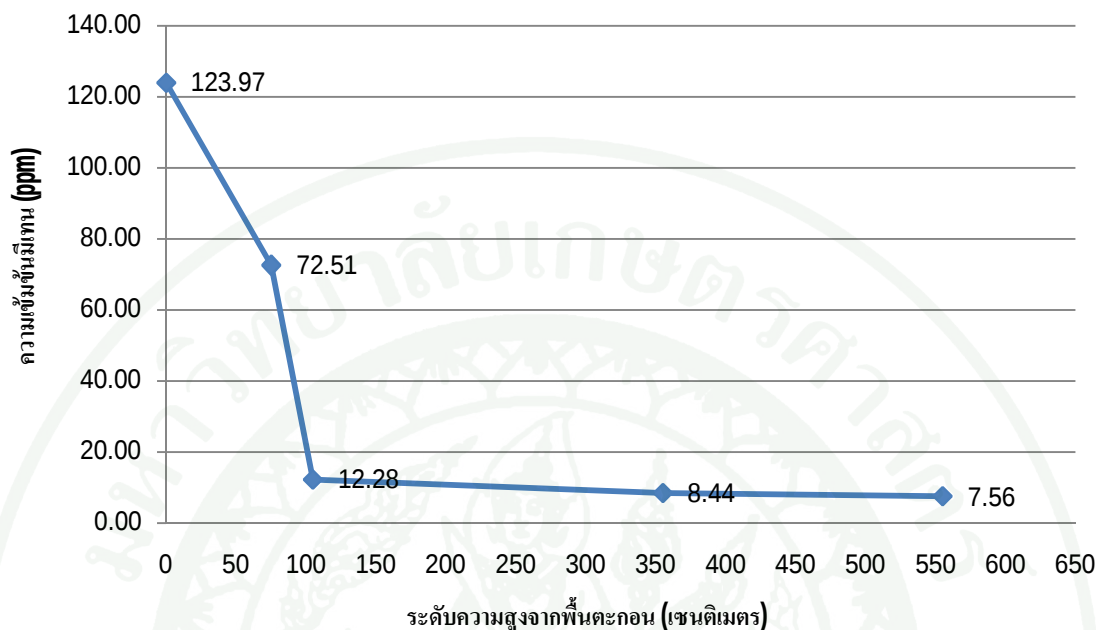
1.2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2

1.2.1 ก๊าซมีเทน

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทน พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับตะกอนเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซมีเทนที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 123.97 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่าก๊าซมีเทนมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.56 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดิน สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 23

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.6862 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 2.0077 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0153 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0044 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 63.353e^{-0.005x}$, $R^2 = 0.654$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



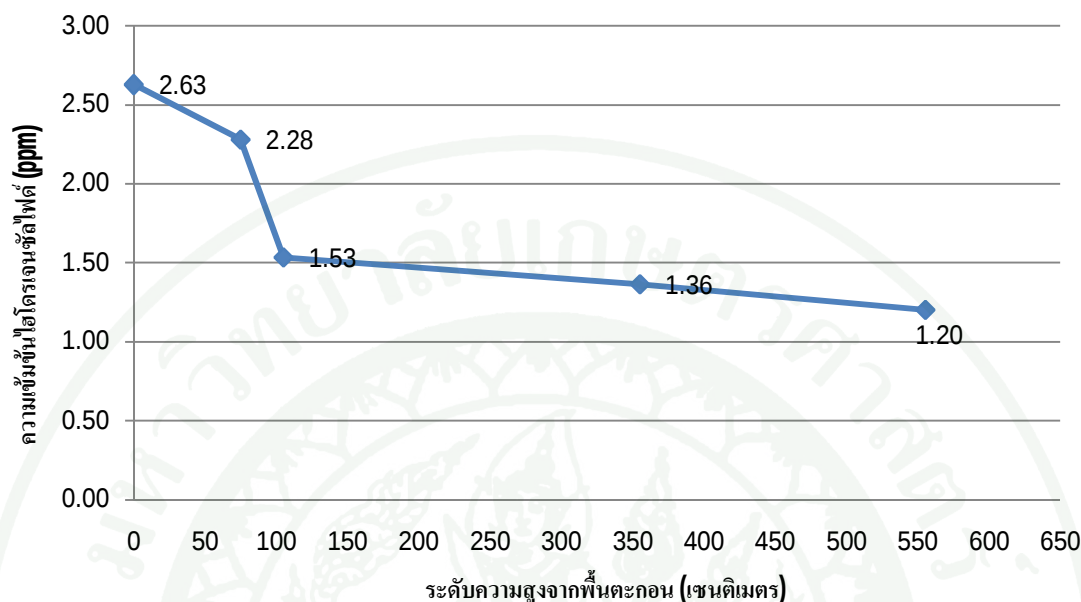
ภาพที่ 23 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2

1.2.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับของตะกอนเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับก๊าซมีเทน โดยบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของก๊าซสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.63 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่า มีความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.20 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดิน สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 24

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.0046 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0248 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0007 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0008 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำสู่อากาศคือปัจจัยทางด้านฟิสิกส์เคมีคัลของน้ำและอากาศประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่าความเป็นกรดต่าง ปัจจัยด้าน Hydraulic ของน้ำ ปัจจัยด้านอากาศของอากาศเหนือผิวน้ำนั้น (Elmaleh et al., 1998; Yongsiri et al., 2004)

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 2.273e^{-0.001x}$, $R^2 = 0.766$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



ภาพที่ 24 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2

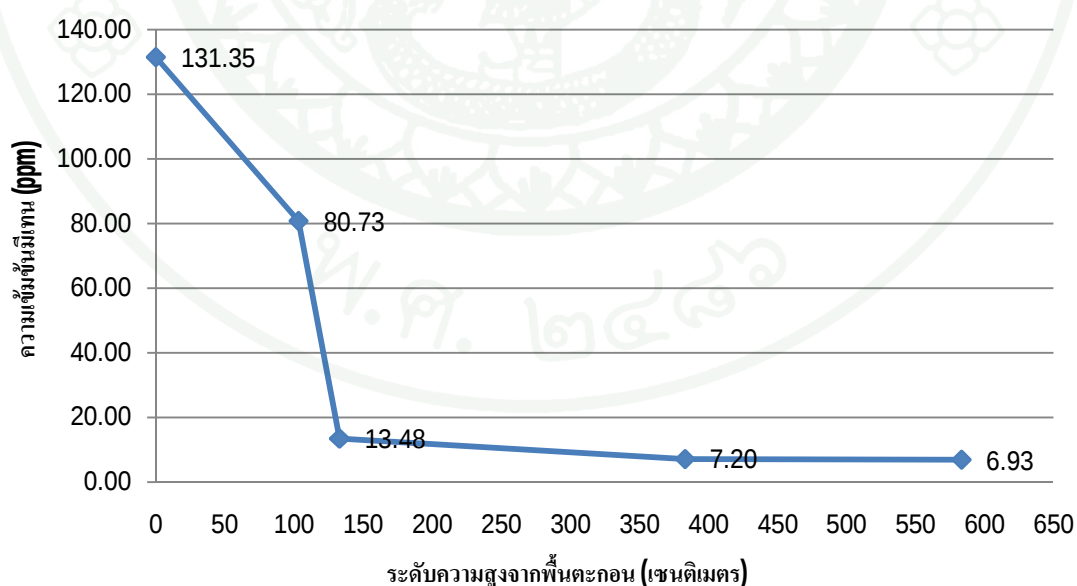
1.3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 3

1.3.1 ก๊าซมีเทน

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทน พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับตะกอนเพิ่มมากขึ้นโดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับตะกอนท่อน้ำ โดยก๊าซมีเทนที่ระดับพื้นตะกอนมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 131.35 ppm สำหรับความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่าก๊าซมีเทนมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.93 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดินสามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 25

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนตื้นถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.4915 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 2.2416 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0291 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0087 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 76.532e^{-0.005x}$, $R^2 = 0.710$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



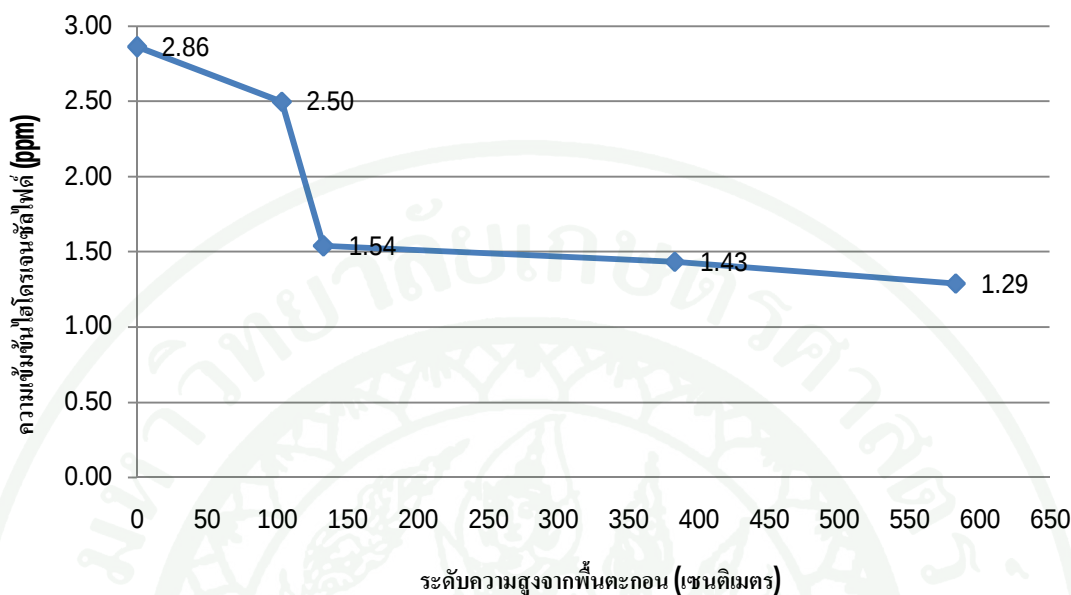
ภาพที่ 25 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3

1.3.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับของตะกอนเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับก๊าซมีเทน โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเท่ากับ 2.86 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่า มีความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.29 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดิน สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 26

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.0035 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0320 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0004 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0007 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำสู่อากาศคือปัจจัยทางด้านฟิสิกส์เคมีคัลของน้ำและอากาศประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่าความเป็นกรดต่าง ปัจจัยด้าน Hydraulic ของน้ำ ปัจจัยด้านอากาศของอากาศเหนือผิวน้ำนั้น (Elmaleh et al., 1998; Yongsiri et al., 2004)

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 2.479e^{-0.001x}$, $R^2 = 0.714$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



ภาพที่ 26 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3

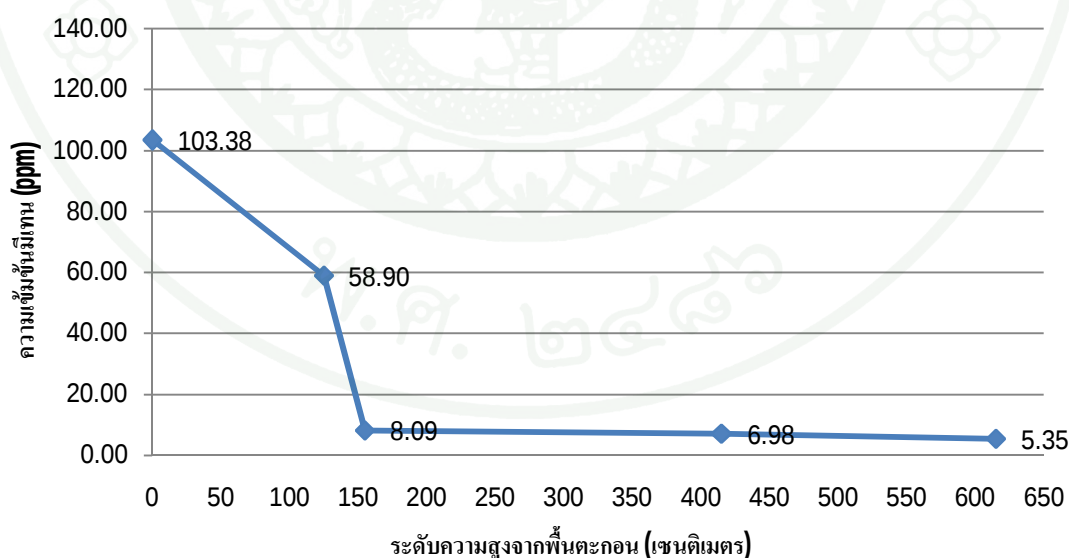
1.4 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4

1.4.1 ก๊าซมีเทน

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทน จากจุดเก็บตัวอย่างนี้ พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับตะกอนเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซมีเทนที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 103.38 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่า ก๊าซมีเทนมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 5.35 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดิน สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 27

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนต้งน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.3559 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 1.6934 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0043 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0082 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 58.026e^{-0.004x}$, $R^2 = 0.666$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



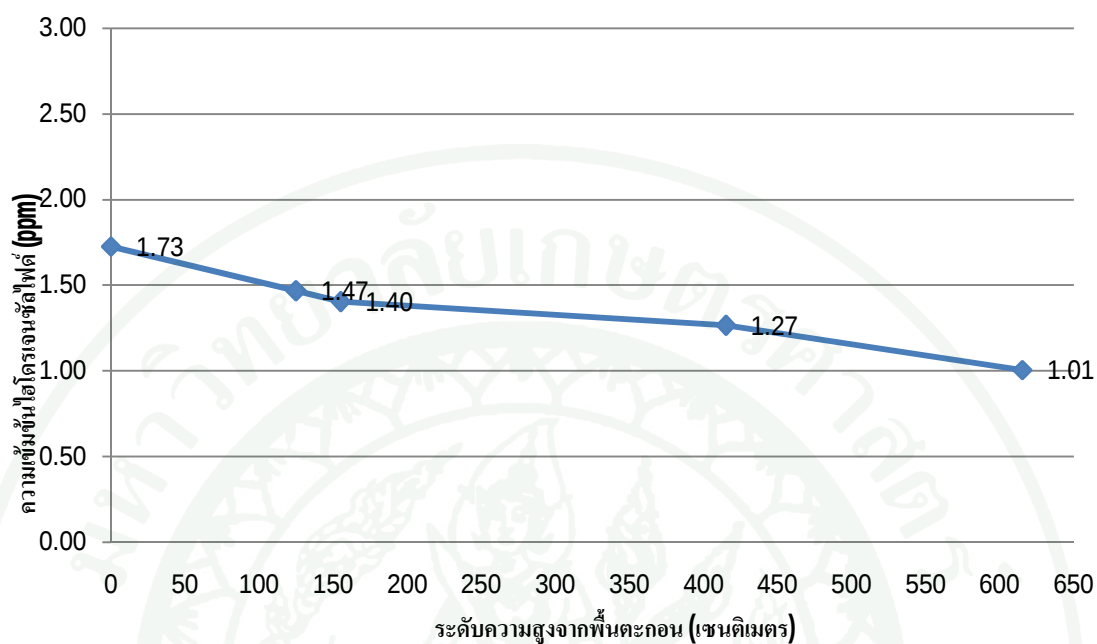
ภาพที่ 27 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ตามความสูงจากระดับตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4

1.4.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลง เมื่อความสูงจากระดับของตะกอนเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับก๊าซมีเทน โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับตะกอนท้องน้ำ โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.73 ppm สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่า มีความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.01 ppm ที่ระดับความสูง 350 เซนติเมตรเหนือผิวดิน สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 28

เมื่อนำมาหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) พบว่า ความสูงเหนือตะกอนท้องน้ำถึงระดับผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.0021 ppm ต่อเซนติเมตร ระดับผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0021 ppm ต่อเซนติเมตร ความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0005 ppm ต่อเซนติเมตรและที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึงระดับความสูงเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0013 ppm ต่อเซนติเมตร สาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงที่ระดับความสูงเหนือผิวน้ำถึงความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการแพร่จากน้ำสู่บรรยากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำสู่อากาศคือปัจจัยทางด้านฟิสิกส์เคมีคัลของน้ำและอากาศประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่าความเป็นกรดต่าง ปัจจัยด้าน Hydraulic ของน้ำ ปัจจัยด้านอากาศของอากาศเหนือผิวน้ำนั้น (Elmaleh et al., 1998; Yongsiri et al., 2004)

เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ย (ppm) กับความสูง (เซนติเมตร) จากทุกระดับการเก็บตัวอย่างได้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล คือ $y = 1.662e^{-0.001x}$, $R^2 = 0.952$ เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ X คือ ความสูงจากระดับผิวดิน



ภาพที่ 28 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไอโซโพรพานอลไฟด์ ตามระดับความสูงจากตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4

ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถสรุปความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไอโซโพรพานอลไฟด์จากทุกจุดเก็บตัวอย่าง และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) ได้ดังตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับต่างๆ

จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดก๊าซ	ความเข้มข้นของก๊าซที่ระดับเก็บตัวอย่าง (ppm)				
		พื้นตะกอน	ผิวน้ำ	เหนือผิวน้ำ	เหนือผิวดิน	เหนือผิวดิน
				30 ซม.	150 ซม.	350 ซม.
1	มีเทน	119.80	94.57	9.19	6.88	6.37
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	2.58	2.18	1.36	1.28	1.16
2	มีเทน	123.97	72.51	12.28	8.44	7.56
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	2.63	2.28	1.54	1.36	1.20
3	มีเทน	131.35	80.73	13.48	7.20	6.93
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	2.86	2.50	1.54	1.43	1.29
4	มีเทน	103.38	58.90	8.09	6.98	5.35
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	1.73	1.47	1.40	1.27	1.01

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงทุกจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดก๊าซ	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (ppm cm ⁻¹)			
		พื้นตะกอน	ผิวน้ำ	เหนือผิวน้ำ 30 ซม. ถึง	เหนือผิวน้ำ
		ถึงผิวน้ำ	ถึงเหนือผิวน้ำ 30 ซม.	เหนือผิวน้ำ 150 ซม.	ถึงเหนือผิวน้ำ 350 ซม.
1	มีเทน	0.7197	2.6795	0.0093	0.0025
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.0095	0.0275	0.0003	0.0006
2	มีเทน	0.6862	2.0077	0.0153	0.0044
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.0046	0.0248	0.0007	0.0008
3	มีเทน	0.4915	2.2416	0.0291	0.0087
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.0035	0.0320	0.0004	0.0007
4	มีเทน	0.3559	1.6934	0.0043	0.0082
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.0021	0.0021	0.0005	0.0013

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) ของก๊าซทั้ง 2 ชนิดที่ได้ทำการศึกษาเทียบกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากงานวิจัยของ สุรัตน์และคณะ (2551) พบว่าก๊าซทั้ง 3 ชนิดมีแหล่งกำเนิดอยู่ระดับพื้นดินเช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่กิจกรรมการกำเนิดของก๊าซแต่ละชนิด โดยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ส่วนก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ได้จากการบวนการหายใจที่ไม่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) ต่อความสูง 100 เมตรของก๊าซทั้ง 3 ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงต่อความสูง 100 เมตร

ก๊าซ	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) (ppm / 100 m)
มีเทน *	59.50
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ *	8.50
คาร์บอนมอนอกไซด์ **	0.45

หมายเหตุ: * = ที่ระดับความสูงเหนือผิวดิน 150 ซม. ถึงเหนือผิวดิน 350 ซม.

** = สุรัตน์ และคณะ (2551)

พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) ต่อความสูง 100 เมตร ของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มาก ทั้งนี้เนื่องจาก ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่างก็สามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นๆ ในชั้นบรรยากาศ ได้เป็นสารชนิดใหม่จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงมีค่าสูงกว่าก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์ ที่เสถียรกว่านั่นเอง โดยก๊าซมีเทนจะทำปฏิกิริยากับ Hydroxyl Radicals (OH) ที่อยู่ในบรรยากาศได้ผลผลิตเป็น CH_3 Radical ($\text{CH}_3\bullet$ Radical) และน้ำ ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ และเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์เล็กน้อย ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นกว่าเป็นร้อยละ 90 ของการย่อยสลายก๊าซมีเทนในบรรยากาศ (USEPA, 2010) อีกทั้ง

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังสามารถทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศได้เป็นกรดซัลฟูริกและตกลงเป็นฝนกรดได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ระดับตะกอนท้องน้ำและระดับผิวน้ำ นำมาคำนวณอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่ามีที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 0.442 และ 0.349 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 0.369 และ 0.166 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 0.392 และ 0.207 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ และจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 0.386 และ 0.220 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ และมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดทั้งลำคลองที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีค่า 0.397 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี และที่ระดับผิวน้ำมีค่า 0.235 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของรัชชัย (2544) ที่ได้ทำการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่ามีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากบ่อดักตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย(แหลมผักเบี้ย) และบ่อบรรณน้ำเสียสถานีสูบน้ำบ้านคลองยาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่า BOD ของน้ำ ซึ่งพบว่าค่า BOD ของน้ำจากตัวอย่างคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย มีค่า ระหว่าง 21-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่า BOD ที่ได้จากแหล่งรวบรวมน้ำเสียอื่นๆ

สำหรับอัตราการปลดปล่อยของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 มีอัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยที่ระดับตะกอนท้องน้ำเท่ากับ 2.980 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี และที่ระดับผิวน้ำเท่ากับ 1.701 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 2.104 และ 1.576 กรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 2.710 และ 1.495 กรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ และจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 อัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 1.814 และ 1.194 กรัมต่อตารางเมตรต่อปีตามลำดับ และมีอัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยตลอดทั้งลำคลองที่ระดับพื้นตะกอน เท่ากับ 2.402 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี และที่ระดับผิวน้ำเท่ากับ 1.492 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ บริเวณคลองทรงเทวดา

จุดเก็บตัวอย่าง	อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (kg. CH ₄ m ⁻² year ⁻¹)		อัตราการปลดปล่อยก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (g. H ₂ S m ⁻² year ⁻¹)	
	ระดับพื้นตะกอน	ระดับผิวน้ำ	ระดับพื้นตะกอน	ระดับผิวน้ำ
1	0.442	0.349	2.980	1.701
2	0.369	0.166	2.104	1.576
3	0.392	0.207	2.710	1.495
4	0.386	0.220	1.814	1.194
เฉลี่ยตลอดลำ คลอง	0.397	0.235	2.402	1.492
บ่อดักตะกอนของ ระบบบำบัดน้ำเสีย (แหลมผักเบี้ย)*	-	0.551	-	-
บ่อรวบรวมน้ำเสีย สถานีสูบน้ำบ้าน คลองยาง*	-	2.761	-	-

หมายเหตุ: * = รัชชัย (2544)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของสารละลายในตัวกลางน้ำ เทียบกับการศึกษาของ วัฒนภา (2547) ที่ได้ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ความลึกต่างระดับในระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนครอุบลราชธานี พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระดับผิวน้ำ และผิวดักตะกอนมีค่าเท่ากับ 0.028 และ 0.049 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่ามีค่า 9.13×10^{-5} มิลลิกรัมต่อลิตรต่อเซนติเมตร ดังตารางที่ 11 สาเหตุที่ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่คำนวณได้จากคลองทรงเทวดาและระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนครอุบลราชธานีมีความแตกต่างกันมาเนื่องมาจากระบบ

บำบัดน้ำเสียของเทศบาล นครอุบลราชธานีเป็นระบบเดิมอากาศทำให้ลักษณะดังกล่าวไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่ม Sulfate Reducing รวมถึงปัจจัยด้านอุณหภูมิของน้ำและอากาศของพื้นที่

Azad et al. (2005) ได้ทำการศึกษาพบว่าพบว่าการปลดปล่อย ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีการปลดปล่อยสูงขึ้นในฤดูร้อนและลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเย็นลง

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของสารละลายในตัวกลางน้ำ

จุดเก็บตัวอย่างที่	ความเข้มข้นของ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ความลึกของน้ำ (เซนติเมตร)	อัตราการเปลี่ยนแปลง (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อ เซนติเมตร)
	ระดับผิวน้ำ	ระดับตะกอน พื้นที่ท้องน้ำ		
1	1.84	-	42	-
2	1.66	1.85	75	2.53×10^{-3}
3	1.78	2.38	103	5.83×10^{-3}
4	1.17	1.76	125	4.72×10^{-3}
ระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนคร อุบลราชธานี	0.028*	0.049*	230*	9.13×10^{-5}

หมายเหตุ: * = วัณณิภา (2547)

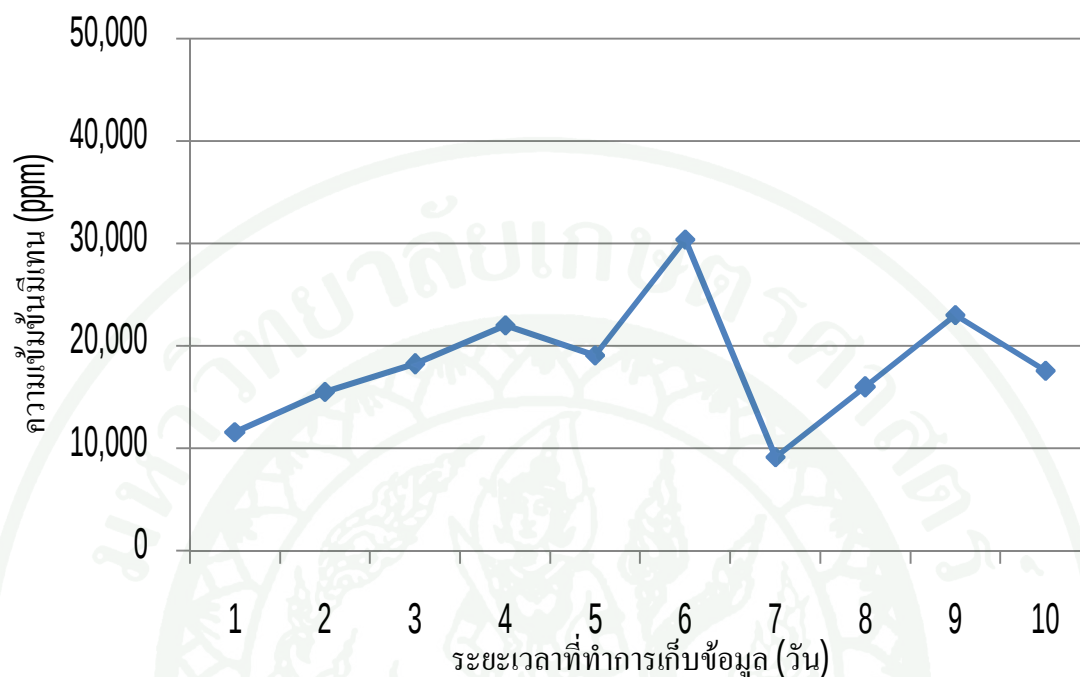
จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความเข้มข้นสูงที่บริเวณผิวตะกอนและความเข้มข้นจะลดลงเมื่อความลึกของน้ำลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Huttunen *et al.* (2003) ที่ทำการศึกษารื่องก๊าซมีเทน และ Reese *et al.* (2008) ที่ทำการศึกษารื่องก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2. การปลดปล่อยของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดขึ้นตามระยะเวลา

2.1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1

2.1.1 ก๊าซมีเทน

จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเทวดา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล พบว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 30,369 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 18,245 ppm คิดเป็น 11.94 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 11,940 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรดังแสดงในภาพที่ 29

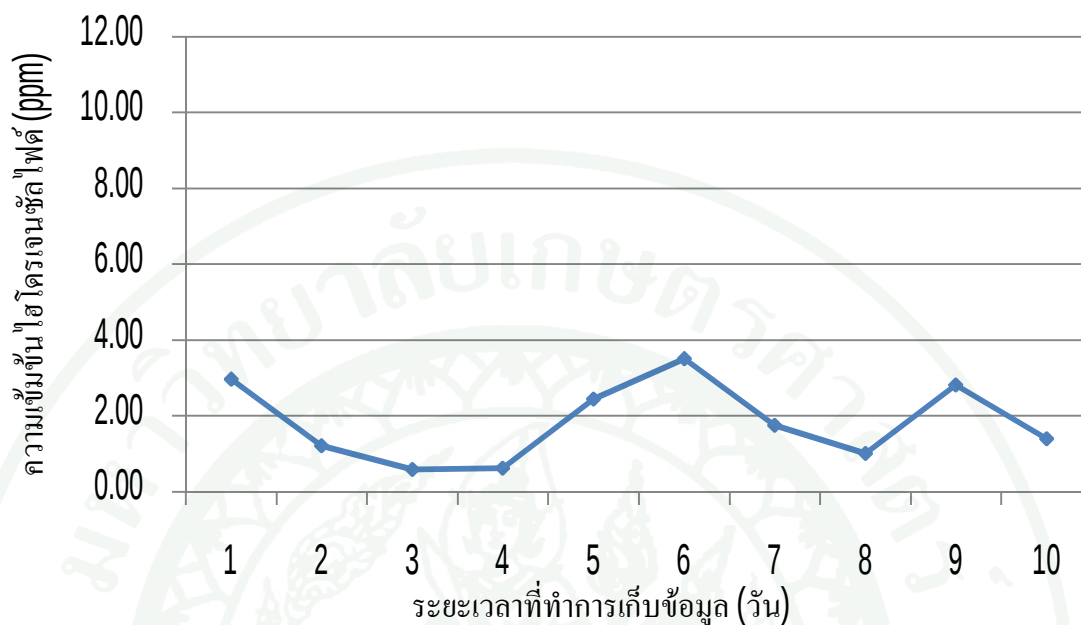


ภาพที่ 29 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างที่ 1

2.1.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเตวดา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1 นำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มลดลงจนมีค่าต่ำสุดในวันที่ 3 ของการศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.59 ppm หลังจากนั้นแนวโน้มสูงขึ้น และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมี

ความเข้มข้นเท่ากับ 3.51 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงอีกครั้ง เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 1.84 ppm คิดเป็น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 2.56 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 30

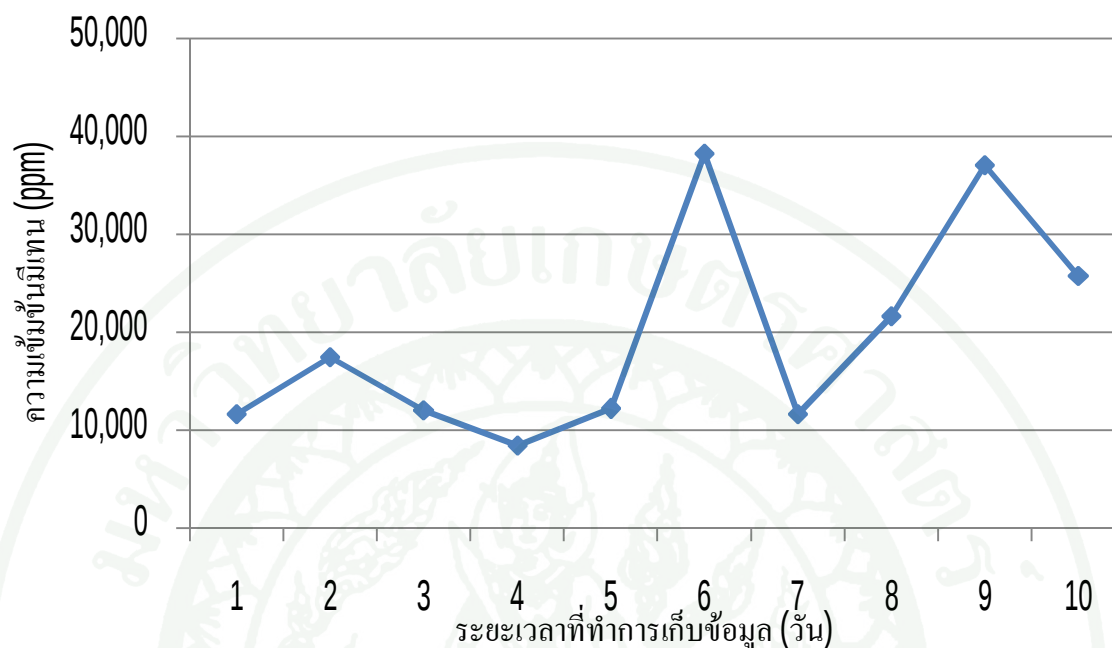


ภาพที่ 30 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอน
จุดเก็บตัวอย่างที่ 1

2.2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2

2.2.1 ก๊าซมีเทน

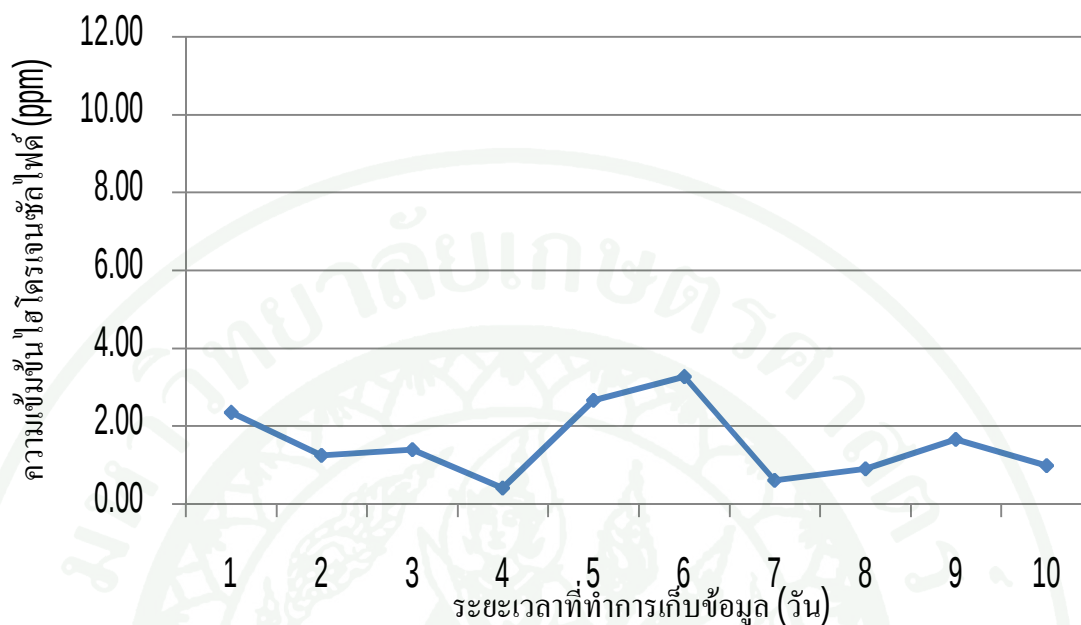
จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเตา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 30,369 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลง และมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 8 และ 9 ของการศึกษา เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 19,597 ppm คิดเป็น 12.82 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 12,824 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างที่ 2

2.2.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเตา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2 นำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มลดลงจนมีค่าต่ำสุดในวันที่ 4 ของการศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.42 ppm หลังจากนั้นแนวโน้มสูงขึ้น และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 3.28 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงอีกครั้ง เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 1.56 ppm คิดเป็น 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 2.17 มิลลิกรัมต่อดูบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 32

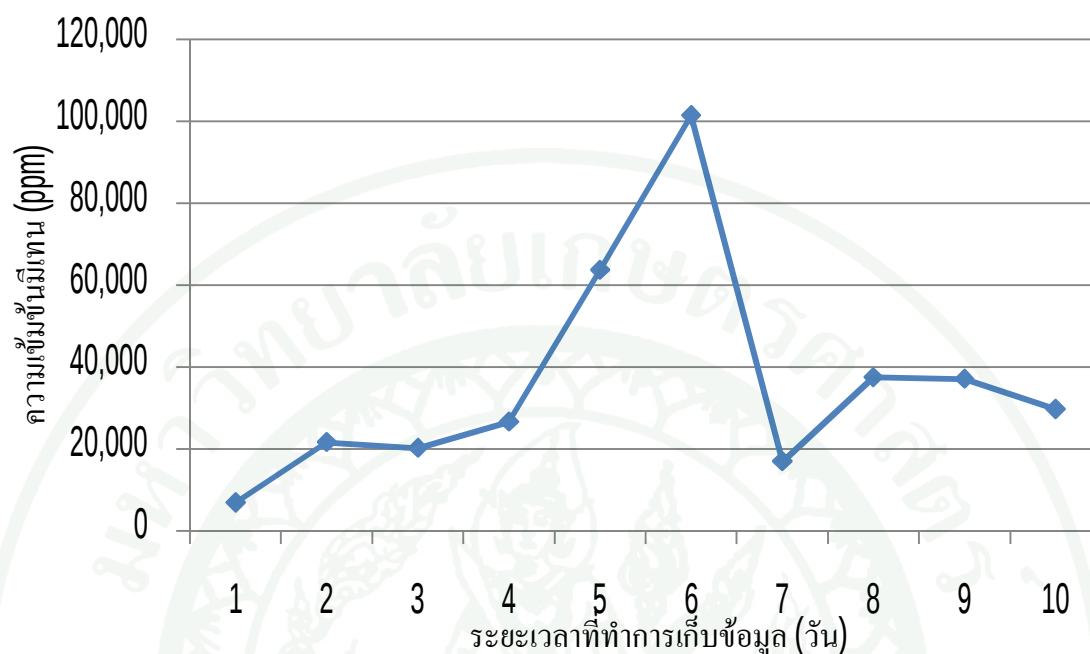


ภาพที่ 32 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอน
จุดเก็บตัวอย่างที่ 2

2.3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 3

2.3.1 ก๊าซมีเทน

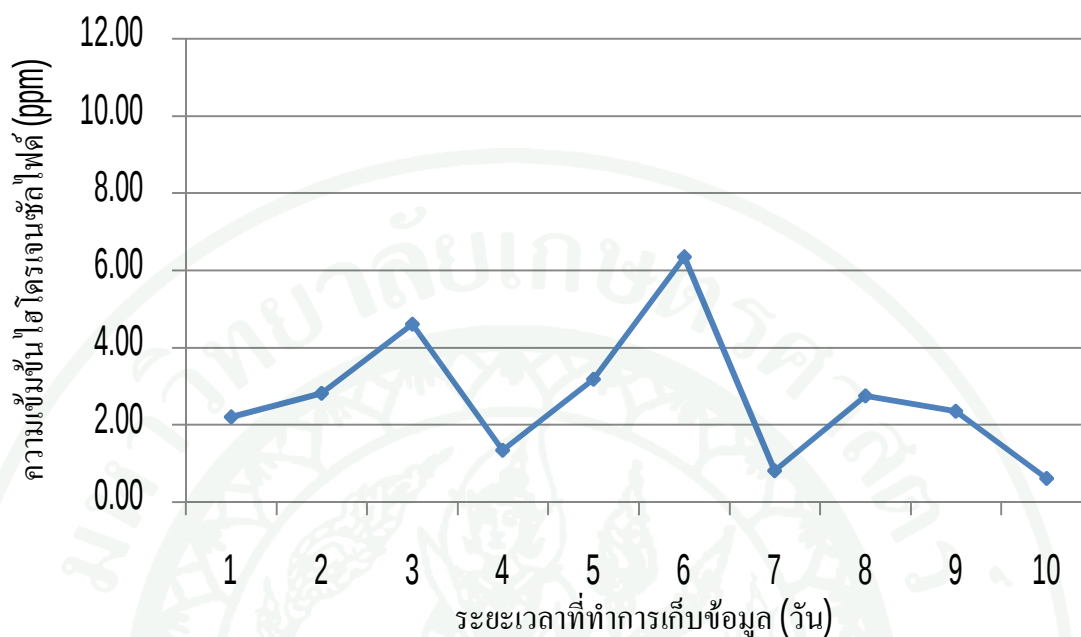
จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเทวดา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3 พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 101,394 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าความเข้มข้นการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำสุดในวันที่ 1 ของการศึกษา มีค่าเท่ากับ 6,921 ppm เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 36,183 ppm คิดเป็น 23.68 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 23,678 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนที่เก็บจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 3

2.3.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเตวดา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3 นำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการศึกษา จากนั้นมีค่าลดลงในวันที่ 4 ของการศึกษา และมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกครั้ง และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 6.35 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงอีกครั้ง เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 2.71 ppm คิดเป็น 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 3.76 มิลลิกรัมต่อดูบาศก์เมตรดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอน
จุดเก็บตัวอย่างที่ 3

2.4 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4

2.4.1 ก๊าซมีเทน

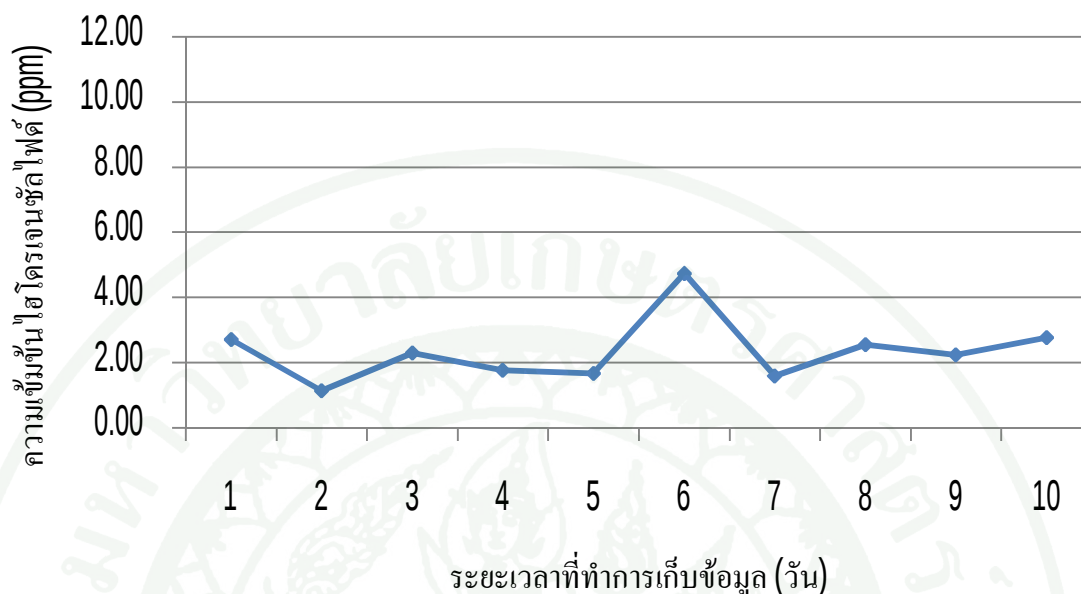
จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเทวดา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 4 พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 24,399 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลง โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 1 ของการศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 3,922 ppm เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 10,107 ppm คิดเป็น 6.64 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 6,614 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอน
จุดเก็บตัวอย่างที่ 4

2.4.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นระยะเวลา 10 วัน จากตะกอนในคลองทรงเทวดา ณ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 3 นำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า การปลดปล่อย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 การศึกษา โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 4.74 ppm จากนั้นความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ตรวจวัด ได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเฉลี่ย พบว่ามีค่า 2.35 ppm คิดเป็น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 3.27 มิลลิกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 36



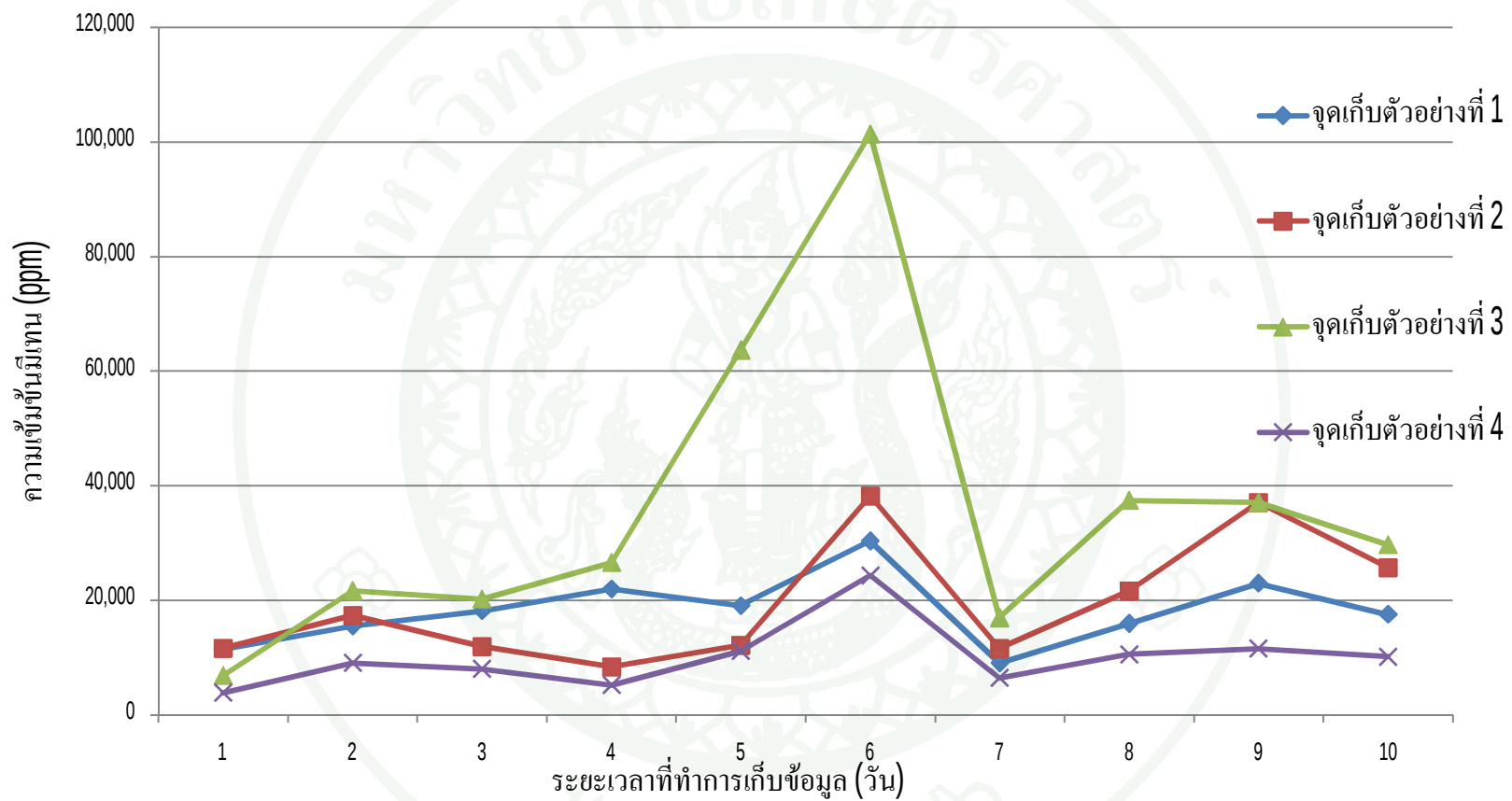
ภาพที่ 36 แผนภาพแสดงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างที่ 4

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์จากตัวอย่างตะกอนจากทุกจุดเก็บตัวอย่าง ดังภาพที่ 37 และ 38 พบว่าทุกจุดเก็บตัวอย่างมีแนวโน้มคล้ายกัน กล่าวคือ มีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 ของการศึกษา จากนั้นมีแนวโน้มลดลง แล้วเพิ่มขึ้นใหม่อีกครั้ง ในช่วงท้ายของการศึกษา เนื่องมาจาก แบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียกลุ่ม *sulfur reducing* ต่างก็เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ในสภาวะไร้ออกซิเจน และการที่ก๊าซทั้งสองชนิดปรากฏขึ้นในวันที่ 6 ของการศึกษาเช่นเดียวกัน สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักการของ Redox potential (Pepper *et al.*, 2006) ถึงแม้ว่าตาม Redox potential การออกซิเดชันของสารอินทรีย์ควรเกิดการย่อยสลายซัลเฟต ก่อนการเกิดก๊าซมีเทน แต่ในความเป็นจริงแล้วถือว่าความแตกต่างด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้ง 2 กระบวนการนี้พบว่าแทบจะเกิดพร้อมกัน (Guisasola *et al.*, 2008)

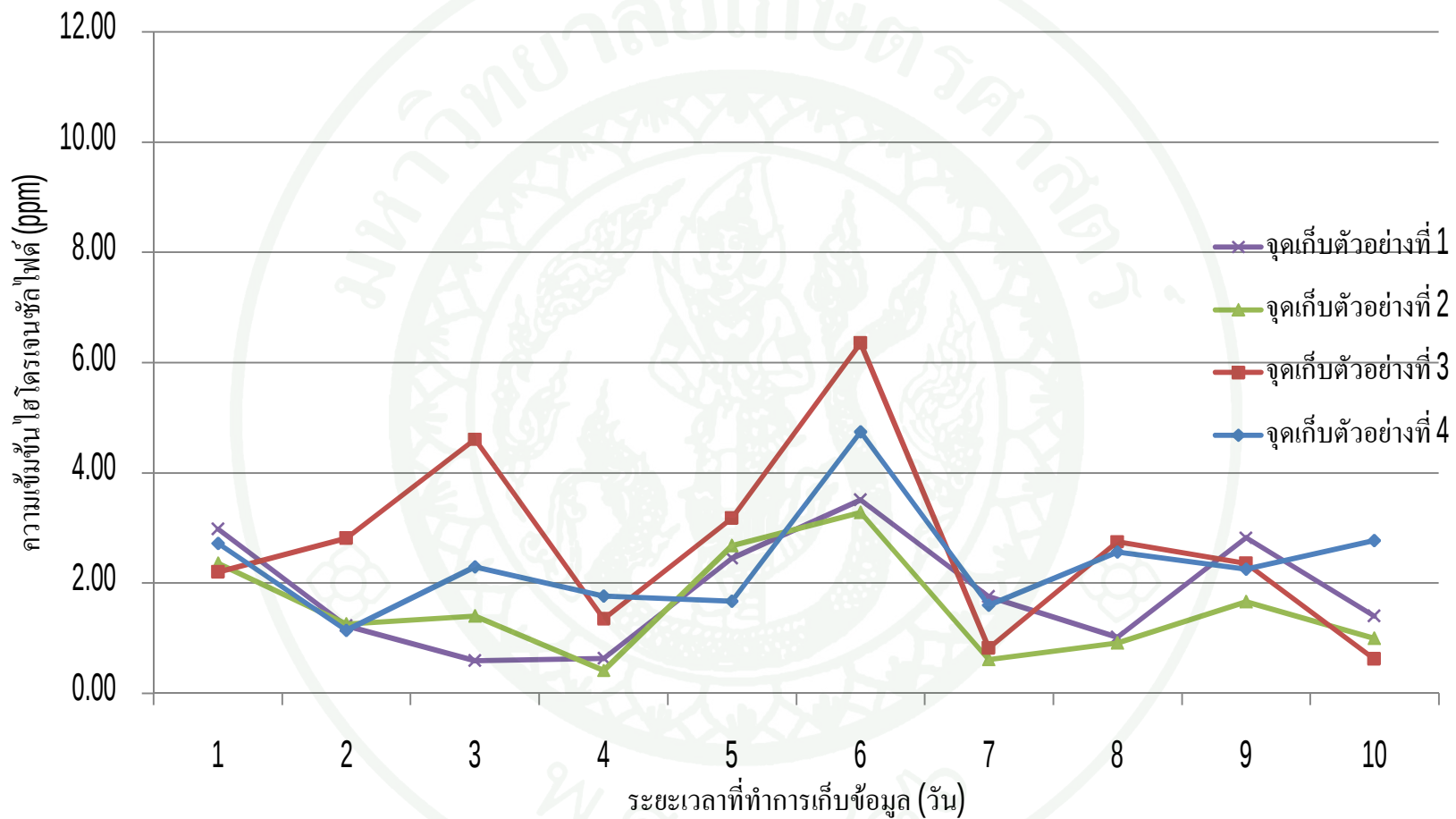
เมื่อนำความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จากตะกอนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดมาคำนวณอัตราการปลดปล่อยของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 12 ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 เป็นจุดเก็บตัวอย่างที่มีความกว้างของคลองแคบที่สุดส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของน้ำบริเวณดังกล่าวตลอดเวลา อีกทั้งยังมีโรงประกอบอาหารตั้งอยู่ใกล้เคียงส่งผลให้เกิดการนำเข้าของอินทรีย์สารสดใหม่ เข้าสู่จุดเก็บตัวอย่างตลอดเวลาจึงทำให้จุดเก็บตัวอย่างดังกล่าวมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซสูงสุด สอดคล้องกับ Kelly และ Chynoweth (1981) และ Saarijarvi และ Lappalainen (2002) ที่กล่าวว่า ปัจจัยที่ควบคุมการเกิดก๊าซมีเทนจากตะกอนคือ อุณหภูมิและการนำเข้าของอินทรีย์สารสดใหม่ (Input of Fresh Organic Matter)

ตารางที่ 12 อัตราการปลดปล่อยต่อน้ำหนักตะกอน

จุดเก็บตัวอย่าง	อัตราการปลดปล่อย	
	ก๊าซมีเทน ($\text{kg CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ ตะกอน y}^{-1}$)	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($\text{g H}_2\text{S kg}^{-1} \text{ ตะกอน y}^{-1}$)
1	1.37	0.26
2	1.34	0.28
3	7.69	0.69
4	1.52	0.24
เฉลี่ย	2.98	0.37



ภาพที่ 37 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด



ภาพที่ 38 ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. อัตราการปลดปล่อยและการกระจายตัวตามแนวดิ่ง

1.1 ก๊าซมีเทน

เนื่องจากก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน มักพบในตะกอนของแหล่งน้ำในทะเล และแหล่งน้ำจืด ตะกอนแหล่งน้ำทั้ง ตะกอนดิน จากท่าเหมือง และดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ในลำไส้ใหญ่ของสัตว์และอุจจาระ หรืออาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนจะอาศัยบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนและไม่จำเป็นต้องใช้สารอาหารเพิ่มเติมในการเจริญเติบโต ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีค่าสูงกว่าระดับอื่นๆ มีอัตราการปลดปล่อยเฉลี่ยตลอดทั้งลำคลองที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีค่า 0.397 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี และที่ระดับผิวน้ำมีค่า 0.235 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี และสามารถสรุปผลการศึกษาได้ตามลักษณะของตัวกลางในการเคลื่อนที่ของก๊าซได้ดังนี้

1.1.1 ระดับตะกอนท้องน้ำ ถึง ระดับผิวน้ำ

ระดับดังกล่าวตัวกลางการเคลื่อนที่ของก๊าซคือน้ำ ที่ระดับตะกอนท้องน้ำพบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าระหว่าง 103.38 ถึง 131.35 ppm โดยจุดที่มีค่าต่ำที่สุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีค่าสูงสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ที่ระดับผิวน้ำพบว่า มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 58.90 ถึง 94.57 ppm จุดที่มีค่าต่ำที่สุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีค่าสูงสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่มีระดับน้ำต่ำสุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.3559 ถึง 0.7197 ppm ต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5633 ppm ต่อเซนติเมตร จุดที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1

1.1.2 ระดับผิวน้ำ ถึง ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร

ระดับนี้มีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการเคลื่อนที่ของก๊าซจากตัวกลางน้ำสู่ตัวกลางอากาศที่ระดับผิวน้ำพบว่า มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 58.90 ถึง 94.57 ppm จุดที่มีค่าต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 8.09 ถึง 13.48 ppm โดยจุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 1.6934 ถึง 2.6795 ppm ต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.1556 ppm ต่อเซนติเมตร จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง ระหว่างระดับผิวน้ำถึงระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรมีค่าสูงสุดเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการเปลี่ยนตัวกลางในการแพร่ของ ก๊าซ จากตัวกลางน้ำสู่ตัวกลางที่เป็นอากาศ

1.1.3 ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ถึง ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร และ ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร

ระดับนี้ตัวกลางการเคลื่อนที่ของก๊าซคือบรรยากาศ ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 8.09 ถึง 13.48 ppm จุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ที่ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 6.88 ถึง 8.44 ppm จุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ที่ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 5.35 ถึง 7.56 ppm จุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.0043 ถึง 0.0291 ppm ต่อเซนติเมตร สำหรับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ถึง ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.0025 ถึง 0.0087 ppm ต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

ตามระดับความสูงทั้งสองระดับ เท่ากับ 0.0120 ppm ต่อเซนติเมตร สำหรับระดับความสูงระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึง ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามระดับความสูงทั้งสองระดับ เท่ากับ 0.0120 ppm ต่อเซนติเมตร พบว่าเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงของตัวกลางบรรยากาศมีค่าต่ำกว่าตัวกลางน้ำเนื่องจาก มีหลายปัจจัยที่ส่งผล ไม่ว่าจะเป็น ทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น

1.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเช่นเดียวกับก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Sulfate Reducing ดังนั้นการพบความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับตะกอนท้องน้ำมีค่าสูงกว่าที่ระดับอื่นๆ เช่นเดียวกับก๊าซมีเทน มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยตลอดทั้งลำคลอง เท่ากับ 2.402 และ 1.492 กรัมต่อตารางเมตรต่อปีที่ระดับตะกอนท้องน้ำและระดับผิวน้ำตามลำดับ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ตามลักษณะของตัวกลางในการเคลื่อนที่ของก๊าซได้ดังนี้

1.2.1 ระดับตะกอนท้องน้ำ ถึง ระดับผิวน้ำ

ระดับดังกล่าวตัวกลางการเคลื่อนที่ของก๊าซคือน้ำ ที่ระดับตะกอนท้องน้ำพบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าระหว่าง 1.73 ถึง 2.86 ppm โดยจุดที่มีค่าต่ำที่สุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีค่าสูงสุดคือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ที่ระดับผิวน้ำพบว่า มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อยู่ระหว่าง 1.47 ถึง 2.57 ppm จุดที่มีค่าต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.0021 ถึง 0.0095 ppm ต่อเซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0049 ppm ต่อเซนติเมตร จุดที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1

1.2.2 ระดับผิวน้ำ ถึง ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร

ระดับนี้มีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการเคลื่อนที่ของก๊าซจากตัวกลางน้ำสู่ตัวกลางอากาศ ที่ระดับผิวน้ำพบว่า มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 1.47 ถึง 2.57 ppm จุดที่มีค่าต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อยู่ระหว่าง 1.36 ถึง 1.54 ppm โดยจุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และ 3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.0021 ถึง 0.0320 ppm ต่อเซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0216 ppm ต่อเซนติเมตร จุดที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงสูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง ระหว่างระดับผิวน้ำถึงระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตรของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าสูงสุดเช่นเดียวกับก๊าซมีเทน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการเปลี่ยนตัวกลางในการแพร่ของ ก๊าซจากตัวกลางน้ำสู่ตัวกลางที่เป็นอากาศ

1.2.3 ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ถึง ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร และระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร

ระดับนี้ตัวกลางการเคลื่อนที่ของก๊าซคือบรรยากาศ ระดับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 1.36 ถึง 1.54 ppm จุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีความเข้มข้น สูงสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ที่ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 1.27 ถึง 1.43 ppm จุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุดคือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ที่ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 1.01 ถึง 1.29 ppm จุดที่มีความเข้มข้นต่ำสุด คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.0003 ถึง 0.0007 ppm ต่อเซนติเมตร สำหรับความสูงเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ถึง ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูง (Concentration Gradient) อยู่ระหว่าง 0.0006 ถึง 0.0013 ppm ต่อเซนติเมตร มี

ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามระดับความสูงทั้งสองระดับ เท่ากับ 0.0007 ppm ต่อเซนติเมตร สำหรับระดับความสูงระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร ถึง ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร พบว่าเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามช่วงระดับความสูงของตัวกลางบรรยากาศมีค่าต่ำกว่าตัวกลางน้ำเนื่องจาก มีหลายปัจจัยที่ส่งผล ไม่ว่าจะเป็น ทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น เช่นเดียวกับก๊าซมีเทน

2. การปลดปล่อยตามระยะเวลา

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากตะกอน จากทุกจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า การปลดปล่อยมีรูปแบบเดียวกัน กล่าวคือ มีการปลดปล่อยสูงสุดในวันที่ 6 ของการศึกษา เนื่องจาก Redox potential (Pepper et al., 2006) ถึงแม้ว่าตาม Redox Potential การออกซิเดชันของสารอินทรีย์จะเกิดการย่อยสลายซัลเฟตก่อนการเกิดก๊าซมีเทน แต่ในความเป็นจริงแล้วถือว่าความแตกต่างด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้ง 2 กระบวนการนี้พบว่าแทบจะเกิดพร้อมกัน (Guisasola et al., 2008)

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากที่สุด เกิดขึ้นจากตัวอย่างตะกอนจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 โดยมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 101,394 ppm และมีการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 6.35 ppm

การปลดปล่อยเฉลี่ยตลอดการศึกษาทั้ง 10 วันพบว่า จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 18,245 ppm การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 1.84 ppm จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 19,596 ppm การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 1.56 ppm จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 36,183 ppm การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 2.71 ppm และจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 มีการปลดปล่อย ก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 10,106 ppm การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 2.35 ppm โดยมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยทุกจุดเก็บตัวอย่าง เท่ากับ 21,033 ppm และมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย 2.98 กิโลกรัมต่อตะกอน 1 กิโลกรัมต่อปี และมีการปลดปล่อย

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เฉลี่ยทุกจุดเก็บตัวอย่าง 211 ppm อัตราการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เฉลี่ย 0.37 กรัมต่อตะกอน 1 กิโลกรัมต่อปี

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาเป็นการเก็บตัวอย่างเพียงระยะเวลานั้นๆ จึงไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามแนวโค้งอย่างชัดเจนนัก ดังนั้นควรมีการศึกษาการกระจายตัวของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามแนวโค้งเป็นฤดูกาล หรือทำการศึกษาตลอดทั้งปี เพื่อให้เห็นค่าการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และการศึกษาเรื่องการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์จากตะกอน ควรมีการศึกษาในพื้นที่แบบ On-Site เนื่องจากมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายประการที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยซึ่งการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่สามารถจำลองปัจจัยต่างๆเหล่านั้นขึ้นมาได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ..

กัณทริย์ ศรีพงศ์พันธุ์. 2540. มลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, นครปฐม.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ธวัชชัย จงวุฒิชัย. 2544. อัตราการปลดปล่อยแก๊สมีเทนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันฉกา ก้วยเจริญพานิชก์. 2547. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ความลึกต่างระดับในระบบบำบัดน้ำเสีย เทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุบัณฑิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุรัตน์ บัวเลิศ, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์ และ กิตติชัย ดวงมัลย์. 2551. รายงานการวิจัยโครงการลักษณะของชั้นบรรยากาศและผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ พิวนิล. 2541. การศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักขยะเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำพน กันธิยะ. 2540. การควบคุมการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยวิธีจุลชีววิทยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA, AWWA and WPCF. 2005. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 21th ed.. America Public Health Association, Washington, DC.

Atkins, P.F. 1968. **Water pollution by Domestic Wastes**. FWPCA Training Activity No.WP.SUR. 2 sd.8.68, Washington D.C.

Azad, M.D., Ohira, S.I., Oda, M. and K. Toda. 2005. On-site measurements of hydrogen sulfide and sulfur dioxide emissions from tidal flat sediments of Ariake Sea, Japan. **Atmospheric Environment**. 39(33) : 6077-6087.

Azad, M.D., Ohira, S.I., Oda, M. and K. Toda. 2005. On-site measurements of hydrogen sulfide and sulfur dioxide emissions from tidal flat sediments of Ariake Sea, Japan. **Atmospheric Environment**. 39(33) : 6077-6087. Cited Stanier, R.Y., Doudoroff, M. and E.A. Adelberg. 1970. **The microbial world**, Prentice-Hall, Inc., NJ.

Bitton, G. 1999. **Wastewater Microbiology**. 2sd (ed.). Wiley-Liss, New York.

Bitton, G. 1999. **Wastewater Microbiology**. 2sd (ed.). Wiley-Liss, New York. Cited Rinzema, A. and G. Lettinga. 1988. Anaerobic treatment of sulfate-containing waste water. **Biotreatment Systems**. 3 : 65-109.

- Broad institute. 2002. **Methaneosarcina acetivorans Database**. Available Source:
http://www.broadinstitute.org/annotation/microbes/methanosarcina/results_methano1_figure.html, September 10, 2011.
- Charlson, R.J., Langner, J., and H. Rodhe. 1990. Sulfur aerosol and climate. **Nature** 348 : 22.
- Google map. 2011. **Google Thailand Map**. Available Source:
<http://maps.google.co.th/maps?gcx=w&q=google+map&um=1&ie=UTF-8&sa=N&hl=th&tab=wl>, September 3, 2011.
- Gosteloe, P., S.A. Parsons and R.M. Stuetz. 2001. Odour Measurements for Sewage Treatment Works. **Water Research**. 35(3) : 579-597.
- Guisasola, A., Haas. D., Keller. J. and Z. Yuan. 2008. Methane Formation in Sewer System. **Water Research** 42: 1421-1430.
- Hammer, D.A. and R.K. Bastian. 1989. **Wetland Ecosystems**: Natural water purifiers, pp. 5-19. In D.A. Hammer (ed.). **Constructed Wetlands for Wastewater treatment**. Lewis Publishers, Inc., Michigan.
- Huttunen, J.T., K.M. Lappalainen, E. Saarijärvi, T. Vaisanen and P.J. Martikainen. 2001. A novel sediment gas sampler and a subsurface gas collector used for measurement of ebullition of methane and carbon dioxide from a eutrophied lake. **The Science of the Total Environment** 266 (2001): 153-158.

- Huttunen, J.T., J. Alm, E. Saarijärvi, K.M. Lappalainen, J. Silvola and Pertti J. Martikainen. 2003. Contribution of winter to the annual CH₄ emission from a eutrophied boreal lake. **Chemosphere** 50 (2003): 247–250.
- Kelly, C.A. and D.P. Chynoweth. 1981. The Contributions of Temperation and of the Input of Organic Matter to Controlling Rates of Sediment Methanogenesis. **Oceanogr.** 26: 891-897.
- Le Mer J. and P. Roger. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. **European Journal of Soil Biology** 37: 25-50.
- Maier, M.R., L.I. Pepper and C.P. Gerba. 2009. **Environmental Microbiology**. Academic Press. San Diego.
- Metcelf, R.L. and I.C. Eddy. 1991. **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse**, 3rd ed.. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Network Science Corporation. 2010. **Common Amino Acids and Their Codons**. Available Source: <http://www.netsci.org/Science/Bioinform/aminoacids.html>, September 3, 2011.
- Onkal-Engin, G., I. Demir and S. N. Engin. 2005. Determination of the Relationship between sewage odour and BOD by neural networks. **Environmental Modelling & Software**. 20(7) : 843-850.

- Orlich, J. 1990. **Methane Emissions from Landfill Sites and Wastewater Lagoons**. Paper Present at the International Workshop on Methane Emissions from Natural Gas System, Coal Mining and Waste Management System, Japan Environment Agency and the U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Parvinen P. and L.H.J. Lajunen. 1994. Determination of sulfide as hydrogen sulfide in water and sludge samples by gas phase molecular. **Atomic Spectros** 15:83-86.
- Pepper, I.L., C.P. Gerba and M.L. Brusseau. 2006. **Environmental and Pollution Science**. Academic Press, San Diego.
- Ras, M.S., F. Borrell and R.M. Marcé. 2008. Determination of Volatile Organic Sulfur Compounds in the Air at Sewage Management Areas by Thermal Desorption and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. **Talanta** 74 : 562-569.
- Reese, B.K., M.A. Anderson and C. Amrhein. 2008. Hydrogen sulfide production and volatilization in a polymictic eutrophic saline lake, Salton Sea, California. **Science of the total environment** 406 : 205-218.
- Rolston, D.E.. 1986. **Method of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Method**. 2nd Ed. American Society of Agronomy Inc., Wisconsin.
- Saarijarvi, E. and K.M. Lappalainen. 2002. Flotation-like Gas Ebullition As a Mechanism for Sediment Resuspension. **Verh.** 27: 4093-4096.

Seiler, W.. 1990. The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystem. **Air Pollution Control Association** 139: 158-203.

Seton Hall University. n.d.. **Molecular Models**. Available Source:
<http://pirate.shu.edu/~rawncarr/molmodel/molmodels.htm>, September 17, 2011.

Slooff, W., PFH. Bont, JA. Janus and JPM. Ros. 1991. **Exploratory report, hydrogen sulphide**. National Institute of Public Health and Environmental Protection (Report No. RIVM710401011;PB92209105)

Tebbutt, T.H.YI. 1983. Characteristics of water and wastewater. In PRINCIPLES OF WATERQUALITY CONTROL, 3rd. ed. **Pergamon Press**, Sydney: 6-18.

Thorneloe, S.A. 1993. **Methane Emission from Wastewater Treatment. Proceeding in International IPCC Workshop on Methane and Nitrousoxide**. Amersfoort, The Netherlands.

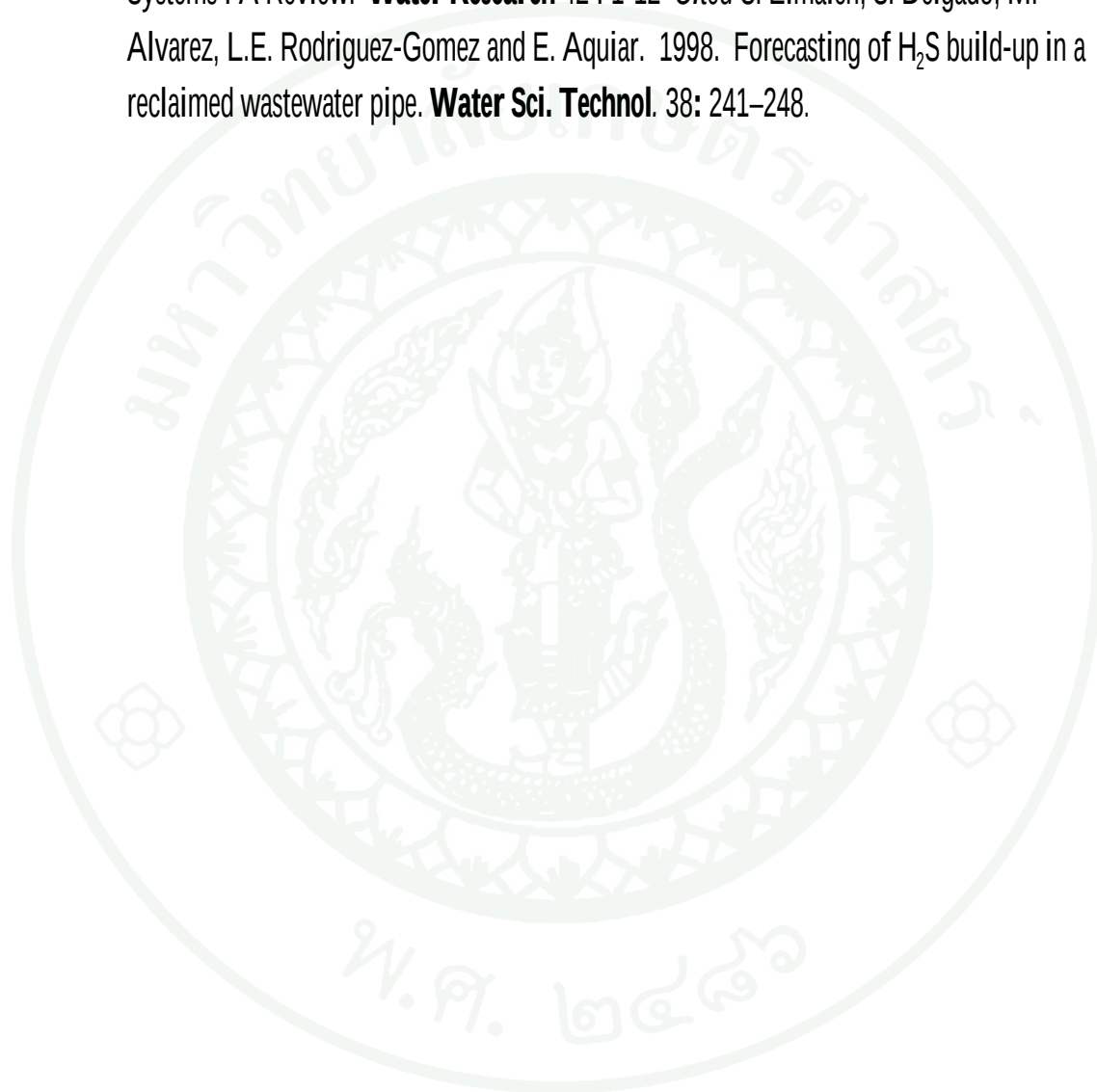
USEPA, 2001. **Methods for Collection, Storage, and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual**. Office of Water. Available Source:
<http://epa.gov/waterscience/cs/library/collection.html>, July 20,2010.

USEPA, 2010. **Greenhouse Gas Properties**. Methane. Available Source:
<http://epa.gov/methane/scientific.html>, September 27,2011.

WEF and ASCE. 1995. **Odor Control in Wastewater Treatment Plants**. Water Environment Federation, Alexandria, Virginia.

- World Health Organization. 2003. **Hydrogen Sulfide :Human Health Aspects**. Concise International Chemical Assessment Document 53. Available Source: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad53.pdf>, March 27, 2010. *Cited* P. Parvinen and L.H.J. Lajunen. 1994. Determination of sulfide as hydrogen sulfide in water and sludge samples by gas phase molecular AS.. **Atomic Spectroscopy** 15 : 83–86.
- Yavitt, J.B.. 1992. Methane, biogeochemical cycle. **Encyclopedia of Earth System Science** 3. Academic Press, San Diego.
- Zhang, L., P.D. Schryver, B.D. Gusseme, W.D. Muijnck, N. Boon and W. Verstraete. 2008. Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulfide Emission Control in Sewer Systems : A Review. **Water Research** 42 : 1-12
- Zhang, L., P.D. Schryver, B.D. Gusseme, W.D. Muijnck, N. Boon and W. Verstraete. 2008. Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulfide Emission Control in Sewer Systems : A Review. **Water Research** 42 : 1-12 *Cited* A.K. Parande, P.L. Ramsamy, S. Ethirajan, C.R.K. Roa and N. Palanisamy. 2006. Deterioration of Reinforced Concrete in Sewer Environments. **Proc. Inst. Civ. Eng-Municipal Eng.** 159 (1) :11-20
- Zhang, L., P.D. Schryver, B.D. Gusseme, W.D. Muijnck, N. Boon and W. Verstraete. 2008. Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulfide Emission Control in Sewer Systems : A Review. **Water Research** 42 : 1-12 *Cited* C. Yongsiri, J. Vollertsen and T. Hvitved-Jacobsen. 2004. Effect of temperature on air–water transfer of hydrogen sulfide. **J. Environ. Eng.** 130: 104–109

- Zhang, L., P.D. Schryver, B.D. Gusseme, W.D. Muynck, N. Boon and W. Verstraete. 2008. Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulfide Emission Control in Sewer Systems : A Review. **Water Research** 42 : 1-12 Cited S. Elmaleh, S. Delgado, M. Alvarez, L.E. Rodriguez-Gomez and E. Aquiar. 1998. Forecasting of H₂S build-up in a reclaimed wastewater pipe. **Water Sci. Technol.** 38: 241–248.







ภาคผนวก ก

ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามแนวระดับ

ตารางผนวกที่ ก1 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (ppm) ตามแนวระดับ ณ จุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด โดย
ทำการเก็บตัวอย่าง วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2554

ความเข้มข้นก๊าซมีเทน (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
ระดับผิวดิน				
ทดสอบครั้งที่ 1	113.74	121.85	129.96	101.12
ทดสอบครั้งที่ 2	125.35	126.47	133.98	105.02
ทดสอบครั้งที่ 3	120.32	123.58	130.11	104.01
เฉลี่ย	119.80	123.97	131.35	103.38
ระดับผิวน้ำ				
ทดสอบครั้งที่ 1	99.79	74.42	77.76	59.98
ทดสอบครั้งที่ 2	94.15	71.34	81.84	58.94
ทดสอบครั้งที่ 3	89.78	71.76	82.58	57.78
เฉลี่ย	94.57	72.51	80.73	58.90
ระดับเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร				
ทดสอบครั้งที่ 1	9.98	11.59	14.97	7.82
ทดสอบครั้งที่ 2	8.76	13.63	13.44	8.43
ทดสอบครั้งที่ 3	8.83	11.61	12.04	8.01
เฉลี่ย	9.19	12.28	13.48	8.09
ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร				
ทดสอบครั้งที่ 1	6.55	7.06	7.38	9.22
ทดสอบครั้งที่ 2	6.67	9.32	7.20	6.79
ทดสอบครั้งที่ 3	7.43	8.94	7.02	4.94
เฉลี่ย	6.88	8.44	7.20	6.98

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ความเข้มข้นก๊าซมีเทน (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร				
ทดสอบครั้งที่ 1	6.42	6.95	6.86	4.90
ทดสอบครั้งที่ 2	6.33	7.66	6.82	5.02
ทดสอบครั้งที่ 3	6.37	8.08	7.11	6.13
เฉลี่ย	6.37	7.56	6.93	5.35

ตารางผนวกที่ ก2 ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) ตามแนวระดับ ณ จุดเก็บตัวอย่าง
4 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่าง วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2554

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
ระดับผิวดิน				
ทดสอบครั้งที่ 1	2.74	2.77	2.98	1.86
ทดสอบครั้งที่ 2	2.54	2.58	2.75	1.70
ทดสอบครั้งที่ 3	2.46	2.55	2.84	1.64
เฉลี่ย	2.58	2.63	2.86	1.73
ระดับผิวน้ำ				
ทดสอบครั้งที่ 1	2.06	2.28	2.38	1.47
ทดสอบครั้งที่ 2	2.34	2.18	2.54	1.44
ทดสอบครั้งที่ 3	2.15	2.39	2.58	1.50
เฉลี่ย	2.18	2.28	2.50	1.47
ระดับเหนือผิวน้ำ 30 เซนติเมตร				
ทดสอบครั้งที่ 1	1.54	1.31	1.61	1.39
ทดสอบครั้งที่ 2	1.08	1.72	1.50	1.41
ทดสอบครั้งที่ 3	1.47	1.60	1.52	1.40
เฉลี่ย	1.36	1.54	1.54	1.40
ระดับเหนือผิวดิน 150 เซนติเมตร				
ทดสอบครั้งที่ 1	1.04	1.31	1.37	1.32
ทดสอบครั้งที่ 2	1.32	1.33	1.50	1.24
ทดสอบครั้งที่ 3	1.47	1.43	1.41	1.26
เฉลี่ย	1.28	1.36	1.43	1.27

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
ระดับเหนือผิวดิน 350 เซนติเมตร				
ทดสอบครั้งที่ 1	1.23	1.24	1.18	1.00
ทดสอบครั้งที่ 2	1.13	1.09	1.39	0.97
ทดสอบครั้งที่ 3	1.11	1.27	1.29	1.07
เฉลี่ย	1.16	1.20	1.29	1.01



ภาคผนวก ข

ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นตามระยะเวลา

ตารางผนวกที่ ข1 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (ppm) ตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด โดย
ทำการเก็บตัวอย่างระหว่าง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 3 มีนาคม 2554
ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการกรมควบคุมโรค

ความเข้มข้นก๊าซมีเทน (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
วันที่ 1				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	11,571	11,630	6,903	3,901
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	11,554	11,609	6,928	3,944
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	11,562	11,614	6,931	3,921
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	11,562	11,617	6,921	3,922
วันที่ 2				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	15,529	17,442	21,659	9,157
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	15,544	17,408	21,683	9,153
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	15,517	17,416	21,677	9,156
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	15,530	17,422	21,673	9,155
วันที่ 3				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	18,235	11,983	20,254	8,092
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	18,223	12,001	20,225	8,109
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	18,216	11,986	20,229	8,097
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	18,225	11,990	20,236	8,099
วันที่ 4				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	21,990	8,417	26,651	5,270
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	21,986	8,426	26,625	5,266
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	22,014	8,438	26,641	5,256
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	21,997	8,427	26,639	5,264

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ความเข้มข้นก๊าซมีเทน (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
วันที่ 5				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	19,061	12,167	63,676	11,224
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	19,070	12,196	63,714	11,254
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	19,106	12,184	63,687	11,233
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	19,079	12,182	63,692	11,237
วันที่ 6				
เฉลี่ย	30,369	38,236	101,394	24,399
วันที่ 7				
เฉลี่ย	9,118	11,633	16,979	6,488
วันที่ 8				
เฉลี่ย	15,977	21,641	37,482	10,652
วันที่ 9				
เฉลี่ย	22,995	37,069	37,101	11,633
วันที่ 10				
เฉลี่ย	17,598	25,746	29,716	10,216

ตารางผนวกที่ ๒ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) ตามระยะเวลา จากจุดเก็บตัวอย่าง
4 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่างระหว่าง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 3 มีนาคม
2554 ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการกรมควบคุมโรค

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
วันที่ 1				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	2.89	2.26	2.20	2.93
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	2.92	2.39	2.27	2.79
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	3.12	2.41	2.14	2.45
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	2.98	2.35	2.20	2.72
วันที่ 2				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	1.59	1.08	2.96	0.82
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	1.03	1.39	2.58	1.25
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	1.04	1.27	2.93	1.34
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	1.22	1.25	2.82	1.14
วันที่ 3				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	0.64	1.38	4.52	2.35
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	0.53	1.21	4.80	2.00
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	0.60	1.62	4.50	2.55
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	0.59	1.40	4.61	2.30
วันที่ 4				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	0.54	0.39	1.39	1.86
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	0.75	0.51	1.52	1.66
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	0.61	0.37	1.15	1.79
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	0.63	0.42	1.35	1.77

ตารางผนวกที่ ๒ (ต่อ)

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)	จุดเก็บตัวอย่าง			
	1	2	3	4
วันที่ 5				
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เฉลี่ย	2.25	2.63	2.98	1.44
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เฉลี่ย	2.48	2.80	3.29	1.67
รอบเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เฉลี่ย	2.63	2.61	3.27	1.90
เฉลี่ย 3 รอบเก็บตัวอย่าง	2.45	2.68	3.18	1.67
วันที่ 6				
เฉลี่ย	3.51	3.28	6.35	4.74
วันที่ 7				
เฉลี่ย	1.76	0.61	0.82	1.60
วันที่ 8				
เฉลี่ย	1.02	0.91	2.76	2.56
วันที่ 9				
เฉลี่ย	2.83	1.66	2.36	2.25
วันที่ 10				
เฉลี่ย	1.40	1.00	0.62	2.77

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว ศศิวิมล ตั้งชีวินศิริกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุฬารัตนาวิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี