



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

สาขา

เรื่อง การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่มีกลิ่น จากตะกอนน้ำเสียชุมชน
และตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

Variation of Odor Gas and Its Proportion on Sediments of Domestic Sewage
and Treated Waste Water Sewage

นามผู้วิจัย นางสาวชัชฎาพร มีศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่มีกลิ่น จากตะกอนน้ำเสียชุมชน
และตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

Variation of Odor Gas and Its Proportion on Sediments of Domestic Sewage
and Treated Waste Water Sewage

โดย

นางสาวชัชฎาพร มีศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ชัชฎาพร มีศรี 2555: การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่มีกลิ่น จากตะกอน
น้ำเสียชุมชน และตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. 123 หน้า

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่มีกลิ่น จากตะกอนน้ำเสีย โดยใช้ก๊าซ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทนและแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นชนิดก๊าซหลักในการศึกษา มีพื้นที่
ศึกษาคลองทรงเตา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร เป็นตัวแทนตะกอนจากน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด และ
พื้นที่ศึกษาบ่อกักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมือง จ.สุพรรณบุรี, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแป้ง
มันสำปะหลัง-แป้งมันคัดแปรและแป้งมันแปรรูป บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จ.ราชบุรี, บ่อดกตะกอน,
บ่อบำบัดน้ำเสีย, และระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี เป็นตัวแทน
ตะกอนจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด โดยวิธีเก็บก๊าซจาก Chamber แล้วตรวจวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และ
มีเทนด้วยเครื่อง GC และก๊าซแอมโมเนียด้วยเครื่อง IC ผลการวิเคราะห์พบการเกิดก๊าซทั้ง 3 ชนิดในทุกจุดเก็บ
ตัวอย่าง โดยตะกอนจากคลองทรงเตาพบก๊าซมีเทนในช่วงความเข้มข้นสูงที่สุด (4,576-101,395 ppm) อันดับ 2
คือก๊าซแอมโมเนีย (0-84.89 ppm) และอันดับ 3 คือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (0.62-6.35 ppm) โดยก๊าซทั้ง 3 ชนิดมี
ช่วงความเข้มข้นสูงสุด ณ จุดเก็บที่ 3 ที่มีความกว้างของคลองน้อยที่สุด ส่วนตะกอนที่เป็นตัวแทนของตะกอนจาก
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด พบก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่มีช่วงความเข้มข้นสูงที่สุด (729,404-9,900,837 ppm) รองลงมาคือ
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (58.94-689,050 ppm) ซึ่งเป็นความเข้มข้นของก๊าซจากจุดเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำเสียระบบ
UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลังและอันดับ 3 คือ ก๊าซแอมโมเนีย (0-75.84 ppm) พบช่วงความเข้มข้นสูงสุดใน
จุดเก็บตัวอย่างโรงฆ่าสัตว์ เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ส่วนแนวโน้มของการเกิดก๊าซเทียบกับเวลาพบว่าเกิดความ
เข้มข้นสูงที่สุดเฉลี่ยในวันที่ 6 และ 7 ของทุกจุด ยกเว้นก๊าซมีเทนที่เกิดจากตะกอนระบบบำบัดซึ่งมีแนวโน้มการ
เพิ่มของก๊าซมากขึ้นเรื่อยๆตั้งแต่วันที่ 6 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซแอมโมเนียคือค่า pH และค่า BOD ส่วน
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้แก่ ค่า BOD, ปริมาณ Available sulfate ในตะกอนดินและปริมาณสารประกอบซัลไฟด์
ในน้ำ และก๊าซมีเทนปัจจัยที่ส่งผลคือสัดส่วนเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนดินและค่า BOD สำหรับปัจจัยที่
ส่งผลต่อลำดับการเกิดก๊าซคือค่า Redox potential ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกตัวรีดิวซ์ของแบคทีเรีย

ลายมือชื่อผู้คิด

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Chatchadaporn Meesri 2012: Variation of Odor Gas and Its Proportion on Sediments of Domestic Sewage and Treated Waste Water Sewage. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Surat Bualert, Ph.D. 123 pages.

Variation of gas (ammonia, hydrogen sulfide and methane) and its proportion on waste sewage's sediment were measured on untreated sewage from songthevada canal bangkok noi district, Bangkok. And many point source of sewage from wastewater treatment system i.e. municipal slaughterhouse sewage storage lagoon in suphanburi province, UASB water treatment plant at banpong tapioca flour industrial, sedimentation pond, oxidation pond and mangrove forest in phetchaburi municipal wastewater treatment plant. This sediment was collected from each sites and storage in gas chamber. Variations of gas were analyzed by gas chromatography and ion chromatography. The 3 types of gas was found in all study sites. The maximum range of concentration of methane (4,576-101,395 ppm), ammonia (0-84.89 ppm) and hydrogen sulfide (0.62-6.35 ppm) was found at narrowest of canal. In sediment from untreated sewage, was found maximum range of concentration of methane (729,404-9,900,837 ppm) and hydrogen sulfide (58.94-689,050 ppm) at sediment that collected from tapioca flour industrial UASB plant. And maximum range of concentration of ammonia (0-75.84 ppm) was found from slaughterhouse sediment. The trend of emission concentration compared to the time that showed average of highest concentration on day 6 and day 7 of all study site whereas the emission of methane from the sediment treatment system, which tends to increase the gas increasing from day 6. Ammonia emission was affected by pH and BOD in sediment. Hydrogen sulfide emission was affected by value of available sulfate, BOD and sulfide. Emission of methane was affected by Carbon ratio in sediment and BOD value. Furthermore, the value of redox potential was a factor that affected on sequence of gas emission because that related with selection of electron receptor in bacteria.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำในการกำหนดขอบเขตการวิจัย การเก็บข้อมูลภาคสนาม การปฏิบัติงานร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ และให้คำปรึกษาในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ อธิพล ราศีเกรียงไกร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำแนะนำชี้ทางในการทำวิทยานิพนธ์และช่วยให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิต การปฏิบัติตัวต่อการอยู่ร่วมกันในสังคม ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ไมตรี ดวงสวัสดิ์ กรรมการวิชาการที่ให้คำแนะนำในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทรแก้ว วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความไว้วางใจในการทำงานและอบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมเกียรติ ท้วมแสง ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และขอขอบคุณพี่ๆเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการพิษวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สถานที่วิจัยและความรู้ในการดำเนินการวิจัย

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการเป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่น 32 พี่ๆ รุ่น 31 น้องๆ รุ่น 33 และ 34 ชาวสิ่งแวดล้อม ทุกคนที่ช่วยในการเก็บข้อมูล ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจเป็นอย่างมากตลอดเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวมีศรี ที่ให้คำสอน เป็นกำลังใจเสมอมา และให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ชัชฎาพร มีศรี

ตุลาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	54
อุปกรณ์	54
วิธีการ	62
ผลและวิจารณ์	76
สรุปและข้อเสนอแนะ	105
สรุป	105
ข้อเสนอแนะ	110
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	111
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก ข้อมูลด้านเคมีและกายภาพบางประกอบของน้ำและตะกอนน้ำเสีย	119
ประวัติการศึกษา	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นในน้ำเสียที่ยังไม่ได้บำบัด	8
2	ลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน	10
3	ลักษณะน้ำเสียรวมจากกระบวนการฆ่าสุกรในโรงฆ่าสุกรขนาดเล็ก	18
4	ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	21
5	ส่วนประกอบของรากมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันคัดแปรและแป้งมันแปรรูป	22
6	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจน ค่า redox potential และกลุ่ม จุลินทรีย์เมื่ออยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง	30
7	ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี ตามลำดับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน	31
8	ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงตามช่วง pH 7.0-9.5 และอุณหภูมิ ของน้ำในช่วง 5-30 °C	39
9	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง nitrate reduction ของแบคทีเรีย <i>Desulfovibrio</i> <i>desulfuricans</i> ที่คัดแยกจากดินนาข้าวตามปริมาณซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้น	52
10	ส่วนประกอบก๊าซความเข้มข้นมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย	57
11	ช่วงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย มีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจาก ตะกอนน้ำเสียแยกตามจุดเก็บ	76

ตารางผนวกที่

ก1	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียแยกตามจุดเก็บตัวอย่าง	119
ก2	ปริมาณ nitrogen ammonia, nitrogen nitrate และ nitrogen TKN ใน ตัวอย่างน้ำจําแนกตามแหล่งกําเนิด	119
ก3	ปริมาณสารประกอบ sulfide ในตัวอย่างน้ำจําแนกตามแหล่งกําเนิด	120
ก4	ปริมาณ available sulfate ในดินตะกอนจําแนกตามแหล่งกําเนิด	120
ก5	ปริมาณ carbon, hydrogen และ nitrogen ที่เป็นองค์ประกอบในดิน ตะกอนจําแนกตามแหล่งกําเนิด	121

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนผังการวิจัยการเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่เกิดจากตะกอนน้ำเสีย	5
2 กระบวนการนิเวศกลไกการปรับสมดุลอินทรีย์สารในแหล่งน้ำ	7
3 ลักษณะการไหลของน้ำในระบบบำบัดแบบบ่อ (lagoon treatment)	15
4 แผนผังลักษณะการวางระบบบำบัดแบบบ่อ (lagoon treatment)	16
5 แผนผังการใช้น้ำในการฆ่าและฆ่าเชื้อและสุกรแบบมาตรฐาน	20
6 แผนผังการใช้น้ำในการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน ชนิด native starch	23
7 แผนผังการใช้น้ำในการผลิตแป้งมันดัดแปรชนิด oxidized starch	26
8 แผนผังการใช้น้ำในการผลิตกลูโคส	28
9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ redox potential (pE) ในขอบเขตของความคงตัวของน้ำ ที่พบในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน	32
10 อัตราส่วนของแอมโมเนียมไอออนต่อแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงตามช่วง pH 5.0-13.0	40
11 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วง pH 5.0-11	46
12 เครื่อง gas chromatography hewlett packard model HP 6890 series GC system	54
13 เครื่อง ion chromatography model metrohm intelligent 882	56
14 เครื่องมือเก็บตัวอย่างก๊าซแบบ chamber gas	58
15 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง คลองทรงเทวดา ซอย 23/1 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร	69
16 ลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (ภาพเล็กบนซ้าย) จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 2 (ภาพเล็กบนขวา) จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (ภาพเล็กล่างซ้าย) จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 (ภาพเล็กล่างขวา) คลองทรงเทวดา ซอย 23/1 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
17 จุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ พื้นที่ศึกษาภายในโครงการ ศึกษาวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์ สุพรรณบุรี อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี	70
18 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของบริษัทอุตสาหกรรมเป็้่งมันบ้านโป่ง จำกัดและ ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง	71
19 ลักษณะจุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานเป็้่งมัน สำปะหลัง-เป็้่งมันคั้ดแปรและเป็้่งมันแปรรูป บริษัท อุตสาหกรรม เป็้่งมันบ้านโป่ง (ภาพเล็กด้านขวา)	72
20 จุดเก็บตัวอย่างบ่อดกตะกอนและบ่อฝั้่งที่ 3 ภายในระบบบำบัดแบบบ่อ (lagoon- treatment) โครงการแหลมผักเบี้ยฯ อำเภอ บ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	73
21 จุดเก็บตัวอย่างโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตำบล แหลมผักเบี้ย อำเภอ บ้านแหลม จ.เพชรบุรีและลักษณะจุดเก็บตัวอย่างบ่อดกตะกอน (ภาพเล็กบนซ้าย) บ่อฝั้่ง ที่ 3 (ภาพเล็กบนขวา) แปลงพีชป่าชายเลน (ภาพเล็กล่างซ้าย-ขวา)	75
22 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในรอบ 10 วัน จากตะกอน น้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดคลองทรงเทวดา 1, 2, 3 และ 4	80
23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบ 10 วัน จาก ตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดคลองทรงเทวดา 1, 2, 3 และ 4	83
24 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ ไม่ผ่านการบำบัดคลองทรงเทวดา 1, 2, 3 และ 4	85
25 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในรอบ 10 วัน จากตะกอน น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัด น้ำเสีย UASB โรงงานเป็้่งมันสำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฝั้่งที่ 3 และ ระบบ บำบัดน้ำเสียแปลงพีชป่าชายเลน	89
26 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบ 10 วัน จาก ตะกอน น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, บ่อ ดกตะกอน, บ่อฝั้่งที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพีชป่าชายเลน	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุกเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง	93
28 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในรอบ 10 วัน จากตะกอน น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุกเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฝังที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน	97
29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดา 1, 2, 3 และ 4	98
30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฝังที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน	99
31 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดา 1, 2, 3 และ 4	100
32 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โรงฆ่าสัตว์, บ่อดกตะกอน, บ่อฝังที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน	102
33 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง	102
34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดา 1, 2, 3 และ 4	103
35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับเวลา ในจุกเก็บบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฝังที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน	104

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
BOD	=	Biological Oxygen Demand
°C	=	องศาเซลเซียส
CH ₄	=	ก๊าซมีเทน
cm ³	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
g/L	=	กรัมต่อลิตร
H ₂ S	=	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
L	=	ลิตร
m ³	=	ลูกบาศก์เมตร
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
mm	=	มิลลิเมตร
mL	=	มิลลิลิตร
mL/min	=	มิลลิลิตรต่อนาที
Mpa	=	เมกะปาสคาล
mole/mole	=	โมลต่อโมล
μS/cm	=	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
μL	=	ไมโครลิตร
N	=	โมล
NH ₃	=	ก๊าซแอมโมเนีย
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน
Tg	=	เตตระกรัม

การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่มีกลิ่น จากตะกอนน้ำเสียชุมชน และตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

Variation of Odor Gas and Its Proportion on Sediments of Domestic Sewage and Treated Waste Water Sewage

คำนำ

กิจกรรมการใช้น้ำเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน ปริมาณการใช้น้ำของแต่ละสถานที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และการใช้ประโยชน์พื้นที่ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว น้ำที่ผ่านการใช้งานเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ คลอง ทะเล จะมีกระบวนการในการฟื้นฟูตัวเองให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นได้เอง ที่เรียกว่ากระบวนการ self purification แต่หากพื้นที่รองรับน้ำนั้นได้รับน้ำเสียปริมาณมาก แหล่งน้ำนั้นจะเกิดการเน่าเสีย จากการมีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำมากจนเกิดขอบเขตการฟื้นฟูตัวเอง ทำให้ก่อปัญหาต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและก่อให้เกิดก๊าซที่เป็นพิษและอาจมีกลิ่นเหม็นรบกวนหากแหล่งน้ำนั้นติดกับพื้นที่ในแหล่งชุมชน

การเกิดก๊าซที่เป็นผลพวงของกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในแหล่งรองรับน้ำเสีย โดยการทำงานของแบคทีเรียในน้ำต่อสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งจะเกิดขึ้นในชั้นของตะกอนได้น้ำ โดยพบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซแอมโมเนีย สามารถตรวจพบได้ในแหล่งน้ำเสียเกือบทุกประเภท การศึกษาถึงกระบวนการเกิดก๊าซจำเป็นต้องศึกษาจากต้นเหตุคือแหล่งที่มาของน้ำเสียที่ทำให้การสะสมของตะกอนได้ต้องน้ำมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อกลุ่มแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซจากน้ำเสีย ตลอดจนกลไกการเกิดก๊าซ ดังนั้นชนิดของตะกอนที่มาจากน้ำเสียแหล่งต่างๆ กัน ก็จะทำให้สัดส่วนของก๊าซที่ปล่อยสู่บรรยากาศที่ต่างกัน

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในตะกอนน้ำเสียที่มาจากแหล่งรองรับน้ำเสียประเภทต่างๆ ทั้งที่เป็นแหล่งที่น้ำเสียยังไม่ได้รับการบำบัด แหล่งน้ำเสียจากระบบบำบัดและแหล่งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งกระบวนการเกิดก๊าซจากหลากหลายของชนิดตะกอนน้ำเสียนี้ก็น่าจะแตกต่างกันไปด้วย โดยการทราบถึงกระบวนการเหล่านี้ทำให้เกิดความเข้าใจที่ลุ่มลึกถึงปัญหาและนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการจัดการแหล่งน้ำที่ต้นเหตุและป้องกันชุมชนให้ลดความเสี่ยงจากการได้รับอันตรายด้านสุขภาพ จากก๊าซที่ก่อให้เกิดโทษต่อร่างกายและวางแนวทางการจัดการในอนาคต

วัตถุประสงค์

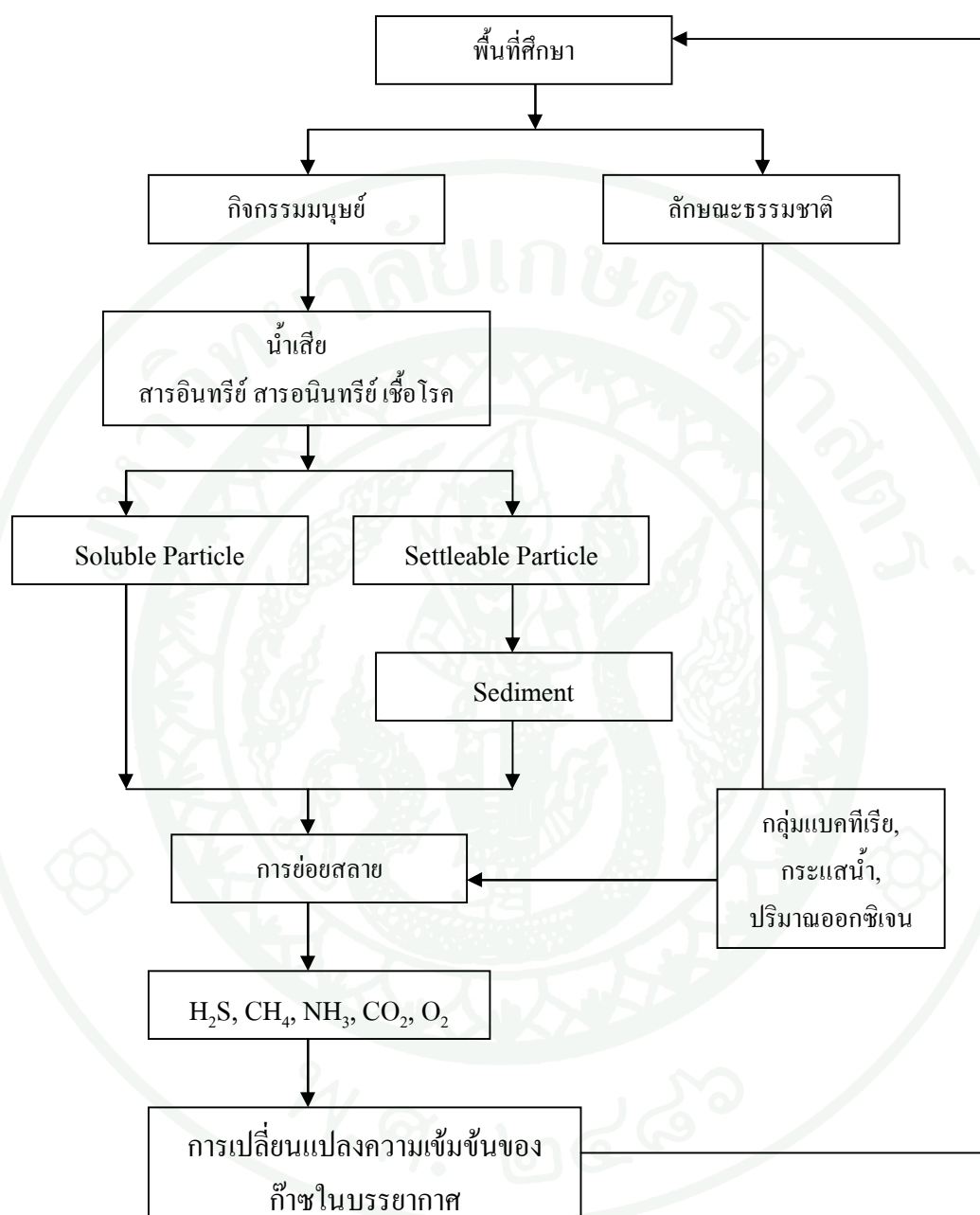
1. วิเคราะห์ชนิดก๊าซมีกลิ่น ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของตะกอนใต้ท้องน้ำคลองทรงเตา
2. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเคมีบางประการของตะกอนใต้ท้องน้ำคลองทรงเตา ที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซมีกลิ่น
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของคลองทรงเตาต่อชนิดของก๊าซที่เกิดขึ้น

ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนใต้ท้องน้ำคลองทรงเตา ซอย 23/1 ถนนจรัลสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร โดยเก็บข้อมูลลักษณะท้องน้ำ ความหนาของตะกอน และทำการเก็บตัวอย่างตะกอนใต้ท้องน้ำเพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ ค่า C:H:N Ratio และปริมาณ available sulfate และ total sulfate ในตะกอน ตามจุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวคลอง
2. ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนใบบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี โรงงานแปรงมันสำปะหลัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี และระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยเก็บข้อมูลลักษณะระบบบำบัด และทำการเก็บตัวอย่างตะกอนใต้ท้องน้ำเพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ ค่า C:H:N Ratio และปริมาณ available sulfate และ total sulfate ในตะกอน
3. ทำการเก็บข้อมูลก๊าซมีกลิ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของตะกอนใต้ท้องน้ำแยกตามจุดเก็บตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อตรวจวิเคราะห์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3)

4. ทำการเก็บข้อมูลทางด้านเคมีและกายภาพบางประการของน้ำ ตามจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 9 จุด โดยทำการวัดอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) และค่าสารอนินทรีย์ในน้ำ อันได้แก่ ปริมาณ nitrogen ammonia, nitrogen nitrate, nitrogen TKN และ sulfide





ภาพที่ 1 แผนผังการวิจัยการเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซที่เกิดจากตะกอนน้ำเสีย

การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

น้ำเสีย (waste water) หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

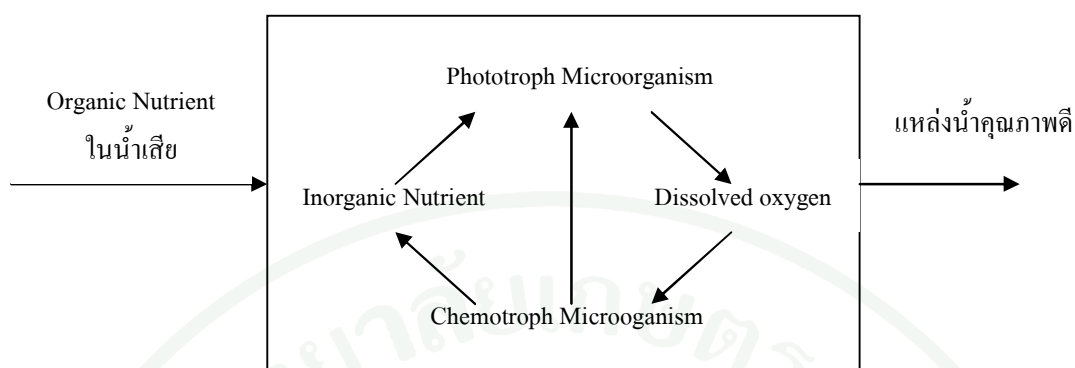
ซึ่งน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกิจกรรมที่เป็นต้นเหตุของการเน่าเสียได้ 3 ประเภท ได้แก่

1.1 น้ำเสียจากชุมชน (domestic wastewater) เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน ตลาดและน้ำล้างผิวถนน

1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) เช่น น้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์

1.3 น้ำเสียจากการเกษตรกรรม (agricultural wastewater) เช่น น้ำปนเปื้อนปุ๋ยหรือยาปราบศัตรูพืชจากการเกษตร

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีคุณลักษณะและสิ่งปนเปื้อนที่แตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณากิจกรรมอันเป็นที่มาของน้ำเสียข้างต้นแล้วพบว่า ล้วนแล้วแต่มาจากกิจกรรมการใช้น้ำของมนุษย์ทั้งสิ้น โดยสิ่งที่ตามมาคือมลพิษในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการปล่อยน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์เกินกว่าขอบเขตการรับได้ของแหล่งน้ำ ทำให้ระดับคุณภาพน้ำลดลง สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้รับผลกระทบระบบนิเวศแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณออกซิเจนในระบบลดลง เกิดก๊าซพิษที่อันตรายต่อสุขภาพหรือมีกลิ่นเหม็นรบกวนผู้อาศัยรอบแหล่งน้ำ



ภาพที่ 2 กระบวนการนิเวศกลไกการปรับสมดุลอินทรีย์สารในแหล่งน้ำ

ผลกระทบเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากสมดุลของธรรมชาติและการหมุนเวียนสารอาหาร (nutrient cycle) ในสิ่งแวดล้อมถูกรบกวน จากภาพที่ 2 หากมีการปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณที่ไม่เกินขอบเขตการฟื้นฟูตัวเอง (self purification) ของธรรมชาติ จุลินทรีย์ที่สร้างอาหารเองได้ (phototroph microorganism) เช่น สาหร่ายต่างๆ จะทำหน้าที่สังเคราะห์แสงและให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้และหายใจโดยใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายสร้างอินทรีย์ให้กลายเป็นสารอนินทรีย์กลับสู่จุลินทรีย์กลุ่ม phototroph อีกครั้ง ทำให้สารอินทรีย์ไม่สะสมในแหล่งน้ำและเกิดการเน่าเสีย แต่หากสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีปริมาณมากๆ การเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์กลุ่ม phototroph มีอัตราเพิ่มขึ้นบดบังแสงแดดและขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ แต่ในขณะเดียวกัน การใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำโดยจุลินทรีย์กลุ่ม aerobic bacteria เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ยังคงดำเนินต่อไปและมีอัตราเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารอินทรีย์ทำให้เกิดการลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดภาวะ anaerobic condition ส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่ม anarebic bacteria ทำหน้าที่ย่อยสลายแทน ผลคือเกิดการเปลี่ยนสีของน้ำเป็นสีดำคล้ำและมีก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเป็นที่น่าสนใจดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นในน้ำเสียที่ยังไม่ได้บำบัด

สารประกอบกลิ่น	สูตรเคมี	ลักษณะของกลิ่น
Amines	CH_3NH_2 , $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	กลิ่นคาวปลา
Ammonia	NH_3	กลิ่นแอมโมเนีย
Diamines	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$, $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	กลิ่นเนื้อเน่า
Hydrogen Sulfide	H_2S	กลิ่นไข่เน่า
Mercaptans (เช่น methyl, ethyl)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{HS}$	กลิ่นผักเน่า
Mercaptans (เช่น T-butyl, crotyl)	CH_3SH , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	กลิ่นสก็งค์
Organic Sulfides	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$, $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	กลิ่นผักเน่า
Skatole	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	กลิ่นอุจจาระ

ที่มา: พัฒนา (2546)

2. น้ำเสียชุมชน

กรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้ให้คำนิยามของคำว่า น้ำเสียชุมชน (domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่างๆ เป็นต้น

ปริมาณน้ำเสีย ที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร

เกษม (2546) ให้คำนิยามของน้ำทิ้งจากชุมชน (domestic waste water) หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น ซึ่งเกิดจากการใช้น้ำสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆ ในชุมชน

เปี่ยมศักดิ์ (2543) กล่าวว่า น้ำเสียรวม (combined wastewater) หมายถึง น้ำโสโครก ซึ่งประกอบด้วย domestic wastewater น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และน้ำล้นผิวถนน (storm surface runoff) ตัวอย่างเช่น น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อระบายน้ำของกรุงเทพมหานคร

2.1 ลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน

สุบัณฑิต (2548) กล่าวว่า น้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียที่ปล่อยจากแหล่งชุมชน บ้านเรือน ที่พักอาศัย ร้านค้า ร้านอาหาร ตลาดและโรงแรม ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น ชำระร่างกาย การประกอบอาหาร การซักผ้าและการขับถ่าย ซึ่งมักประกอบด้วย สารปนเปื้อนส่วนใหญ่ คือ สารอินทรีย์ขนาดต่างๆ (สบู่มากฟอก เศษอาหาร) และเชื้อก่อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยจากบ้านเรือน อาคารคิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำที่ใช้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) โดยมีองค์ประกอบโดยทั่วไปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1. ของแข็งทั้งหมด (total solids)	มก/ล	350	720	1,200
ของแข็งละลายน้ำ (dissolved solids)	มก/ล	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (suspended solids)	มก/ล	100	220	350
2. ปริมาณตะกอนหนัก (settleable solids)	มก/ล	5	10	20
3. ค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand;BOD)	มก/ล	110	220	400
4. ค่าซีโอดี (chemical oxigen demand;COD)	มก/ล	250	500	1,000
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (total as N)	มก/ล	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (organic)	มก/ล	8	15	35
แอมโมเนีย (free ammonia)	มก/ล	12	25	50
ไนไตรท์ (nitrites)	มก/ล	0	0	0
ไนเตรต (nitrates)	มก/ล	0	0	0
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total as P)	มก/ล	4	8	15
สารอินทรีย์ (organic)	มก/ล	1	3	5
สารอนินทรีย์ (inorganic)	มก/ล	3	5	10
7. คลอไรด์ (chloride)	มก/ล	30	50	100
8. ซัลเฟต (sulfate)	มก/ล	20	30	50
9. สภาพด่าง (alkalinity as CaCO ₃)	มก/ล	50	100	200
10. ไขมัน (grease)	มก/ล	50	100	150
11. total coliform	MPN/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2547)

โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียชุมชน เป็นน้ำที่ผ่านกิจกรรมการใช้น้ำของชุมชน ซึ่งองค์ประกอบของน้ำเสียจะแปรผันไปตามกิจกรรมของการใช้น้ำ การจำแนกองค์ประกอบของน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในที่นี้จะแบ่งองค์ประกอบตามประเภทของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีความสำคัญกับสารที่เป็นต้นกำเนิดของก๊าซจากน้ำเสียชุมชน ได้แก่

2.1.1 โปรตีน (protein) และ ไนโตรเจน (nitrogen)

สารประกอบชีวเคมีที่มีองค์ประกอบซับซ้อน โมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจนเช่นเดียวกับกับสารอินทรีย์อื่นๆ แต่มีสัดส่วนของไนโตรเจนถึงร้อยละ 16 และอาจมีซิลเฟอร์ ฟอสฟอรัสและธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลโปรตีนด้วย (พิพัฒน์, 2546) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรตีนเป็นแหล่งที่มาสำคัญของไนโตรเจนในน้ำเสีย

ไนโตรเจนในน้ำเสียอาจอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen), แอมโมเนีย (ammonia), ไนไตรท์ (nitrite), ไนเตรต (nitrate) และก๊าซไนโตรเจน (N_2)

2.1.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วนตามสูตร $C_x(H_2O)_y$ คาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนเป็นในน้ำเสียทั้งในรูปของน้ำตาล (sugar) แป้ง (starches) เซลลูโลส (cellulose) และใยไม้ (wood fiber) น้ำตาลสามารถละลายน้ำได้ดี จึงย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ของแบคทีเรีย และยีสต์ (yeast) ในกรณีที่มีการหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic fermentation) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแป้งนั้นละลายน้ำได้ยากกว่าจึงมีความคงตัวกว่าน้ำตาลแต่ก็สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้โดยจุลินทรีย์ เซลลูโลสมีความคงตัวมากและทนทานต่อการย่อยสลายมากที่สุด

2.1.3 ไขมัน น้ำมันและไขมัน (fats, oils and grease)

น้ำมันและไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol) หรือกลีเซอรอล (glycerol) หรือกลีเซอริน (glycerin) เป็นองค์ประกอบที่มีสะสมอยู่ในพืชและสัตว์ โดยธรรมชาติ ไขมันมีความคงตัวสูงเมื่อถูกปล่อยออกมาจากน้ำเสียจากกิจกรรมของชุมชน เช่น เนย น้ำมันหมู เนยเทียม จะเคลือบอยู่ที่ผิวน้ำเกิดปัญหาย่างยากในการบำบัด โดยมาตรฐานของไขมันในแหล่งน้ำควรมีไม่เกิน 15-20 ppm (พิพัฒน์, 2546)

2.1.4 ซัลเฟอร์ (sulfur)

สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียชุมชนนั้นมาจาก การใช้สารประกอบซัลเฟอร์ ในกิจกรรมการสังเคราะห์โปรตีนของสิ่งมีชีวิต เมื่อโปรตีนถูกย่อยสลายซัลเฟอร์ในโมเลกุลจะถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน ในสภาวะไร้ออกซิเจนเช่นบริเวณตะกอนใต้ท้องน้ำ แหล่งน้ำเสียที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำๆ แม้กระทั่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์แล้วรวมตัวกับไฮโดรเจนกลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์

เมื่อองค์ประกอบของน้ำเสียเหล่านี้ไม่ได้รับการบำบัดหรือถูกปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ภายใต้ชั้นตะกอนใต้น้ำ ทำให้แบคทีเรียเปลี่ยนสารอินทรีย์เหล่านี้ไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ในแหล่งน้ำ เป็นสาเหตุให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่ายเป็นจำนวนมาก (bloom) ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว เกิดภาวะ anaerobic condition เป็นต้นเหตุของการเกิดกลิ่นเหม็นจากน้ำเสีย (Smol, 2008)

2.2 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสิ่งแวดล้อมและแหล่งชุมชน

2.2.1 ผลกระทบด้านสาธารณสุข

ตามตารางที่ 2 ที่กล่าวถึงลักษณะการตรวจพบ coliform bacteria ในน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นตัวแทนของการปนเปื้อนสิ่งขับถ่ายจากร่างกายมนุษย์ ที่สามารถเป็นแหล่งแพร่พันธุ์เชื้อที่ก่อให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) เช่น เชื้อบิด (*Shigella* sp.) เชื้อไทฟอยด์ (*Salmonella typhi*) และอหิวาตกโรค (*Vibrio cholerae*) (เปี่ยมศักดิ์, 2543) ได้มีการรายงานการระบาดของเชื้อ *Cryptosporidium parvum* ที่ก่อให้เกิดโรคจากการแพร่ระบาดทางน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำให้มีผู้ป่วยสูงถึง 403,000 คนในปี ค.ศ.1994 (สุบัณฑิต, 2548)

2.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแหล่งน้ำ

การที่แหล่งน้ำได้รับน้ำเสียชุมชนที่มีอินทรีย์สารมาก ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอาหารและการหายใจทำงานได้มาก ผลคือการลดลงของปริมาณ ออกซิเจนในน้ำ โดยทั่วไปแล้วปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ (dissolved oxygen) ไม่ควรต่ำกว่า 2.0 mg/L เพราะปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ บางชนิดจะมีขีดจำกัดของความทน (limit of tolerance) ในช่วงที่แคบ ส่งผลให้เกิดการตายได้ โดยพิษของค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่ถือว่าปลอดภัยต่อ ปลาทุกชนิดมีค่าอยู่ที่ มากกว่า 5 mg/L

2.2.3 ผลกระทบด้านทัศนียภาพ

น้ำเสียชุมชนมักมีสีดำนอกจากนี้เกิดจากการเกิดสารประกอบโลหะซัลไฟด์ เช่น FeS_2 มาจากสารประกอบซัลเฟตทำปฏิกิริยากับเหล็กในดินตะกอนใต้ดิน และมีความขุ่นสูงเนื่องจาก ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีมาก ทำให้ความสวยงามของแหล่งน้ำนั้นลดลงและอาจเกิด ความเสียหายต่อเศรษฐกิจของชุมชนหากสถานที่นั้นเป็นแหล่งการค้าหรือการท่องเที่ยว อีกทั้งยัง ก่อให้เกิดความรำคาญอันเนื่องมาจากกลิ่นที่เกิดขึ้น

2.3 การบำบัดน้ำเสียจากชุมชน

การแก้ไขปัญหา น้ำเสียจากแหล่งชุมชนนั้น มีจุดประสงค์ที่จะกำจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยมีจุดประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน 2 ประการได้แก่

(1) เพื่อลดปริมาณ biological oxygen demand ในน้ำเสีย

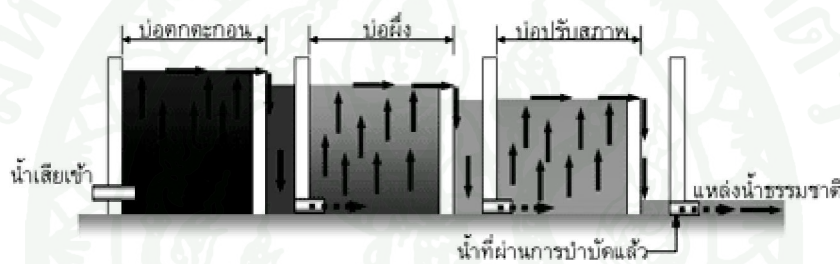
(2) เพื่อลดปริมาณตะกอนที่แขวนลอย (suspended solid) ที่อยู่ในน้ำ เพื่อลดปริมาณของ coliform bacteria ในน้ำ

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นแรก (primary treatment) จะมีปริมาณ coliform bacteria ลดลงประมาณ 50% ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำลดลง 35-65% ค่า BOD ลดลง 25-40% และค่า total nitrogen ลดลง 20-40% เมื่อเข้าสู่ส่วนบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) ปริมาณ coliform bacteria จะลดลงถึง 70-95% ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำลดลง 70-90% ค่า BOD ลดลง 65-95% ค่า total nitrogen ลดลง 65-80% และค่า total phosphate ลดลง 20-60% และเมื่อน้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนการบำบัดขั้นที่สาม (tertiary treatment) ปริมาณสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกทำให้ลดลงเกือบ 100% (Atkins, 1968)

การบำบัดน้ำเสียชุมชนกรณีศึกษา ณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี เป็นตัวอย่างการจัดการน้ำเสียโดยใช้เทคโนโลยีทางธรรมชาติเข้าช่วยบำบัด โดยมีระบบจัดการรวบรวมน้ำเสียชุมชนที่สถานีบ้านคลองยาง แล้วลำเลียงจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีไปตามท่อยาวประมาณ 18.5 กิโลเมตร เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ ที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยใช้กระบวนการทางธรรมชาติตามแนวทางพระราชดำริขององค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ซึ่งเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้

2.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย (lagoon treatment)

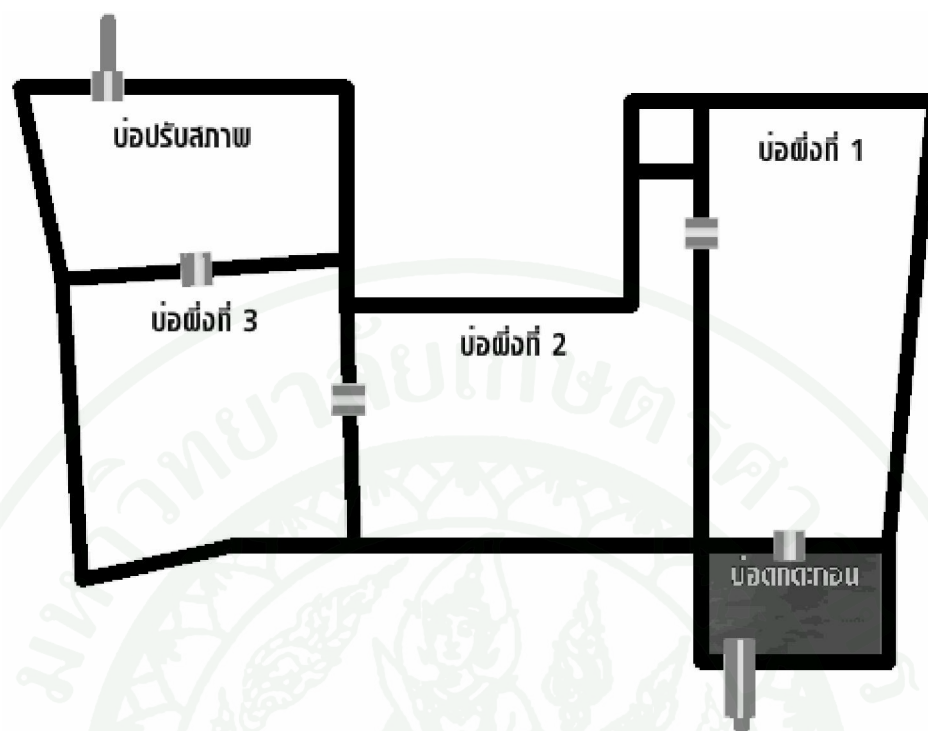
ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นระบบบำบัดน้ำเสียหลักที่อาศัยการกักพักน้ำเสียไว้ในระยะเวลาที่เหมาะสมกับปริมาณความสกปรกของน้ำ และมีการเติมออกซิเจนลงสู่ระบบด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) และสาหร่าย (algae) ที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้น (primary producer) (สุบัณฑิต, 2548) อาศัยแรงลมช่วยในการพลิกน้ำเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์และระยะเวลากักพักน้ำจะช่วยให้เชื้อโรค ระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ ประกอบด้วย บ่อดกตะกอน 1 บ่อ (sedimentation pond) บ่อผึ่ง 3 บ่อ (oxidation pond) และบ่อปรับสภาพ 1 บ่อ (polishing pond) โดยเชื่อมต่ออย่างเป็นอนุกรม



ภาพที่ 3 ลักษณะการไหลของน้ำในระบบบำบัดแบบบ่อ (lagoon treatment)

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ [โครงการแหลมผักเบี้ยฯ] (2543)

ระบบบำบัดแบบบ่อนี้สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดได้ 10,000 ลบ.ม.ต่อวัน โดยน้ำเสียจะถูกลำเลียงจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีเข้าสู่บ่อดกตะกอน แล้วผ่านไปยังบ่อผึ่ง 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นเข้าสู่บ่อปรับสภาพคุณภาพน้ำเป็นขั้นสุดท้าย ทั้งนี้ น้ำเสียแต่ละบ่อ จะไหลผ่านอาคารระบายน้ำด้านบนและเชื่อมต่อกันทางตอนล่างของบ่อถัดไปเป็นลำดับ สำหรับระบบนี้มีประสิทธิภาพการบำบัดความสกปรกในรูปของ BOD ได้ถึง 85-90%



ภาพที่ 4 แผนผังลักษณะการวางระบบบำบัดแบบบ่อ (lagoon treatment)

ที่มา: โครงการแหลมผักเบี้ยฯ (2543)

2.3.2 ระบบแปลงพืชป่าชายเลน (mangrove forest filtration)

เป็นการบำบัดน้ำเสียระบบรองโดยใช้แปลงพืชป่าชายเลนเป็นพื้นที่บำบัดน้ำเสีย อาศัยหลักการเจือจางระหว่างน้ำเสียกับน้ำทะเล และกักพืชน้ำเสียกับน้ำทะเลที่ผสมกันแล้วไว้ระยะเวลาหนึ่งโดยการเลียนแบบธรรมชาติตามระยะเวลาการขึ้น-ลงของน้ำทะเลในแต่ละวัน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อาศัยระบบรากของพืชป่าชายเลนช่วยในการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนเติมให้กับน้ำเสียและจุลินทรีย์ในดิน เพื่อให้กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดินในการบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับสัดส่วนในการผสมระหว่างน้ำเสียและน้ำทะเลจะมีสัดส่วนเล็กน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดี ที่ตรวจวัดได้ (โครงการแหลมผักเบี้ยฯ, 2543)

3. น้ำเสียอุตสาหกรรม

กรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้ให้คำนิยามของคำว่า น้ำทิ้งอุตสาหกรรม หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมที่ จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสีย จากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษากรณีตัวอย่างของก๊าซจากน้ำเสียอุตสาหกรรม 2 ประเภท คือ น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ และ น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง-แป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบและปริมาณที่แตกต่างกัน รายละเอียดของน้ำเสียทั้ง 2 ประเภทแสดงดังหัวข้อ 3.1 และ 3.2

3.1 น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงฆ่าสัตว์มาจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการฆ่าสัตว์ เช่น การล้างตัว การล้างเครื่องใน ล้างซาก ล้างพื้น ล้างรถ และการตก นอกจากนี้ยังมาจากของเสียส่วนที่เป็นของเหลว เช่น เลือด ปัสสาวะ น้ำเหลือง น้ำดี เป็นต้น โดยเฉลี่ยการฆ่าสุกรผลิตน้ำเสียประมาณ 300-500 ลิตรต่อวัน น้ำเสียจากกระบวนการในโรงฆ่าสัตว์ มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี ของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมัน และไนโตรเจนในรูป TKN โดยมีค่าเฉลี่ยต่อน้ำหนักสัตว์ 1,000 กิโลกรัม คิดเป็น 13.3 10.3 5.2 และ 1.3 กรัม ตามลำดับและพบว่าน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วย มีเทน 75.0% คาร์บอนไดออกไซด์ 24.6% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.4% (Ockerman and Hansen, 2000) ซึ่งถือว่าการปนเปื้อนของมลพิษอยู่ในปริมาณสูง ถ้าหากมีการระบายน้ำเสียที่ไม่ผ่านระบบบำบัด หรือการบำบัดที่ไม่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำรวมทั้งการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการฆ่าและชำแหละสุกรขนาดเล็กแบบมาตรฐานที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ 5-100 ตัวต่อวัน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะน้ำเสียรวมจากกระบวนการฆ่าสุกรในโรงฆ่าสุกรขนาดเล็ก

ลักษณะของ น้ำเสีย	บีโอดี (mg/L)	ซีโอดี (mg/L)	ของแข็ง แขวนลอย (mg/L)	ไนโตรเจน (mg/L)	ฟอสฟอรัส (mg/L)	ไขมัน และน้ำมัน (mg/L)
น้ำเสียก่อน การบำบัด	1,170	1,580	660	192	8	110

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2541)

3.1.1 กิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียในโรงฆ่าสัตว์

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2539) ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนกระบวนการฆ่าและชำแหละสุกรแบบมาตรฐาน ที่ทำให้เกิดน้ำเสียในกระบวนการและขั้นตอนต่างๆ ไว้ดังนี้

(1) การรับสุกร

โดยทั่วไปสุกรที่ส่งไปฆ่ามีน้ำหนักตั้งแต่ 90-130 กิโลกรัม มีอายุประมาณ 20-30 สัปดาห์ ในการขนส่ง สุกรมักเกิดความเครียดที่เกิดจากการไล่ต้อนจับ อากาศที่ร้อน การอดอาหารและน้ำขณะที่ขนส่ง ดังนั้นโรงฆ่าสัตว์จะต้องมีคอกพักสัตว์ก่อนฆ่าอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้เลือดไหลออกได้มาก ก่อนที่จะนำไปฆ่าต้องมีสัตวแพทย์ตรวจสอบสุขภาพสุกรก่อน ถ้ามีโรคติดต่อหรือสงสัยว่ามีโรคติดต่อต้องทำการกำจัดการทำลายซากอย่างถูกวิธี ส่วนสุกรสุขภาพสมบูรณ์ถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนนี้ใช้น้ำประมาณ 0.50 ลบ.ม.ต่อตันสุกร โดยเป็นน้ำเสียจากการฉีดล้างสุกร

(2) การทำให้สุกรหมดความรู้สึก การฆ่า และการรวบรวมเลือด

ตามมาตรฐานสากลวิธีการทำให้สลบก่อนการฆ่ามี 3 วิธี คือ การใช้ปืนยิง การใช้วิธีช็อตไฟฟ้า และการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ โรงฆ่าสัตว์ในประเทศไทยนิยมใช้การช็อตไฟฟ้า เมื่อสุกรสลบแล้วจึงแทงคอ เพื่อเอาเลือดออกให้เร็วที่สุด

(3) การลวกและการถอนขน

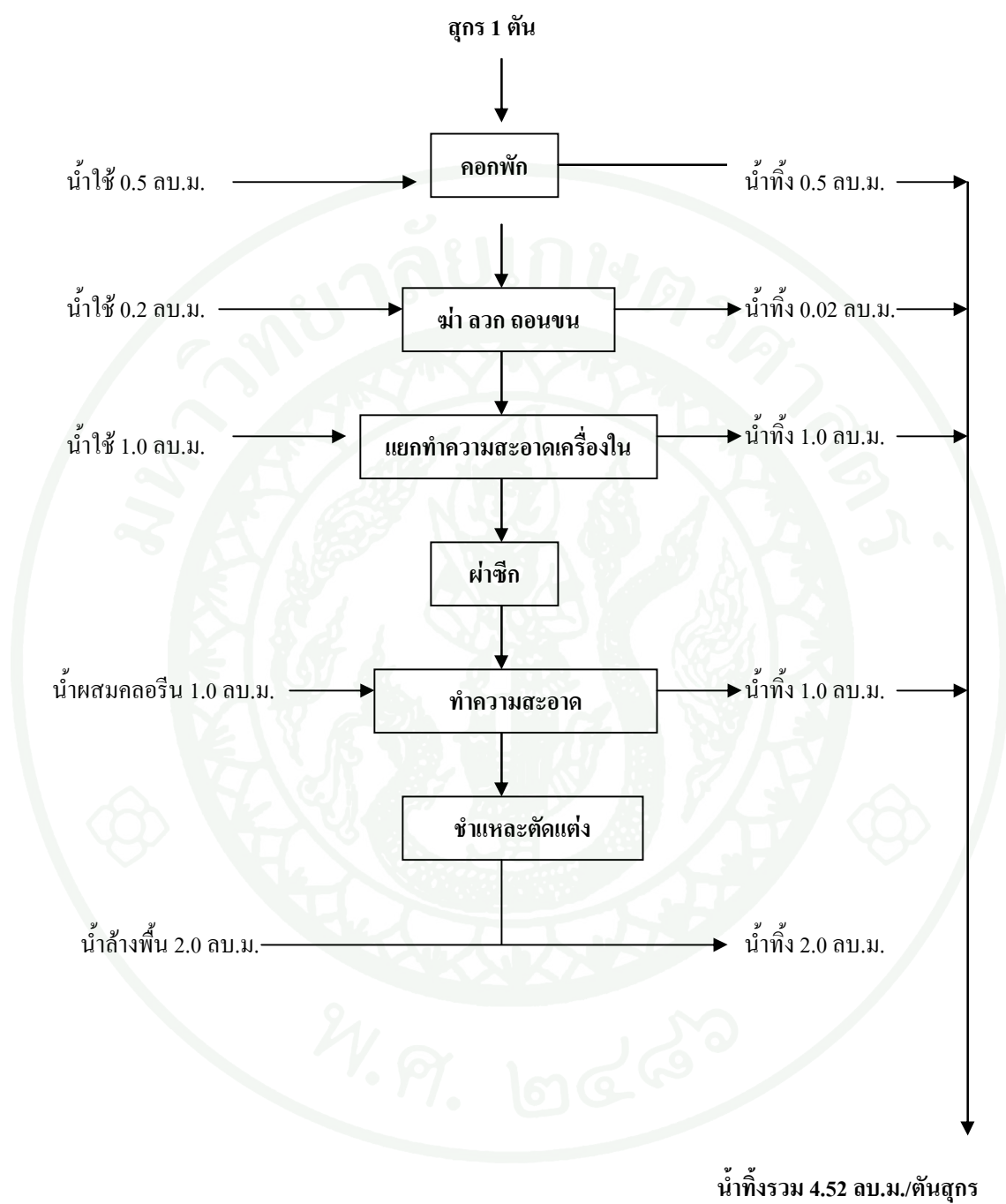
ซากสุกรที่เอาเลือดออกแล้ว นำไปลวกน้ำร้อน เพื่อให้ถอนขนได้ง่ายขึ้น โดยใช้เวลาในการลวกประมาณ 2-3 นาที ในขั้นตอนนี้มีน้ำเสียที่เกิดจากการลวกและถอนขนสุกร ประมาณ 0.02 ลบ.ม.ต่อตันสุกร

(4) การชำแหละ

สุกรที่ผ่านการถอนขนและจัดทำความสะอาดแล้วจะถูกนำไปชำแหละ เริ่มจากการการผ่าเอาเครื่องในและลำไส้ออก นำไปทำความสะอาด จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องเย็น ก่อนส่งไปจำหน่าย ส่วนซากสุกรถูกผ่าซีก ล้างทำความสะอาด ตรวจสอบและคัดซากที่มีคุณภาพไปเก็บในห้องเย็นเพื่อลดอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้ใช้น้ำที่มีคลอรีนเหลืออยู่ 5 ppm ประมาณ 1 ลบ.ม. ต่อตันสุกร และน้ำเสียจากการล้างเครื่องในและทำความสะอาดซากสุกรประมาณ 2.0 ลบ.ม.ต่อตันสุกร แผนผังการใช้น้ำในการฆ่าและชำแหละสุกรแบบมาตรฐานแสดงในภาพที่ 5

น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์โดยเฉพาะน้ำเสียจากขั้นตอนการล้างตัวสัตว์ และการล้างเครื่องในสัตว์ จะมีปริมาณสารแขวนลอยสูง ซึ่งหากปล่อยน้ำเสียส่วนนี้ไหลไปลงในบ่อบำบัด น้ำเสียจะทำให้บ่อบำบัดน้ำเสียต้นเงินอย่างรวดเร็ว อีกทั้งน้ำเสียส่วนนี้มีปริมาณไขมันและน้ำมันสูง ไขมันและน้ำมันเหล่านี้จะเป็นตัวขวางการถ่ายเทอากาศจากบรรยากาศสู่ผิวน้ำ และส่งผลกระทบต่อ การย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดได้

น้ำเสียจากกระบวนการฆ่าและชำแหละสุกร ของโรงฆ่าสัตว์จะถูกปล่อยลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียแบบฝักบ่อที่ 1 ของโรงฆ่าสัตว์ ความลึกประมาณ 0.5 – 1 เมตร โดยบ่อฝักที่ 1 นี้จะรับน้ำเสียโดยตรง จากนั้นจะปล่อยน้ำเสียไหลลงสู่บ่อฝักที่ 2 แต่เนื่องจากทั้ง 2 บ่อมีความลึกประมาณ 2 เมตร จึงไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ และมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูง จึงต้องทำการบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในบ่อฝักต่อไป (วลัยนุช, 2551)



ภาพที่ 5 แผนผังการใช้น้ำในการฆ่าและฆ่าและสุกรแบบมาตรฐาน

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2539)

3.2 น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง-แป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป

อุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นปริมาณมากและขั้นตอนการผลิตทั้งหมดส่งผลให้น้ำที่ใช้เกือบทั้งหมดกลายเป็นน้ำเสีย และน้ำส่วนหนึ่งจะสูญหายไปในการบวนการสกัดแห้งและการอบแห้ง ส่วนสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าความสกปรกในรูป BOD (biological oxygen demand) และ COD (chemical oxygen demand) และปริมาณของแข็ง (total solid) ค่อนข้างสูง แต่จะมีปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ ค่าดังกล่าวบ่งชี้ว่าน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

พารามิเตอร์	โรงงาน ขนาดเล็ก	โรงงาน ขนาดกลาง	โรงงาน ขนาดใหญ่	มาตรฐานน้ำทิ้ง จากโรงงาน อุตสาหกรรม
pH	4.75	4.69	6.33	5.5-9.0
COD (mg/l)	13,000	15,000	19,300	400
BOD (mg/l)	6,465	10,550	12,645	60
TKN (mg/l)	228	248	512	200
TS (mg/l)	13,030	12,550	19,845	-
SS (mg/l)	7,445	5,790	6,990	150
TDS (mg/l)	5,580	6,820	12,850	5,000

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2540)

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง-แป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป เป็นการนำส่วนของรากฝอย (fibrous root system) ของมันสำปะหลัง (*Tapioca, Manihot esculenta Crantz*) มาแปรรูปให้อยู่ในรูปของ แป้งมันสำปะหลังชนิด native starch แป้งมันดัดแปร (modified starch) และแป้งมันแปรรูป (starch derivatives) โดยเฉลี่ยแล้วส่วนประกอบของรากมันสำปะหลังจะนำ และส่วนของโมเลกุลแป้งเป็นส่วนใหญ่ โดยมีสัดส่วนตามตารางที่ 5

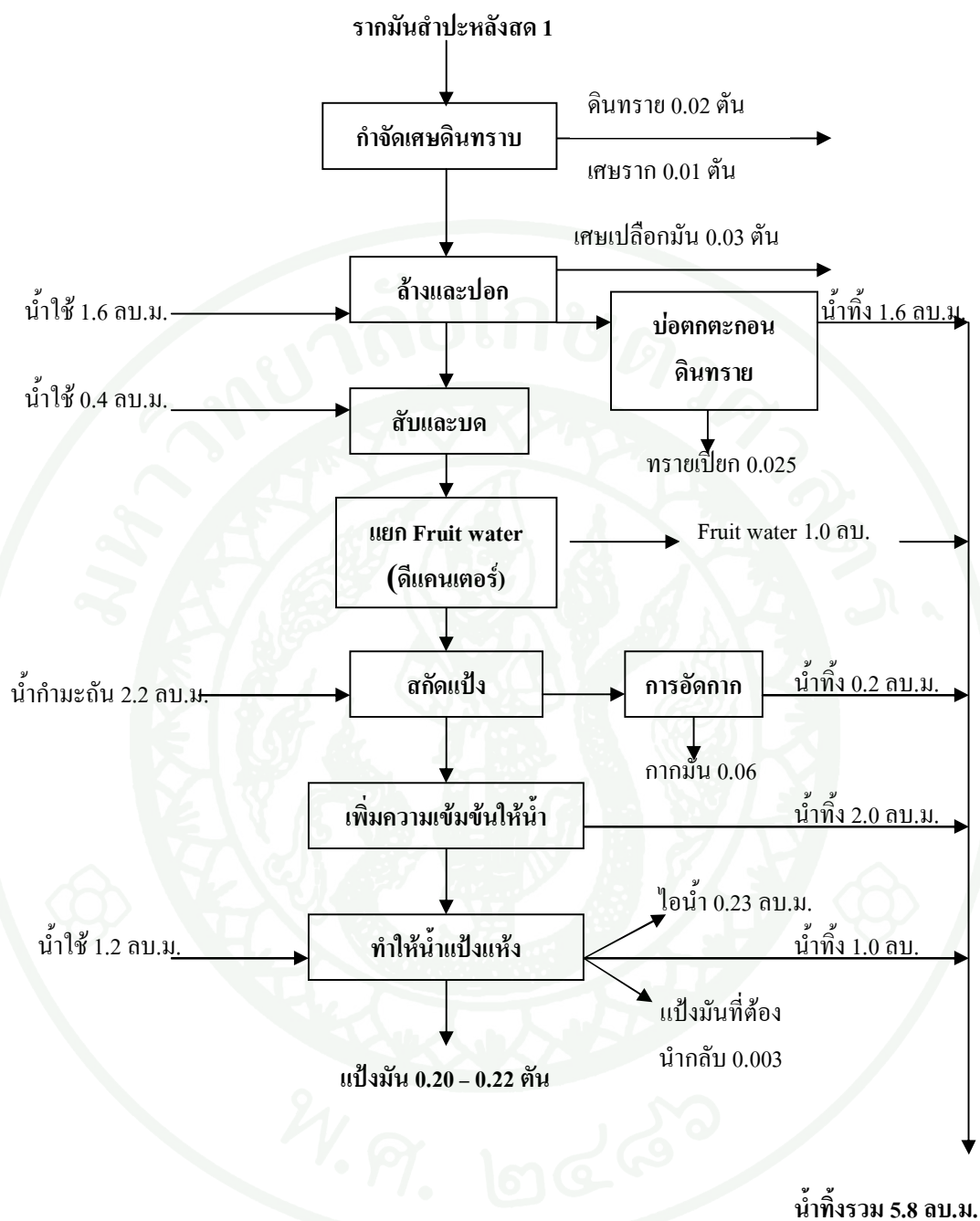
ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของรากมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันคัดแปร และแป้งมันแปรรูป

ส่วนประกอบ	สัดส่วนที่พบ (%)
น้ำ	60 - 70
แป้ง	20 - 30
โปรตีน	1
เยื่อใย	2
ไขมันและน้ำมัน	1
เถ้า	0.9 - 2.4
กรดไฮโดรไซยานิก	0.02

ที่มา: สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540)

3.2.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด native starch และน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต

การผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้มีหลักการ คือ การสกัดแป้งออกจากเซลล์รากของมันสำปะหลัง โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด เพราะโปรตีน เกลือแร่และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ สามารถละลายน้ำได้ดี จากนั้นจึงใช้เครื่องกลเช่นเครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) ในอัตรารอบสูงๆ แยกเอาโมเลกุลของสารที่นอกเหนือจากแป้งออก โดยอาศัยหลักการความแตกต่างระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของแป้งกับโปรตีนและสิ่งแปลกปลอม การสกัดแป้งให้มีความบริสุทธิ์สูงๆ จะทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพคงที่ สำหรับขั้นตอนการผลิตและน้ำเสียที่ออกจากระบบได้แสดงไว้ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนผังการใช้น้ำในการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน ชนิด native starch

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2540)

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก โดยเฉพาะการผลิต native starch ที่มีการใช้น้ำสูง (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) โดยจากภาพที่ 6 จะเห็นว่าการผลิต native starch 1 ตัน ทำให้เกิดน้ำทิ้งจำนวน 1.276 m^3 หากโรงงานมีกำลังการผลิต 24,000 เมกกะตันต่อปี นั่นหมายความว่า ในแต่ละวันมีน้ำเสียออกจากระบบ $83,900.82 \text{ m}^3/\text{วัน}$ ซึ่งในจำนวนนี้มีปริมาณแป้งที่สูงอยู่ด้วย คิดเป็น 30 กิโลกรัมต่อมันสำปะหลัง 1 ตัน หรือ 3 %

3.2.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร modified starch และน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต

ความหมายของแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหารตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อนและ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แป้งดัดแปรมีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวนวล หรือสีน้ำตาลอ่อน

วิธีการดัดแปรแป้งมีหลายวิธีซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างกัน ขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะของแป้งที่ต้องการ โดยการเลือกใช้ชนิดของแป้งและวิธีการดัดแปร สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งดัดแปรส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะเป็นการดัดแปรโดยวิธีทางเคมี ซึ่งมีหลายรูปแบบ ขึ้นกับปฏิกิริยาเคมีที่นำมาใช้ในแต่ละปฏิกิริยา เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเฉพาะตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ดัดแปรที่เกิดขึ้นจึงมีหลายประเภท ดังนี้

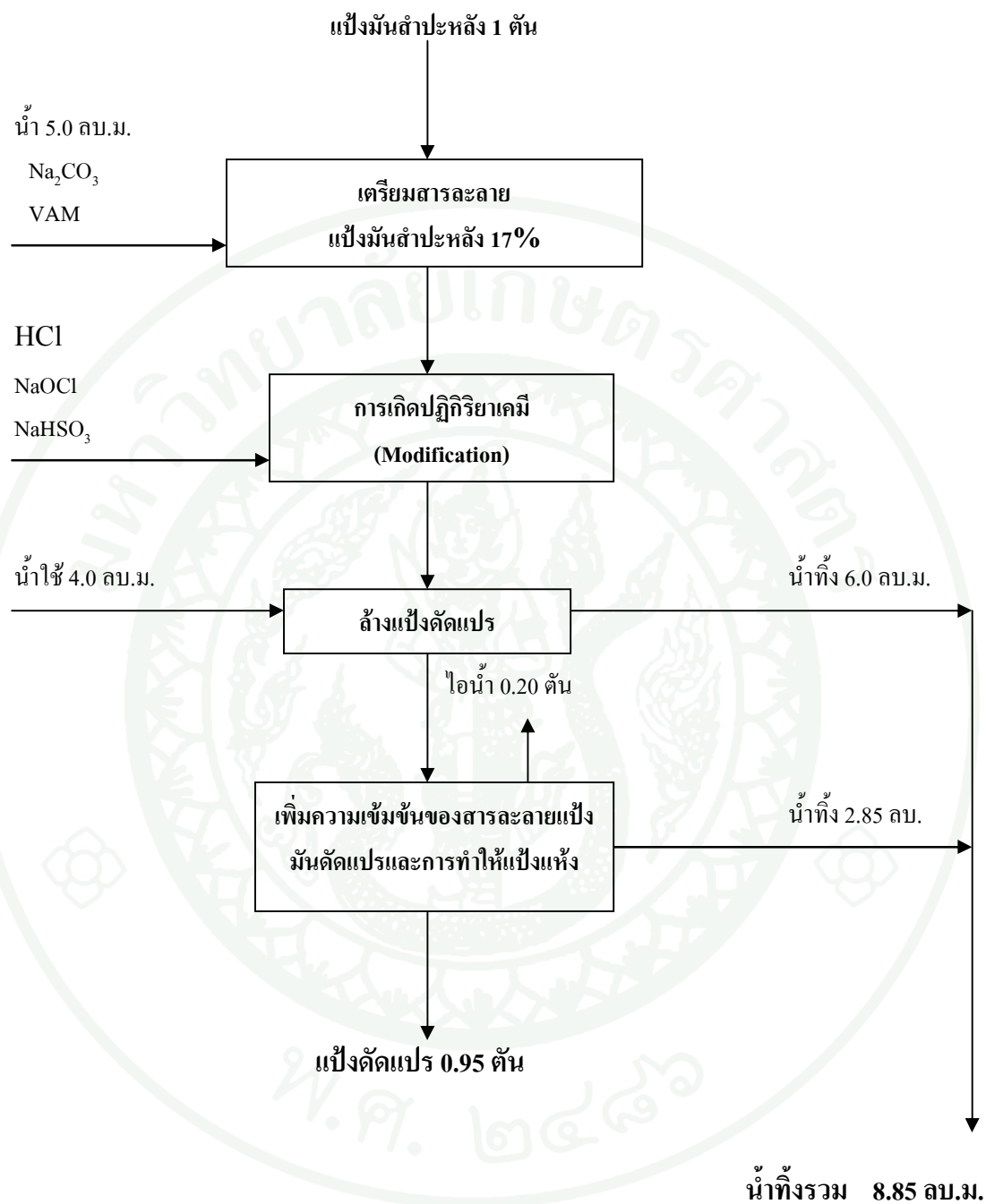
(1) ทินบอยลิ่งสตาร์ช (thin boiling starch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับกรดเกลือหรือกรดกำมะถันเจือจาง

(2) ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch) เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับโซเดียมไฮโปคลอไรท์

(3) เดกซ์ทริน (dextrin) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการให้ความร้อนกับแป้ง

(4) ซับสติทิวเตดสตาร์ช (substituted starch) เกิดจากการเติมสารลงไปแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล (R-OH) ในแป้งดัดแปรที่ได้ แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แป้งอีเทอร์ (ether starch) แป้งเอสเทอร์ (ester starch) และไดสตาร์ช (di-starch)

หลักการผลิตแป้งดัดแปรทุกประเภทจะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเป็นการนำแป้งมาทำปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งมีขั้นตอนทั่วไปเริ่มจากการเตรียมสารละลายแป้งโดยชั่งแป้งและเติมน้ำผสมให้เข้ากัน ปรับพีเอชโดยการเติมสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด/ด่าง จากนั้นจึงให้ทำปฏิกิริยาจนได้เป็นแป้งดัดแปร นำสารละลายที่ได้ทิ้งให้เย็นในถังพัก แล้วนำไปแยกของแข็งและเกล็ดด้วยตะแกรงละเอียดหรือเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (ultra centrifuge) ซึ่งจะทำให้เกิดน้ำเสียในกระบวนการนี้ สารละลายแป้งดัดแปรหลังจากผ่านการล้างแล้วจะนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง น้ำเสียบางส่วนจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ยังถังพักเพื่อล้างสารละลายแป้งดัดแปร จากนั้นทำสารละลายให้แห้งเป็นผงด้วยเครื่องเป่าลมร้อนแล้วผ่านเครื่องทำให้เย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นจะนำกลับไปใช้ในถังพักปฏิกิริยา แล้วเข้าเครื่องคัดขนาดบรรจุหีบห่อต่อไป การผลิตแป้งดัดแปรที่ยกมาเป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้คือชนิด oxidized starch ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังภาพที่ 7



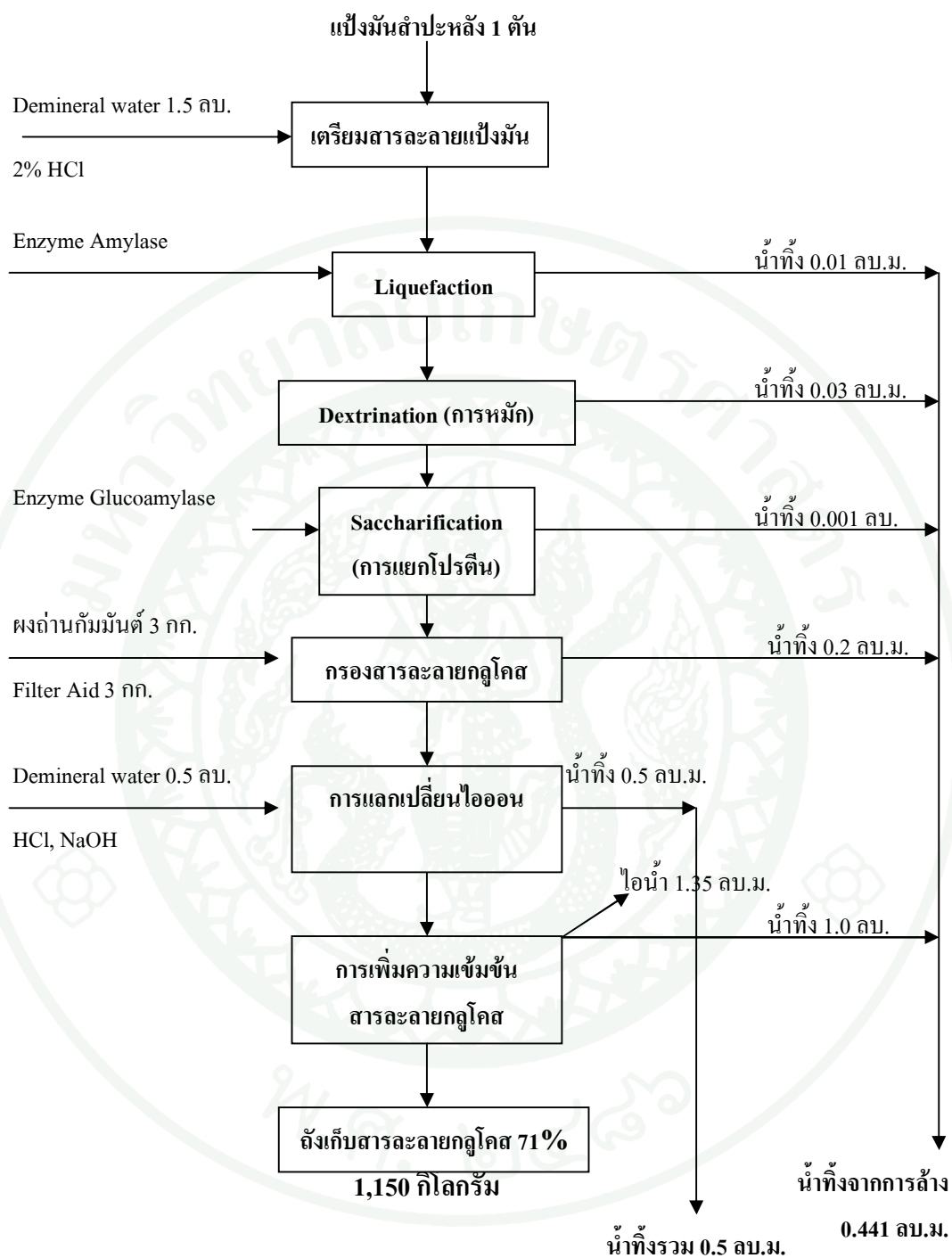
ภาพที่ 7 แผนผังการใช้น้ำในการผลิตแป้งมันตัดแปรชนิด oxidized starch

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2540)

ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตแป้งตัดแปรอันมาจากกิจกรรมการล้างสารละลายและการทำแป้งตัดแปรแห้ง จะมีค่า pH ที่ประมาณ 4.76 ค่า COD ประมาณ 280 mg/L ค่าBOD ประมาณ 135 mg/L และมีค่าสารแขวนลอย 120 mg/L แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากส่วนนี้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่มาก โดยปริมาณสารแขวนลอยที่มีค่าสูงนั้นมาจากแป้งและของแข็งพวกเกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารเคมีที่ถูกแยกออกจากการล้าง

3.2.3 กระบวนการผลิตกลูโคส (glucose) และน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือ สมอ. กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ให้คำนิยามของสารที่ให้ความหวานจากแป้งมันสำปะหลังประเภทกลูโคสไซรัป (glucose syrup) หมายถึง “สารละลายแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยแป้ง ซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นแล้ว” ส่วนกลูโคสไซรัปผง (dried glucose syrup) หมายถึง “กลูโคสไซรัปที่ทำให้แห้งเป็นผงทั้งนี้ให้รวมความถึงกลูโคสที่ทำให้แห้งซึ่งมีลักษณะอย่างอื่นด้วย” ขั้นตอนการผลิตกลูโคสนั้นประกอบด้วย การเตรียมน้ำแป้ง การทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี การทำให้สารละลายกลูโคสบริสุทธิ์ขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส โดยขั้นตอนการผลิตแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนผังการใช้น้ำในการผลิตกลูโคส

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรมโรงงาน (2540)

ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในโรงงานเป็มันสำปะหลังก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก ซึ่งเป็นเหตุผลที่จำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียทั้งขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 โดยจุดประสงค์ของการบำบัดขั้นที่ 1 คือใช้ในการลดปริมาณของตะกอนหนักและของแข็งปนเปื้อนที่มีมากในขั้นตอนการล้างวัตถุดิบโดยส่วนมากมักใช้เป็นระบบบ่อตะกอน จากนั้นจึงส่งน้ำเสียไปยังระบบบำบัดแบบชีวภาพ ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดแบบบ่อเปิด ซึ่งมีหลายประเภท ได้แก่ บ่อไร้อากาศหรือบ่อหมัก บ่อกึ่งไร้อากาศหรือบ่อหมัก บ่อปรับเสถียรภาพและบ่อเติมอากาศ ในแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกันในด้านชนิดของแบคทีเรีย โปรโตซัว และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่มีในระบบ น้ำเสียจากโรงงานเป็มันสำปะหลังที่จะเข้าสู่ขั้นตอนของการบำบัดขั้นที่ 2 จะมีคุณสมบัติที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสฟอรัสและสารอาหารที่จำเป็นต่างๆ น้ำเสียในส่วนนี้จะไม่มีการปนเปื้อนของสารที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัด

ผลพลอยได้ในกรณีที่เลือกใช้การบำบัดแบบไม่ใช้อากาศคือ ก๊าซชีวภาพ (biogas) อันได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซอื่นๆอีกปริมาณเล็กน้อย ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะมีการสร้างเครื่องมือดักก๊าซ อาทิเช่น เครื่อง gas-liquids-solids separator และระบบ Hybrid Cover Lagoon Unit (HCLU) ที่มีลักษณะการคลุมบ่อบำบัดด้วยผ้าใบซึ่งทำหน้าที่ดักก๊าซเพื่อนำก๊าซมีเทนที่มีคุณสมบัติดีไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้น้ำมันเตาหรือไฟฟ้าภายในโรงงาน

4. หลักการเกิดสภาพไร้อากาศในชั้นตะกอนและการเกิดก๊าซจากตะกอน

4.1 การเกิดสภาพไร้ออกซิเจนในตะกอนน้ำเสีย

กรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้ให้ความหมายของคำว่าตะกอนน้ำเสีย (bottom sludge) คือ ของแข็งและเศษซากจุลินทรีย์ส่วนเกินที่จมตัวลงทับถมใต้ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการตื้นเขินและมีความขุ่นเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของตะกอนใต้ท้องน้ำในแหล่งน้ำเป็นตัวชี้วัดการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในแหล่งน้ำได้อย่างหนึ่ง (Davidson *et al.*, 2005) เมื่อเวลาผ่านไปดินหรือตะกอนที่ทับถมกันใต้ท้องน้ำจะมีการลดลงของออกซิเจนในเนื้อสารจนทำให้เกิดภาวะปราศจากออกซิเจน โดยชั้นน้ำที่อยู่ด้านบนจะเป็นตัวป้องกันออกซิเจนจากบรรยากาศไม่ให้ซึมผ่านลงไปใต้ดินได้ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านน้ำนั้นนิ่งและช้ากว่าในอากาศมากกว่า 10,000 เท่า ออกซิเจนซึ่งถูกกักไว้ตามช่องในดินใต้ชั้นน้ำจะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน

(aerobic microorganism) และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน (facultative anaerobe microorganism) นำมาใช้ในการหายใจ ออกซิเจนทั้งหมดไปอย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง การใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นภายใน 1-2 วัน แรก ดังตารางที่ 6 (ไพบูลย์, 2528; Vanloon and Duffy, 2005)

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจน ค่า redox potential และกลุ่มจุลินทรีย์เมื่ออยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของ O ₂ ในดิน 100 g	pE	ประชากรจุลินทรีย์ (10 ⁶)	
			Aerobes	Anaerobes
0	3.2	7.6	34	22
1	0.3	3.7	220	n/a
2	0	-0.84	110	33
4.5	0	-3.9	55	50
8	0	-4.2	53	170
13	0	-4.2	62	130

ที่มา: Vanloon and Duffy (2005)

4.2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องในระบบ

การที่ดินหรือตะกอนใต้ชั้นน้ำมีออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว มีสาเหตุเนื่องจากจุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายอยู่ตลอดเวลา จุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และ/หรือไม่มีออกซิเจนจะยังคงดำเนินกิจกรรมต่อไปโดยใช้สารประกอบต่างๆ ในดิน ซึ่งมีระดับออกซิเดชันสูงเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งได้มาจากอินทรีย์วัตถุ ก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันต่างๆ ขึ้น สารประกอบที่มีความสามารถในการเป็นสารรับอิเล็กตรอนในดินนั้น ได้แก่ ไนเตรต แมงกานีสออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ ซัลเฟต และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ตามลำดับทาง thermodynamic ที่เรียกว่า redox potential (pE⁰) ดังแสดงในตารางที่ 7

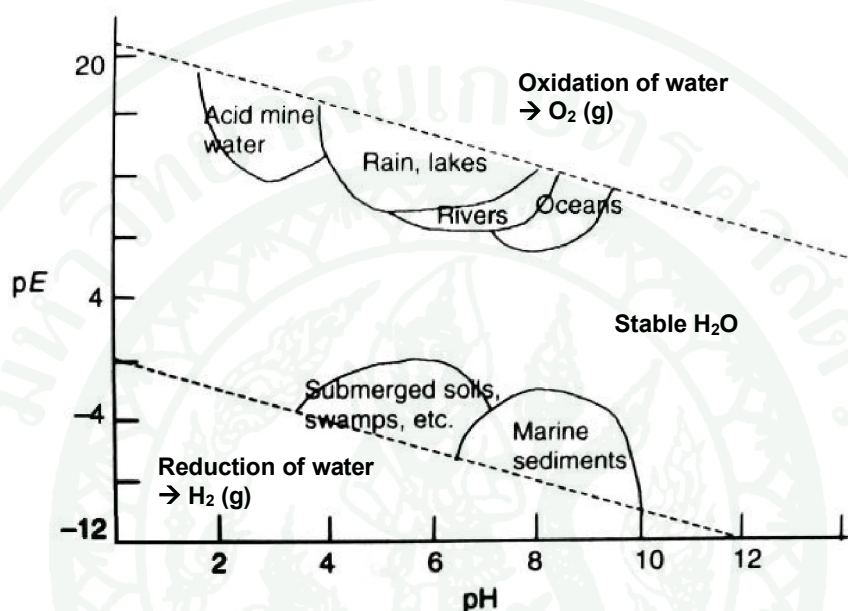
ตารางที่ 7 ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี ตามลำดับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน

System	E^0 (V)	pE^0	$pE^0(W)$
$1/4 O_2(g) + H^+(aq) + e = 1/2 H_2O$	1.229	+20.8	+13.8
$1/5 NO_3^-(aq) + 6/5 H^+(aq) + e = 1/10 N_2(g) + 3/5 H_2O(l)$	1.245	+21.06	+12.66
$1/2 NO_3^-(aq) + H^+(aq) + e = 1/2 N_2(g) + 1/2 H_2O(l)$	0.834	+14.11	+7.11
$1/2 MnO_2(s) + 2 H^+(aq) + e = 1/2 Mn^{2+}(aq) + H_2O(l)$	1.229	+20.8	+6.8
$1/2 CH_3COCOOH(aq) + H^+(aq) + e = 1/2 CH_3CHOCOOH(aq)$	0.256	+4.33	-2.67
$Fe(OH)_3(s) + 3 H^+(aq) + e = Fe^{2+}(aq) + 3 H_2O(l)$	1.057	+17.87	-3.13
$1/2 CH_3CHO(aq) + H^+(aq) + e = 1/2 CH_3CH_2OH(aq)$	0.221	+3.74	-3.26
$1/6 SO_4^{2-}(aq) + 5/4 H^+(aq) + e = 1/8 H_2S(aq) + 1/2 H_2O(l)$	0.303	+5.12	-3.63
$1/8 CO_2 + H^+(aq) + e = 1/8 CH_4(g) + 1/4 H_2O(l)$	0.169	+2.86	-4.14
$1/6 N_2(g) + 4/3 H^+(aq) + e = 1/2 NH_4^+(aq)$	0.274	+4.64	-4.69
$1/8 HPO_4^{2-}(aq) + 5/4 H^+(aq) + e = 1/8 PH_3(g) + 1/2 H_2O(l)$	0.212	+3.59	-5.16
$1/2 NADP^+(aq) + 1/2 H^+(aq) + e = 1/2 NADPH(aq)$	-0.106	-1.79	-5.29
$1/2 NAD^+(aq) + 1/2 H^+(aq) + e = 1/2 NADH(aq)$	-0.123	-2.08	-5.58
$H^+(aq) + e = 1/2 H_2(g)$	0	0	-7
Ferradoxin (ox) (aq) + e = Ferredoxin (red) (aq)	-0.432	-7.31	-7.31

ที่มา: ไพบูลย์ (2528)

ปัจจัยด้านธรรมชาติของสภาวะแวดล้อมมีผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า redox potential อาทิเช่น ปริมาณออกซิเจน ความคงตัวของน้ำ (water stability) ปริมาณน้ำฝนที่เข้าสู่ระบบ และลักษณะของแหล่งน้ำไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำเดิม แหล่งน้ำจืดหรือแหล่งน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งทำให้ค่า pH ของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า redox potential ตามไปด้วย (Wolf, 1999; Vanloon and Duffy, 2005) โดยค่า redox potential จะแปรผกผันกับค่า pH ของสิ่งแวดล้อม (Miao *et al.*, 2006) จากภาพที่ 9 ซึ่งจะเห็นว่ากิจกรรมที่ก่อให้เกิดค่า pH ของน้ำต่ำลง เช่น น้ำชะแระที่มีสภาพเป็นกรดที่ pH ประมาณ 2.5 จากการทำเหมืองจะมีค่า pE ประมาณ 15 เนื่องจากน้ำยังมีการสัมผัสกับอากาศทำให้มีออกซิเจนละลายอยู่มาก แต่ในกรณีของพื้นที่น้ำท่วม (submerge) หรือพื้นที่น้ำท่วมขัง (wetland) เช่นนาปลูกข้าว ดินจะมีการสะสมของ

สารอินทรีย์ในปริมาณสูงทำให้ pH อยู่ในช่วงประมาณ 6 และการที่ออกซิเจนถูกใช้โดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนทั้งหมด ทำให้ค่า pE ของสิ่งแวดล้อมลดต่ำลงสู่เขตของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจจะเข้ามามีบทบาทในกระบวนการย่อยสลายแทน ซึ่งทั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันจะถูกจำกัดอยู่ภายในขอบเขตความคงตัวของน้ำ

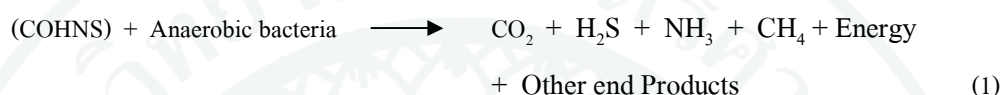


ภาพที่ 9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ redox potential (pE) ในขอบเขตของความคงตัวของน้ำที่พบในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน

ที่มา: Vanloon and Duffy (2005)

ลำดับของการใช้อิเล็กตรอนของจุลินทรีย์เพื่อการหายใจแบบไม่ต้องการออกซิเจนจะเป็นตามลำดับของ pE^0 ดังตารางที่ 5 โดยเมื่อสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สภาวะที่ไร้ออกซิเจนหรือ anaerobic condition ไนเตรต (NO_3^-) ที่มีค่า redox potential รองจากออกซิเจนจะถูกแบคทีเรียใช้ในการหายใจได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณไนเตรตที่ลดลงทำให้แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) เฟอริกออกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) จะถูกจุลินทรีย์ใช้ตามลำดับ จากนั้นสารประกอบอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในระบบไพรูเวต (pyruvate system) ซึ่งเป็นกระบวนการหายใจระดับเซลล์ และเมื่อตะกอนถูกฝังลึกมากๆ ค่า redox potential เป็นลบมากๆ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคเหล็กในตะกอนกลายเป็นเหล็กออกไซด์ที่มีสีดำ และในขณะเดียวกันกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่า

redox potential ใกล้เคียงกับซัลเฟตก็จะถูกใช้ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน เกิดผลิตภัณฑ์การหายใจของแบคทีเรียเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) เมื่อเกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซและสะสมอยู่ภายในดิน โมเลกุลก๊าซนั้นค่อยๆ เพิ่มความดันจนเกิดเป็นฟองผุดขึ้นสู่ชั้นน้ำ องค์ประกอบของก๊าซจะเปลี่ยนแปลงไปในชั้นดินหรือตะกอนใต้ชั้นน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงทางจลน์เคมีและชีวภาพ (ไพบูลย์, 2528) สำหรับปฏิกิริยารวมของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน (Polprasert, 1996) แสดงได้ดังสมการที่ 1



โดยสรุปแล้วการเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ทำให้เกิดก๊าซ รวมถึงชนิดและปริมาณของก๊าซที่ได้จากการเกิดรีดักชัน ขึ้นอยู่กับปัจจัย 5 ประการ คือ ธรรมชาติและปริมาณของอาหารของจุลินทรีย์ (อินทรีย์วัตถุ) หรือสารให้อิเล็กตรอน ปริมาณและชนิดของสารรับอิเล็กตรอน อุณหภูมิในสิ่งแวดล้อม ความเป็นกรด-ด่าง และ ระยะเวลาที่มีน้ำท่วมขัง

5. แหล่งที่มาและคุณสมบัติของก๊าซจากตะกอนน้ำเสีย

5.1. แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen)

ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน มีกลิ่นฉุนรับรู้กลิ่นได้ที่ความเข้มข้นระหว่าง 5-18 ppm ง่ายต่อการทำให้เป็นของเหลวโดยใช้ความดันมีน้ำหนักโมเลกุล 17.03 ความหนาแน่น 0.7708 (ที่อุณหภูมิ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ) จุดเยือกแข็งที่ -77.7 °C และจุดเดือดที่ -33.5 °C ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์และอีเทอร์ได้ดี จุดติดไฟที่อุณหภูมิ 651.1 °C (Douglas, 1984; International Programme on Chemical Safety [IPCS], 1986; US EPA, 2001)

5.1.1 แหล่งที่มาของก๊าซแอมโมเนียในสิ่งแวดล้อม

US EPA (1999) รายงานแหล่งกำเนิดของก๊าซแอมโมเนียที่พบในสิ่งแวดล้อม ดังนี้

(1) การปิดกั้นการไหลของน้ำ (impoundments) การที่น้ำถูกปิดกั้นการไหลทำให้มีความปั่นป่วน (turbulence) และการกวนผสมของมวลน้ำ (mixing) ที่ลดลง ทำให้ชั้นน้ำด้านล่างเกิดการแบ่งชั้นความร้อนส่งผลให้การระเหยของแอมโมเนียลดลง ความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำจึงเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้มักเกิดกับการกั้นเขื่อน ซึ่งเมื่อน้ำถูกปล่อยสู่ทางระบายน้ำ แอมโมเนียที่สะสมอยู่ที่ระเหยสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบให้แก่สิ่งแวดล้อมด้านปลายน้ำ

(2) ระบบกำจัดขยะชุมชน (municipal waste treatment plant) และหลุมฝังกลบขยะ (landfills) น้ำชะขยะที่มาจากระบบกำจัดขยะชุมชนมีแอมโมเนียปนเปื้อนอยู่ค่อนข้างสูง เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายภายใต้กองขยะ น้ำชะขยะที่ออกจากกองขยะจะไหลลงสู่แหล่งน้ำทำให้ระดับแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น (Mancl and Veenhuizen, 1991)

(3) การรั่วซึมของบ่อเกรอะ (septic tank) และความล้มเหลวของระบบบ่อเกรอะ มีลักษณะเป็นบ่อแบบปิด อากาศและน้ำซึมผ่านไม่ได้ทำให้ภายในบ่อมีสภาพเป็น anaerobic หน้าที่ของบ่อเกรอะคือรองรับของเสีย ตามบ้านเรือนชุมชนใช้บ่อนี้ในการกักเก็บและบำบัดของเสีย ได้แก่ อุจจาระปัสสาวะ หากมีการรั่วซึมจะทำให้แอมโมเนียปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ในกรณีที่ระบบบำบัดอาจเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติและทะเลสาบได้

(4) ปล่อยจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรม เกิดจากบางโรงงานที่มีแอมโมเนียเป็นผลพลอยได้จากการผลิต (by product) ซึ่งเป็นส่วนเกินจากความสามารถในการรองรับของระบบบำบัด เป็นเหตุให้เกิดการปนเปื้อนแอมโมเนียในปริมาณสูงเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งธรรมชาติ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตแอมโมเนีย การแปรรูปอาหาร (อาหารทะเล ปศุสัตว์ อาหารสัตว์) อุตสาหกรรมผลิตยา โรงงานกระดาษ และระบบบำบัดก๊าซที่ปล่อยควันในโรงไฟฟ้าพลังถ่านหิน

(5) น้ำชะจากการเกษตร การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปศุสัตว์ และชุมชนเมือง การใช้ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของแอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ น้ำระบายจากฟาร์มปลาและกุ้ง อาหารสัตว์ที่ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์รวมทั้งอุจจาระและปัสสาวะจากสัตว์ ตลอดจนพื้นที่ๆต้องใช้ปุ๋ยแอมโมเนีย เช่น สนามกอล์ฟ กิจกรรมเหล่านี้นำมาซึ่งโอกาสในการชะล้างและปนเปื้อนแอมโมเนียในปริมาณสูงลงสู่แหล่งน้ำ (Casey *et al.*, 2006)

5.1.2 กระบวนการแปรสภาพสารอินทรีย์ในโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ สารประกอบที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับน้ำเสียประเภทสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน ยูเรีย กรดอะมิโน และ กรดนิวคลีอิก ซึ่งอยู่ในชั้นของผิวน้ำ 50% และสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงถึงผลผลิตของแหล่งน้ำและการปนเปื้อนของเสียที่มาจากพืช ร่างกายสัตว์ เช่น อุจจาระ ปัสสาวะ เป็นต้น ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) (ประมาณ, 2531; กรรณิการ์, 2549) สำหรับปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพไนโตรเจนไปเป็นก๊าซแอมโมเนียมีดังนี้

(1) อะมิไนเซชัน (aminization)

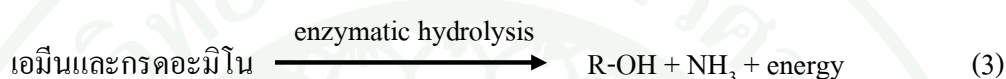
เป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน โดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotroph) กระบวนการย่อยสลายนี้เป็นแบบ enzyme digestion ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน พวก amino compounds ต่างๆ เช่น protease และ peptone จนในที่สุดก็จะเปลี่ยนต่อไปอีกเป็นพวกเอมีน (amine) และกรดอะมิโน (amino acid) ต่างๆ กระบวนการอะมิไนเซชันสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2



จุลินทรีย์ได้พลังงานจากกระบวนการย่อยสลายโปรตีน ส่วนสารประกอบเอมีนและกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนจะถูกนำมาสร้างเซลล์ของพืชและจุลินทรีย์ และบางส่วนจะถูกแปรสภาพต่อไปอีกกลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่น โดยกระบวนการที่เรียกว่า ammonification

(2) แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

เป็นกระบวนการสำคัญที่สามารถเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนจำพวกเอมีนและกรดอะมิโนในเนื้อเยื่อและเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ให้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) แอลกอฮอล์ (R-OH) และพลังงาน โดยจุลินทรีย์พวก heterotroph (วิสา, 2550; Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งกระบวนการ mineralization ในธรรมชาติ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น ดังสมการที่ 3



แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อ pH ของสิ่งแวดล้อมเป็นกรด แล้วแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ไฮดรอกไซด์ไอออนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนซึ่งมาจากกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ได้จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นน้ำ ส่วนแอมโมเนียมไอออนนั้นจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไป ใน 4 กระบวนการดังนี้

(2.1) จุลินทรีย์นำไปใช้

(2.2) พืชนำไปใช้ โดยเฉพาะพืชที่ยังอ่อนๆ อยู่ เช่น ต้นกล้าของข้าวจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย

(2.3) ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึกของอนุภาคแร่ดินเหนียว

(2.4) ถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

(3) ไนตริฟิเคชัน (nitrification)

เป็นกระบวนการ enzymatic oxidation ที่เกิดขึ้นโดย nitrifying bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการก๊าซออกซิเจน กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันสองขั้น ขั้นต้นแรก NH_4^+ จะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนไตรท์ก่อนโดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* ดังสมการที่ 4



ต่อมาไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งให้เป็นไนเตรต โดยแบคทีเรียพวก *Nitrobacter* ดังสมการที่ 5



ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นขั้นแรกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตซึ่งจะเป็นผลดีต่อพืช เพราะถ้ามีไนไตรท์สะสมอยู่มากจะเกิดความเป็นพิษต่อพืช ส่วนไนเตรตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะเปลี่ยนแปลงต่อไปตาม 4 กระบวนการ ดังนี้

(3.1) จุลินทรีย์นำไปใช้สร้างโปรตีนหรือสารคล้ายโปรตีน

(3.2) พืชชั้นสูงนำไปใช้สร้างโพนด้นหรือสารคล้ายโปรตีน

(3.3) สูญหายไปโดยกระบวนการชะล้างภายในดินลงไปลึกกว่าบริเวณรอบราก (root zone) เนื่องจากไนเตรตละลายน้ำได้ง่าย

(3.4) สูญหายไปในรูปแบบของก๊าซไนโตรเจน (denitrification) เพราะจุลินทรีย์ชนิดไม่ต้องการออกซิเจนนำไปใช้ในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) สำหรับกระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำในเขตร้อนชื้นนั้น กระบวนการที่เกิดขึ้นน่าจะหยุดอยู่ที่กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน เพราะโอกาสที่ก๊าซออกซิเจนจะแทรกซึมลงไปในน้ำนั้นมีน้อยมากและจุลินทรีย์พวกที่ต้องการใช้ก๊าซออกซิเจนจะหายใจเพื่อให้ได้พลังงานสำหรับทำกิจกรรมต่างๆ จนก๊าซออกซิเจนต่างๆ นั้นหมดไป

สารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีอยู่หลายรูปแบบที่สำคัญ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรตซึ่งปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนทั้ง 4 ประเภทในน้ำ คือ อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรต สามารถบ่งชี้ถึงความสกปรกของแหล่งน้ำธรรมชาติและการสะสมของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ (US EPA, 1999) เช่น หากแหล่งน้ำมีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียสูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นเพิ่งได้รับสิ่งสกปรกมาได้ไม่นานและความสกปรกนั้น เกิดจากการระบายของเสียจากชุมชน แต่ถ้ามีปริมาณไนไตรท์สูง แสดงว่า แหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาพที่กำลังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตหรือในทางกลับกัน ถ้ามีปริมาณไนเตรตสูงแสดงว่า แหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนน้อยลงหรือกระบวนการ denitrification มีอัตราลดลง และมีแนวโน้มที่จะเกิดแอมโมเนียในแหล่งน้ำมากขึ้น (Kelso *et al.*, 1997)

5.1.3 กระบวนการได้มาของก๊าซแอมโมเนีย

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยา ammonification โดยแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic microorganisms) ตัวอย่างแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. และ *Proteus* sp. เป็นต้น (การย่อยสลายแบบนี้จะใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย (Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกรีดิวซ์ ได้สารประกอบแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ขึ้นอยู่กับสภาวะ pH ของสิ่งแวดล้อม (นอกจากการย่อยสลายที่ปลดปล่อยแอมโมเนีย ออกมาแล้ว การแยกตัวของ amino group (NH_2) ออกจาก amino acid โดยแบคทีเรียบางชนิด (deamination) ก็ยังสามารถให้ NH_3 แก่แหล่งน้ำได้ดังสมการที่ 6



ก๊าซแอมโมเนียยังสามารถเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา dissimilatory nitrate reduction ในตะกอนดินใต้น้ำที่มีสถานะเป็น anoxic (Lapota *et al.*, 2000; US EPA, 1999) ซึ่งเกิดขึ้นจากการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรตหรือเรียกว่า nitrification ที่เกิดในบริเวณที่ยังมีออกซิเจนอยู่ (Kelso *et al.*, 1997) ตามธรรมชาติแล้วในน้ำที่ไม่เสียจะมีปริมาณของแอมโมเนียและสารประกอบแอมโมเนียละลายอยู่เพียงเล็กน้อยหรือน้อยกว่า 1 mg/L ในน้ำที่เสียความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้นและมีความเข้มข้นมากกว่า 1 mg/L ในบางครั้งถ้ามีความเสียมมาก ความเข้มข้นของแอมโมเนียอาจมีมากถึง 10 mg/L หรือมากกว่านี้ (เปี่ยมศักดิ์, 2543)

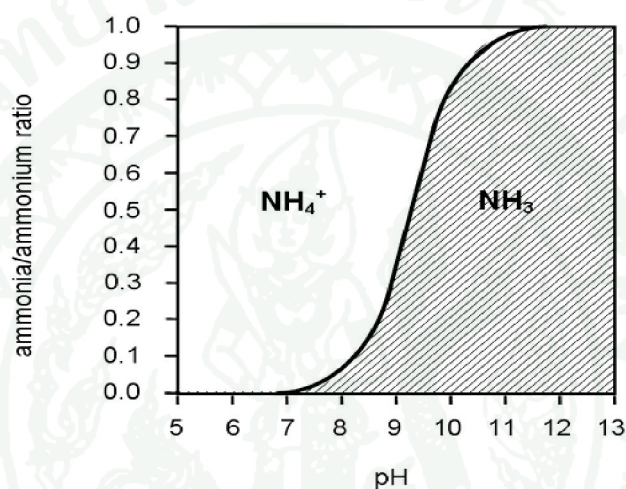
ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนียและสารประกอบตั้งต้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ pH ที่อุณหภูมิ 18 °C และ pH 6 สัดส่วนของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ต่อแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) จะมีค่าประมาณ 3,000: 1 แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 สัดส่วนดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็น 30:1

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงตามช่วง pH 7.0-9.5 และอุณหภูมิของน้ำในช่วง 5-30 °C

°C	pH=7.0	pH=7.5	pH=8.0	pH=8.5	pH=9.0	pH=9.5
5	19.6	6.3	2	0.65	0.22	0.088
10	12.4	4.3	1.37	0.45	0.16	0.068
15	9.4	5.9	0.93	0.31	0.12	0.054
20	6.3	2	0.65	0.22	0.088	0.045
25	4.4	1.43	0.47	0.17	0.069	0.039
30	3.1	1	0.33	0.12	0.056	0.035

ที่มา: Sorensen and Jorgensen (1993)

free ammonia (NH_3) ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 2.5 mg/L อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้หลายชนิด การที่น้ำมีส่วนส่วนของแอมโมเนียไฮดรอกไซด์สูงขึ้นเนื่องจากน้ำมีค่า pH สูงขึ้น (ตารางที่ 8 และ ภาพที่ 10) ในบางครั้ง NH_3 อาจเกิดการระเหยจากแหล่งน้ำสู่บรรยากาศ แต่ถ้าค่า pH ต่ำๆและมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน และถูกยึดไว้โดยธาตุหรือสารประกอบที่มีประจุลบซึ่งส่วนมากอยู่ในตะกอนอินทรีย์สาร (particle organic matter) (เปี่ยมศักดิ์, 2543)



ภาพที่ 10 อัตราส่วนของแอมโมเนียไอออนต่อแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงตามช่วง pH 5.0-13.0

ที่มา: Bicudo *et al.*, (2002)

การปลดปล่อยของก๊าซแอมโมเนียจะพบอยู่บริเวณใกล้ผิวหน้าของแหล่งกำเนิด เช่นในพื้นที่ของโรงเรือนสัตว์หรือบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ lagoon treatment และอยู่ในบรรยากาศได้นาน 1-5 วันก่อนการสลายตัว (Warneck, 2000; Bicudo *et al.*, 2002) ทั้งนี้แล้วแต่สภาพอากาศ แต่หากเกิดการเกิดฟอร์มตัวกับสารอื่นเป็น แอมโมเนียมซัลเฟต, แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมคลอไรด์ จะสามารถอยู่ในบรรยากาศได้นานถึง 1-15 วัน (US EPA, 2001)

5.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่ประกอบด้วยซัลเฟอร์ 1 อะตอมและไฮโดรเจน 2 อะตอม มีกลิ่นเหม็น มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 34.08 ความหนาแน่น 1.5392 g/L มีจุดเยือกแข็งและจุดเดือดเท่ากับ -61.8 และ 82.9 °C ตามลำดับ มีค่าออกซิเดชันอยู่ระหว่าง -2 ถึง +6 (ดวงพร, 2545) มีความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับ 6 g/L (ที่อุณหภูมิ 20 °C ความดัน 1 บรรยากาศ) ละลายในน้ำต่างเกิดผลิตภัณฑ์เป็นอัลคาไลซัลไฟด์และมีความสามารถจับกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะหนักซัลไฟด์ซึ่งทำให้ความสามารถในการละลายลดลง (Parker, 1993 and US EPA, 2003)

5.2.1 แหล่งที่มาของซัลเฟอร์ในสิ่งแวดล้อม

ซัลเฟอร์หรือกำมะถันเป็นธาตุที่มีปริมาณมากภายในโลกเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ แหล่งของซัลเฟอร์พบได้ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จากปฏิกิริยาการออกซิเดชันและรีดิวซ์โดยจุลินทรีย์เป็นตัวกลาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเดชันระหว่าง -2 ถึง +6 ของธาตุซัลเฟอร์ภายในสารประกอบต่างๆ ก่อให้เกิดวัฏจักรซัลเฟอร์ (ดวงพร, 2545 และ สุบัตินิต, 2548) แหล่งของซัลเฟอร์ที่พบในธรรมชาติมีดังนี้

(1) ซัลเฟตไอออน(SO_4^{2-}) โดยพบในรูปของแอนไอออน (anion) ที่พบมากที่สุดเป็นอันดับ 2 ในน้ำทะเลคิดเป็นประมาณ 28 มิลลิโมลาร์ แต่เป็นแหล่งสะสมที่มีการหมุนเวียนธาตุอาหารอย่างช้าๆ และพบในรูปของซัลเฟอร์ที่อยู่ในสารอินทรีย์ทั้งในสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต โดยจะพบปริมาณที่น้อยกว่าซัลเฟตในน้ำทะเล แต่มีอัตราการหมุนเวียนธาตุอาหารที่รวดเร็ว พืชชั้นสูง, สาหร่าย และจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (heterotroph) สามารถนำซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตมาผลิตเป็นกรดอะมิโน เช่น ซีสเทอีน (cysteine), เมไทโอนีน (methionine) และโคเอนไซม์ชนิดต่างๆ (coenzyme) โดยอยู่ในรูปของซัลไฟไฮไดรล (sulfhydryl; -SH) หรือสารอินทรีย์อื่นๆ

(2) โลหะซัลไฟด์ (metal sulfides) ซัลเฟอร์ในรูปแบบนี้พบสะสมอยู่ในหินซึ่งเป็นรูปที่มีการหมุนเวียนของสารซัลเฟอร์ในอัตราต่ำ

(3) เม็ดซัลเฟอร์ (elemental sulfur deposit) และสารเชื้อเพลิง (fossil fuels) เป็นแหล่งสะสมที่มีการหมุนเวียนอย่างช้า

สารประกอบซัลเฟอร์ที่พบในแหล่งน้ำโดยทั่วไปมีสองรูป คือ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซัลเฟตเข้าสู่แหล่งน้ำโดยการตกลงมาพร้อมกับน้ำฝนและการละลายของหินหรือดินที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ แล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำ โดยปกติซัลเฟตจะละลายน้ำได้ไม่มากนักแต่ก็พบมากเป็นอันดับ 2 ในน้ำจืดรองจากแคลเซียม (เปี่ยมศักดิ์, 2543)

5.2.2 กระบวนการแปรสภาพของซัลเฟอร์

กระบวนการแปรสภาพของซัลเฟอร์มีปัจจัยต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ปริมาณออกซิเจน กลุ่มจุลินทรีย์ ค่าความเป็นกรดด่างหรือแม้กระทั่งรูปแบบของซัลเฟอร์ที่เป็นสารตั้งต้น โดยกระบวนการที่พบในวัฏจักรการหมุนเวียนซัลเฟอร์ มีดังนี้

(1) การย่อยสลายสารประกอบซัลเฟอร์โดยจุลินทรีย์ (microbial decomposition)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังแสดงในสมการที่ 7 กลุ่มจุลินทรีย์จะย่อยสารที่ประกอบกลุ่มซัลเฟอร์กับกลุ่มสารอินทรีย์อื่นๆ เช่น ซิสเทอีน (cysteine) ไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) ในสิ่งแวดล้อมที่ pH เป็นกลาง โดยมีเอนไซม์ desulfhydrase ซึ่งมีอยู่ในแบคทีเรียหลายสปีชีส์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่หากค่า pH ของสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า 7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (Vanloon and Duffy, 2005)



(2) ปฏิกริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน (sulfide oxidation)

คือ ปฏิกริยาที่ใช้ซัลไฟด์ในรูปที่ไม่เสถียร (HS^-) เป็นสารตั้งต้นและใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแปรสภาพไปเป็นซัลเฟตและน้ำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและค่า redox potential สูง โดยกลุ่มแบคทีเรีย chemolithotroph เช่น *Thiobacillus Thiooxidans*, *Beigiatoa*, *Thioploca* และ *Thiothrix* โดยปฏิกริยานี้สามารถเกิดขึ้นกับซัลไฟด์ที่มีความเสถียรต่ำ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์หรือเป็นผลิตภัณฑ์จาก sulfate reduction และเกิดการสะสมอยู่ในชั้นตะกอนใต้น้ำ โดยสมการของปฏิกริยาเป็นดังนี้ (สุบัญญัติ, 2548; Nelson, 1990; Vanloon and Duffy, 2005)



(3) ปฏิกริยาซัลเฟอร์ออกซิเดชัน (sulfur oxidation)

เป็นปฏิกริยาที่เปลี่ยนแปลงเม็ดซัลเฟอร์ (S^0) ให้อยู่ในรูปของกรดซัลฟิวริก ดังสมการที่ 9 โดยแบคทีเรียสกุล *Thiobacillus* บางสปีชีส์ ส่วนแบคทีเรียในสกุล *Sulfolobus* สามารถออกซิไดซ์เม็ดซัลเฟอร์ให้อยู่ในรูปของซัลเฟตเพื่อผลิตเป็นพลังงานภายใต้สภาวะเป็นกรดและมีอุณหภูมิ (hot acidic habitats)



(4) ปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชันแบบแอสซิมิลเลชัน (assimilatory sulfate reduction)

เป็นปฏิกริยาที่เปลี่ยนแปลงซัลเฟตไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ (R-SH) ดังสมการที่ 10 ปฏิกริยานี้จะมีการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณที่น้อยและไฮโดรเจนซัลไฟด์ในส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ พบได้ในการรีดิวซ์ซัลเฟตในสิ่งมีชีวิต



(5) ปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิลิเลชัน (dissimilatory sulfate reduction)

เป็นปฏิกริยาการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย จุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงซัลเฟตไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการที่ 11 ด้วยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟตรีดักชัน (sulfate reducing bacteria)



ปฏิกริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิลิเลชันนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลายสภาวะแวดล้อม แต่ข้อจำกัดของปฏิกริยามีเกิดจากการขาดแคลนแหล่งของคาร์บอนหรือสารตั้งต้นมากกว่าปัญหาการขาดแคลนซัลเฟตซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอน

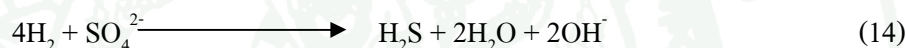
(6) ปฏิกริยาการหายใจโดยใช้เม็ดซัลเฟอร์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (sulfur respiration)

เป็นปฏิกริยาการหายใจโดยใช้เม็ดซัลเฟอร์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการที่ 12 ปฏิกริยานี้จะคล้ายคลึงกับปฏิกริยาที่มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (oxidative respiration) ดังสมการที่ 12 และ 13 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



5.2.3 กระบวนการได้มาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากตะกอนน้ำเสีย คือ ปฏิกิริยาการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) โดยแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria (US Environmental Protection Agency [US EPA], 2003) ได้แก่ *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* และ *Desulfomonas* (สุบัณฑิต, 2548) ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาพไร้อากาศโดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดิวชันแบบดิสซิมิลีชันนี้จะมีการปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในอัตราที่สูง โดยเฉพาะในตะกอนดินใต้ท้องน้ำที่ไม่มีออกซิเจน ตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ จะสังเกตเห็นการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากตะกอนที่มีสีดำ ซึ่งเป็นสีของเหล็กซัลไฟด์ ในการหายใจแบบไร้อากาศ การสะสมของก๊าซชนิดนี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูง ดังสมการที่ 14



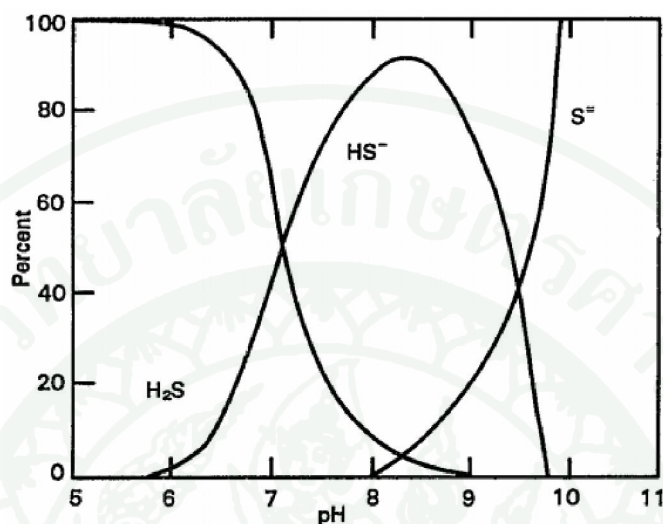
นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Bacillus Pseudomonas* และ *Saccharomyces* ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากซัลเฟตได้ แต่มีบทบาทน้อยมากในปฏิกิริยาแบบนี้ การรีดิวซ์ซัลเฟตเกิดได้ในช่วง pH ที่กว้าง รวมถึงความดัน อุณหภูมิและปริมาณเกลือในสิ่งแวดล้อมด้วย ปัจจัยที่จำกัดการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้

(1) สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนสำหรับการรีดิวซ์ซัลเฟตซึ่งได้แก่ ไพรูเวต (pyruvate) แล็กเตต (lactate) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2)

(2) การรีดิวซ์ซัลเฟตถูกยับยั้งเมื่อสิ่งแวดล้อมมีออกซิเจน ไนเตรต หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})

(3) ค่า pH ในสิ่งแวดล้อม สัดส่วนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อซัลไฟด์ไอออน หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่า pH โดยเมื่อสิ่งแวดล้อมมีความเป็นกรดสูง ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่อยู่ในรูปของก๊าซจะมากกว่าปริมาณซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) แต่ในทางตรงกันข้ามหากสิ่งแวดล้อมมีความเป็นด่างสูง ซัลไฟด์ไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ จะมีปริมาณมากกว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ แต่ถ้าค่า pH เป็นกลางจะมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์

ใกล้เคียงกับปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) แต่จะมีปริมาณซัลไฟด์ไอออนน้อยมาก (ไพทอร์ย์, 2553; Vanloon and Duffy, 2005)



ภาพที่ 11 เปอร์เซนต์ของสารประกอบซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วง pH 5.0-11

ที่มา: US EPA (1985)

2) มีการแข่งขันระหว่างกลุ่มแบคทีเรียซัลเฟตกับกลุ่มเมทาโนจิโนแบคทีเรียเพื่อใช้ตัวให้อิเล็กตรอน โดยภายในโคลนตะกอนการเกิด methanogenesis จะเกิดส่วนล่างถัดจากบริเวณที่มีซัลเฟต

เมื่อเปรียบเทียบการได้มาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากปฏิกิริยา dissimilatory sulfate reduction ที่เกิดจากแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศกับปฏิกิริยา assimilatory sulfate reduction ที่เกิดในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ พบว่าปฏิกิริยา assimilatory sulfate reduction ให้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในความเข้มข้นที่ต่ำ เนื่องจากถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ในทันที

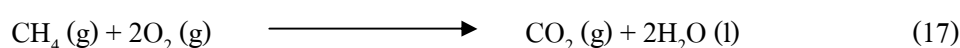
ในตะกอนที่มีปริมาณของสารอินทรีย์มาก เช่น โคลนในแหล่งน้ำหรือชั้นตะกอนที่มีปริมาณซัลเฟตสูงๆ มักเกิดปฏิกิริยา dissimilatory sulfate reduction เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (Zaggia *et al.*, 2007) และได้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่นเดียวกับในเขตป่าชายเลนซึ่งมีดินแสมและโกงกางขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น ในปี

หนึ่งๆ จะเกิดการร่วงของไบโอมัลไปใต้น้ำและเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียและเชื้อราในเวลาต่อมา ในช่วงแรกของการย่อยสลายกลุ่มแบคทีเรียที่มีบทบาทคือ aerobic bacteria ต่อมาเมื่อออกซิเจนถูกใช้จนหมดไป จะมีแบคทีเรียอีกกลุ่มคือ anaerobic bacteria ที่สามารถใช้ซัลเฟตไอออนที่มีมากในน้ำทะเลเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน แบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Desulfovibrio* และ *Desulfotomaculum* แบคทีเรียพวกนี้สามารถย่อยสลายซัลเฟตไอออนเพื่อดึงเอาออกซิเจนไปย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากในตะกอนได้น้ำเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่อมาไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่มีอยู่มากในดินตะกอน ได้เป็นเหล็กซัลไฟด์ (FeS_2) ที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ เกิดเป็นตะกอนสีดำ (ดวงพร, 2545; โพธิ์, 2553) และเมื่อเหล็กซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ซึ่งมีมากในดินจะกลายเป็นเหล็กไดซัลไฟด์หรือแร่ไพไรต์ (Vanloon and Duffy, 2005) ดินที่มีแร่ไพไรต์หากได้รับออกซิเจนเพียงพอจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นกรดในดินตะกอนได้ ตามสมการที่ 15 และ 16



5.3 มีเทน (Methane)

มีเทน (CH_4) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในโมเลกุลประกอบด้วย คาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม ในอุณหภูมิปกติจะอยู่ในสถานะก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี มีจุดเดือดที่ -164°C และจุดหลอมเหลวที่ -183°C เป็นก๊าซที่ไม่ละลายน้ำ มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.7167 g/L มีเทนเป็นองค์ประกอบหนึ่งของก๊าซในบรรยากาศ มีความสามารถในการติดไฟและจุดระเบิดในสภาวะที่มีออกซิเจน ให้เปลวไฟสีน้ำเงินค่าความร้อนเท่ากับ $7,800 \text{ kcal/m}^3$ โดยมีความสามารถในการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ดังสมการที่ 17 (รัชชัย, 2544 และ US EPA, 2001)



5.3.1 แหล่งที่มาของมีเทนในสิ่งแวดล้อม

มีเทน มีแหล่งที่หลากหลาย โดย US EPA (2011) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดหลักออกเป็น 2 กลุ่ม คือ จากกิจกรรมของมนุษย์และจากแหล่งธรรมชาติ

(1) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์

(1.1) พื้นที่ปลูกข้าว (paddy soil) ก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในขั้นตอนของการขังน้ำในนาข้าว ซึ่งจะทำให้ออกซิเจนถูกแบคทีเรียใช้หมดไป เกิดภาวะไร้ออกซิเจน ความเหมาะสมด้านปริมาณสารอาหารและความชื้น ซึ่งเหมาะสมแก่การทำงานของกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (methanogenesis bacteria)

(1.2) หลุมฝังกลบขยะ (land fills) หลุมฝังกลบขยะเป็นแหล่งกำเนิดมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์ในอันดับ 3 ในประเทศอังกฤษมีการศึกษาการปลดปล่อยมีเทนจากกิจกรรมนี้ พบว่าเป็นต้นเหตุของการเกิดมีเทน 17% จากมีเทนที่ปลดปล่อยออกมาทั้งหมดในปี ค.ศ.2009 ก๊าซมีเทนถูกสร้างขึ้นภายในหลุมฝังกลบจากกระบวนการย่อยสลายของเสียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีปัจจัยการเกิดก๊าซที่ขึ้นอยู่กับปริมาณของเสียและความชื้นภายใน

(1.3) ก๊าซธรรมชาติและการผลิตปิโตรเลียม (natural gas and petroleum system) มีเทนเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซธรรมชาติ โดยการปลดปล่อยเกิดจากการสูญหายของมีเทนระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา การขนส่งและการถ่ายโอนก๊าซไปยังแหล่งที่มีความต้องการ และเนื่องจากก๊าซมีเทนมักพบร่วมกับน้ำมันทำให้กระบวนการผลิตจนถึงการขนถ่ายน้ำมันมีบทบาทในการปลดปล่อยก๊าซมีเทนด้วย

(1.4) เหมืองถ่านหิน (coal mining) ภายในชั้นใต้ดิน ก๊าซมีเทนจะแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของถ่านหิน ทำให้กระบวนการผลิตถ่านหินของเหมือง เช่นการระเบิด ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมา

(1.5) มูลปศุสัตว์ (livestock manure) โดยเกิดจากระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่เป็นองค์ประกอบหลักของมูลสัตว์โดยแบคทีเรีย ภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน ระบบจัดการมูลปศุสัตว์ อาทิเช่น ระบบจัดการของเหลวภายในฟาร์มและบ่อพักน้ำเสียทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้โดยหลักการเดียวกัน

(1.6) ระบบบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment) ระบบบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมมีขั้นตอนการกำจัดสารอินทรีย์ของแข็ง เชื้อก่อโรคและสารเคมีที่ละลายปนเปื้อนอยู่ในน้ำ กระบวนการเหล่านี้ทำให้เกิดการปลดปล่อยของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศได้ หากการบำบัดเป็นแบบไร้อากาศ นอกจากนี้ตะกอนจากระบบบำบัด (sludge) ยังเป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้อีกด้วย

(2) แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

(2.1) พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland) มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ 170 Tg/ปี ลักษณะของพื้นที่ชุ่มน้ำมีสภาพอันเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของการผลิตก๊าซมีเทน (methanogenic) โดยจะเกิดในบริเวณพื้นที่ที่ไร้ออกซิเจนในชั้นตะกอนใต้น้ำ ซึ่งเป็นสภาพที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำแบบ wetland (Huttunen, 2006)

(2.2) ปลวก (termites) โดยพบอัตราการปลดปล่อยประมาณ 2-22 Tg/ปี ก๊าซมีเทนที่ผลิตโดยปลวกจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ปริมาณการปลดปล่อยจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

(2.3) มหาสมุทร แม่น้ำและปากแม่น้ำ (oceans, river, and estuaries) พบอัตราการปลดปล่อยประมาณ 9 Tg/ปี โดยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนของแพลงตอนก้นสัตว์ (zooplankton) และปลา รวมไปถึงกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในชั้นตะกอนใต้ทะเลและพื้นที่ระบายน้ำตามชายฝั่ง

(2.4) ไฟป่า (wildfires) พบการปลดปล่อยมีเทนจากแหล่งนี้ประมาณ 2-5 Tg/ปี โดยจะถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงที่เกิดเพลิงไหม้ เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่ไฟป่ามักเกิดขึ้นแถบป่าในเขตร้อน ไม่เพียงแต่การปลดปล่อยโดย

กระบวนการเผาไหม้ แต่การที่หน้าดินเปิดเนื่องจากไฟฟ้าและการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของหน้าดิน ยังทำให้กิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นอีกด้วย

5.3.2 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน

กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนจะเกิดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) โดยจุลินทรีย์ 4 กลุ่ม โดยมีลำดับการเกิดดังนี้

(1) ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส คือ ปฏิกริยาการเปลี่ยนสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ อันได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่เกินกว่าความสามารถดูดซึมของแบคทีเรียให้เป็นสารขนาดเล็กลง โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่ม hydrolysing bacteria

(2) ปฏิกริยาการเกิดกรด (acidogenesis)

ปฏิกริยาการเกิดกรด คือ ปฏิกริยาการย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดเล็กจากขั้นตอน hydrolysis ให้อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ด้วยกระบวนการหมัก (fermentation) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรดอินทรีย์โดยส่วนใหญ่ และยังทำให้เกิดสารอื่น เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2), กรดแอซติก (CH_3COOH) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมที่เกิดปฏิกริยา

(3) ปฏิกริยาการสร้างกรดแอซติก (acetogenesis)

ปฏิกริยาการสร้างกรดแอซติก คือ ปฏิกริยาการย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายจากปฏิกริยา acidogenesis ให้เป็นกรดแอซติก โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่ม acitogenic bacteria

(4) ปฏิกริยาการสร้างมีเทน (methanogenesis)

ปฏิกริยาการสร้างมีเทน คือ ปฏิกริยาการเปลี่ยนกรดแอซิดิกหรือก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยอาศัยแบคทีเรีย methanogens ซึ่งจัดอยู่กลุ่มอาร์เคีย (archae bacteria) ดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ซึ่งไม่มีความต้านทานต่อก๊าซออกซิเจนและมี pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-9.2 แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถใช้สารตั้งต้นที่ประกอบด้วยคาร์บอน 1-2 อะตอม เช่น เมทานอล (methanol), กรดฟอร์มิก (formic acid), กรดแอซิดิก (acetic acid), และก๊าซไฮโดรเจน ด้วยข้อจำกัดนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มอื่นเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้งานได้ (สุบัตินิต, 2548) โดยปฏิกริยาการสร้างมีเทนจะเป็นไปดังสมการที่ 18 และ 19



6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรอนงค์ (2541) กล่าวว่า “ก๊าซที่เกิดจากการหมักของขยะชุมชน ประกอบด้วยก๊าซมีเทน 60.46-89.07% กรดอินทรีย์ระเหยได้ 4.12-5.14% ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.96-15.34% แอมโมเนีย 0.00-15.34% คาร์บอนไดออกไซด์ 0.01-2.06% ของก๊าซที่เกิดขึ้นและก๊าซ H_2S และกรดอินทรีย์ระเหยได้ จะพบมากในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 2”

Dalsgaard and Bak (1994) ทำการศึกษาผลการยับยั้งปฏิกริยา nitrate reduction ที่เกิดขึ้นในแบคทีเรียจำพวก sulfate-reduction ชื่อว่า *Desulfovibrio desulfuricans* สายพันธุ์ C4S ซึ่งแยกได้จากดินนาข้าว ให้ผลการศึกษาเป็นดังนี้

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง nitrate reduction ของแบคทีเรีย *Desulfovibrio desulfuricans* ที่คัดแยกจากดินนาข้าวตามปริมาณซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณซัลไฟด์ (μM)	อัตรายับยั้ง nitrate reduction (%)
46	37
57	51
127	70
152	71

ที่มา: Dalsgaard and Bak (1994)

โดยปกติแล้วแบคทีเรียนี้มีความสามารถในการรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์และหลังจากนั้น 2-4 วัน จะรีดิวซ์ไนเตรตให้กลายเป็นแอมโมเนีย ในสถานะที่ขาดแคลนซัลเฟต ($4 \mu\text{M}$) หรือมีซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการรีดิวซ์ ปริมาณความเข้มข้นซัลไฟด์ที่มากขึ้นสามารถยับยั้งการรีดิวซ์ไนเตรตได้ แต่ในสถานะที่มีซัลเฟตในปริมาณมาก ($500 \mu\text{M}$) การยับยั้งการรีดิวซ์ไนเตรตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 9

Kelly and Chynoweth (1981) ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณสารอินทรีย์ที่ควบคุมอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจากตะกอนใต้น้ำ โดยเก็บตัวอย่างตะกอนใต้น้ำจากทะเลสาบน้ำจืด 2 แห่งในรัฐมิชิแกน พบว่าเมื่ออุณหภูมิได้ทะเลสาบมีการคงที่เป็นเวลานาน อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในทะเลสาบ โดยพบว่าสารอินทรีย์ที่แปรเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ $47 \pm 9 \%$

และพบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น คือ อายุตะกอน โดยการปลดปล่อยก๊าซจะลดลงในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน เนื่องจากมีตะกอนอายุน้อยซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ที่มีความสดใหม่จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ทะเลสาบน้อยกว่า ซึ่งคำกล่าวนี้สอดคล้องกับ Saarijärvi and Lappalainen (2002) และ Huttunen (2003)

Miao *et al.* (2006) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และ redox potential ในดินตะกอนทะเลสาบน้ำจืดรัฐ Louisiana สหรัฐอเมริกา ซึ่งรับน้ำจากแม่น้ำ Mississippi พบว่าค่า pH และค่า redox potential มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันซึ่งกันและกัน โดย pH ในตะกอนดินเพิ่มขึ้น เมื่อมีการลดลงของค่า redox potential และมีค่าลดลง เมื่อค่า redox potential เพิ่มขึ้น

Zaggia *et al.* (2007) ทำการศึกษา Sulphate reduction ratio (SRR) และการกระจายตัวของสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำและตะกอนภายในคลองต่างๆ ของกรุงเวนิส ประเทศอิตาลี เก็บตัวอย่างตะกอนในเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และตุลาคม ปี ค.ศ.2003 โดยเก็บที่ความลึก 5 เซนติเมตรจากผิวหน้าดินตะกอน เป็นพื้นที่ 1 ตารางเมตร แล้วส่งวิเคราะห์ปริมาณ SRR มีช่วงในการวัดตั้งแต่ 0.26 ถึง 0.99 ไมโครโมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน ($\mu\text{mol}/\text{cm}^3/\text{d}$) และมีการวัดข้อมูลประจำปีโดยใช้ diagenetic model ในช่วง 0.16 ถึง 0.43 $\mu\text{mol}/\text{cm}^3/\text{day}$ พบว่าปริมาณซัลเฟอร์ที่ตรวจพบมากที่สุดคือ pyrite-S รองลงมาคือ acid sulphides และธาตุซัลเฟอร์รวมกันน้อยกว่าร้อยละ 45 การตรวจพบเบื้องต้นนี้แสดงให้เห็นว่า Sulphate Reduction มีผลต่อความเสื่อมของ Organic matter ในน้ำ และเป็นสิ่งบ่งชี้การปนเปื้อนสารจากกิจกรรมของมนุษย์

Blunden *et al.* (2008) ทำการศึกษาอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์จากสถานที่กักกันสุกร ของรัฐนอร์ท แคโรไลนา โดยเก็บตัวอย่างในสถานกักกันภายในฟาร์มสุกรเป็นเวลา 1 สัปดาห์ใน 4 จุด โดยในฟาร์มมีจำนวนสุกรประมาณ 850-900 ตัว น้ำหนักเฉลี่ยของสุกรเท่ากับ 38-88 กิโลกรัม โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียในช่วงฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิเท่ากับ 8.91 ± 4.61 ppm และ 8.44 ± 2.40 ppm ตามลำดับ และในช่วงรอยต่อระหว่างฤดูร้อนกับฤดูใบไม้ร่วง พบค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยเท่ากับ 2.45 ± 223 ppm และ 47 ± 18 ppm ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในฤดูหนาว, ฤดูใบไม้ผลิ, ฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง เท่ากับ 673 ± 282 ppm, 429 ± 223 ppm, 47 ± 18 ppm, และ 304 ± 88 ppm ตามลำดับ สรุปว่าค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าก๊าซแอมโมเนียในทุกฤดู และค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยมีสูงในช่วงฤดูใบไม้ผลิมากที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. การวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของก๊าซ

1.1 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

1.1.1 เครื่อง gas chromatography (GC) ชนิด flame photometric detector (FPD)

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่อง gas chromatography (GC) hewlett packard model HP 6890 series GC system เป็นเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ โดยใช้วิธีฉีดก๊าซแบบควบคุมโดยผู้ใช้งาน(manual control) เข้าเครื่องผ่านทาง air sampling valve เข้าสู่ back inlet (อุณหภูมิ 250 °C, ความดัน 11.24 psi) แบบ split ratio 5:1 โดยมี split flow 5 mL/min มีฮีเลียมเป็น carrier gas ควบคุม flow rate ที่ 3.4 mL/min เข้าสู่ column agilent model 19091Z-216 ที่เคลือบด้วย methyl siloxane (ความหนา 1 ไมโครเมตร, ความยาว 6 เมตร) โดยควบคุมอุณหภูมิ oven ที่ 90 °C และใช้ flame photometric detector (FPD) (อุณหภูมิ 250 °C, H₂ flow 50.0 mL/min, air flow 60.0 mL/min) เป็นตัวตรวจจับก๊าซในตระกูลซัลเฟอร์ อาทิเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์, เมทิลเมอร์แคปแทน, เอทิลเมอร์แคปแทน, คาร์บอนิลซัลไฟด์ และไดเมทิลซัลไฟด์ (Catalan *et al.*, 2006) โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด 15 นาทีต่อตัวอย่าง



ภาพที่ 12 เครื่อง gas chromatography hewlett packard model HP 6890 series GC system

1.1.2 เข็มฉีดตัวอย่างก๊าซขนาด 10 mL

1.1.3 vial บรรจุก๊าซตัวอย่างหุ้มด้วยกระดาษฟรอยขนาด 6 mL

1.1.4 ก๊าซมาตรฐาน (standard gas) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความเข้มข้น 93.4 ppm

1.2 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

1.2.1 เครื่อง gas chromatography (GC) ชนิด flame ionization detector (FID)

การวิเคราะห์ก๊าซมีเทนใช้เครื่อง GC รุ่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แตต่างกันในส่วนของมีเทนจะใช้ detector ชนิด flame ionization detector (FID) ซึ่งมีหลักการตรวจจับก๊าซโดยใช้เปลวไฟความร้อนสูงเผาสารที่ออกจาก column จนแตกตัวเป็น ion แล้วใช้ขั้ว electrode ที่อยู่ภายใน detector เป็นตัวตรวจจับ โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่อง ดังนี้

ฉีดก๊าซแบบควบคุมโดยผู้ใช้งาน(manual control) เข้าเครื่องผ่านทาง air sampling valve เข้าสู่ back inlet (อุณหภูมิ 90 °C, ความดัน 9.80 psi) แบบ split ratio 5:1 โดยมี split flow 51.9 mL/min มีไนโตรเจนเป็น carrier gas ควบคุม flow rate ที่ 51.9 mL/min เข้าสู่ column restex 688 347 (ความหนา 1 μ m) โดยกำหนดอุณหภูมิวิเคราะห์ของ oven ที่ 120 °C และใช้ flame ionization detector (FPD) (อุณหภูมิ 200 °C, H₂ flow 40.0 mL/min, air flow 450.0 mL/min) เป็นตัวตรวจจับก๊าซ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด 10.5 นาทีต่อตัวอย่าง

1.2.2 เข็มฉีดตัวอย่างก๊าซขนาด 10 mL

1.2.3 Vial บรรจุก๊าซตัวอย่างหุ้มด้วยกระดาษฟรอยขนาด 6 mL

1.2.4 ก๊าซมาตรฐาน (standard gas) มีเทน ความเข้มข้น 101.7 ppm

1.3 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ก๊าซแอมโมเนีย

1.3.1 เครื่อง ion chromatography (IC)

เครื่อง ion chromatography model metrohm intelligent 882 เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ซึ่งอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนในสารละลายกับไอออนในของแข็งที่สัมผัสกับสารละลาย สามารถแยกหาปริมาณไอออนในสารละลายตัวอย่างโดยผ่านการแยกด้วยคอลัมน์แล้วตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของแต่ละไอออนนำมาคำนวณหาปริมาณไอออนในตัวอย่าง โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์การใช้เครื่อง IC เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ในรูปของ cation แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งตั้งค่าสภาวะเครื่อง ดังนี้ ใช้ค่า pump flow ที่ 0.9 mL/min ที่ความดัน 5.2 MPa ค่าอุณหภูมิ column เท่ากับ 30.0°C ค่า conductivity ของ eluent buffer เท่ากับ $750\text{--}800\ \mu\text{S/cm}$ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 30 นาทีต่อ 1 ตัวอย่าง



ภาพที่ 13 เครื่อง ion chromatography model metrohm intelligent 882

1.3.2 sorbent tube บรรจุ silica ยี่ห้อ SKC

1.3.3 personal air pump

1.3.4 air sampling bag ขนาด 10 L

1.3.5 filter membrane

1.3.6 deionized water (DI)

1.3.7 eluent buffer (alclrich 0.2238 g, nitric acid 215 μ L ปรับปริมาตรเป็น 2 L ด้วย deionized water)

1.4 ก๊าซความเข้มข้นมาตรฐาน (standard gas)

ก๊าซความเข้มข้นมาตรฐานบรรจุในถังอะลูมิเนียมปริมาตร 10 L โดยมีเวลาใช้งาน (self time) ภายใน 10 เดือน มีความดันภายในถึงเท่ากับ 150 bar/1.5 m^3 และใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็น balance gas โดยมีส่วนประกอบ ดังนี้

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบก๊าซความเข้มข้นมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิด	ความเข้มข้น (ppm; mole/mole)
H ₂ S	93.4
CH ₃ HS	104.6
CH ₄	101.7
Nitrogen	balance gas

1.5 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างก๊าซ

1.5.1 ขวดลิซ่า (chamber) ปริมาตร 2.5 L พร้อมฝา

1.5.2 thermometer

1.5.3 three way stopcock

1.5.4 parafilm (laboratory film) ยี่ห้อ M

1.5.5 PVC tube ขนาด 9 นิ้ว

1.5.6 disposable plain vacuum blood collection ขนาด 6 mL

1.5.7 syringe พร้อมเข็ม ขนาด 20 mL



ภาพที่ 14 เครื่องมือเก็บตัวอย่างก๊าซแบบ chamber gas

2. การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีของตะกอนดิน

2.1 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ extractable sulphate

2.1.1 เครื่อง spectrophotometer

2.1.2 erlenmeyer flask ขนาด 125 mL

2.1.3 volumetric flask ขนาด 250 mL

2.1.4 กระดาษกรองเบอร์ 1

2.1.5 สารละลายแคลเซียมไฮโปฟอสเฟต $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

2.1.6 กรดไฮโดรคลอริก HCl 6 N

2.1.7 ผงแบเรียมคลอไรด์ BaCl_2

2.2 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ total sulphate

2.2.1 เครื่อง digestion apparatus

2.2.2 erlenmeyer flask ขนาด 125 mL

2.2.3 volumetric flask ขนาด 250 mL

2.2.4 กระดาษกรองเบอร์ 1

2.2.5 สารละลายแคลเซียมไฮโปฟอสเฟต $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

2.2.6 กรดไฮโดรคลอริก HCl 6 N

2.3 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ carbon, hydrogen, nitrogen

2.3.1 เครื่อง CHNS/O ยี่ห้อ Perkin-Elmer รุ่น PE 2400 series II

2.3.2 เครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง ultramicrobalance แบบคานชั่ง

2.3.3 ท่อควอทซ์สำหรับบรรจุสารเร่งปฏิกิริยา (EA 1,000 reagent, silver tungstate on magnisium oxide, silver vanadate)

2.3.4 ท่อควอทซ์สำหรับบรรจุสารรีดิวซ์ (copper powder, copper oxide wire, silver gauze)

2.3.5 quartz wool สำหรับใช้กั้นสาร

2.3.6 combustion gas (oxygen 99.98%)

2.3.7 carier gas (helium 99.999%)

2.3.8 air zero

2.3.9 calibration standard

2.3.10 แคปซูลโลหะดีบุกฟอยล์ใส่สารตัวอย่างขนาด 8x5 mL

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนาม

3.1.1 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ (water samplers) ขนาด 1,000 mL พร้อมฉลาก Label

3.1.2 ถังพลาสติกชนิด polypropylene ขนาด 12x18 นิ้ว พร้อมยางรัดและฉลาก Label

3.2.3 multimeter kit ยี่ห้อ WTW model: Cond3210 สำหรับวัดอุณหภูมิ น้ำ, ค่า salinity, ค่า total dissolved solid (TDS) ค่า conductivity

3.2.4 dissolved oxygen meter ยี่ห้อ WTW model: Cond3205

3.2.5 pH meter ยี่ห้อ Index model: ID1000

3.2.6 เครื่องมือเก็บตะกอนใต้น้ำ

3.2.7 ฉลากระบายละเอียดตัวอย่าง

3.2.8 ขวด BOD ขนาด 300 cm³

3.2.9 น้ำแข็ง

3.2.10 ถังมือยาง

3.2.11 ผ้าปิดจมูก

3.2.12 ถังน้ำ

วิธีการ

1. การวิเคราะห์ภาคสนาม

1.1. การบันทึกข้อมูลพื้นที่ศึกษา

ทำการศึกษาข้อมูลด้านกายภาพของบริเวณโดยรอบจุดเก็บตัวอย่าง สังกัดและบันทึกกิจกรรมการใช้น้ำ แหล่งกำเนิดน้ำเสียและการจัดการน้ำเสีย ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

1.2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น การเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนน้ำเสีย

1.2.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำแต่ละจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์ภาคสนาม ตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำ, ค่า pH, ปริมาณ dissolved oxygen, ค่า total dissolved solid และค่า conductivity ของน้ำ จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำลงขวด BOD จำนวน 1 ขวด ปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันออกซิเจนจากภายนอก พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำลงขวดเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 1,000 mL จำนวน 2 ขวด โดยทุกขวดทำการเก็บน้ำ ณ ตำแหน่งความลึก 30 cm. จากผิวน้ำ ปิดฝาและติดฉลากบันทึกหมายเลขจุดเก็บตัวอย่างและวันเดือนปี เวลาที่เก็บแล้วรักษาสภาพตัวอย่างโดยการแช่ในน้ำแข็ง สำหรับส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ BOD, สารประกอบ sulfide, สารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ ได้แก่ TKN, nitrate และ ammonia

1.2.2 ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนปริมาตร 8 kg ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยทำการเก็บแบบสามเหลี่ยมแล้วนำตะกอนผสมให้เนื้อทุกส่วนเข้ากัน บรรจุลงในถุง PVC รัดปากถุง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ความลึก 30 cm จากผิวน้ำปริมาตร 1,500 mL บรรจุถุง PVC รัดปากถุงให้แน่น ด้วยยางรัด และทำการติดฉลากระบุจุดเก็บตัวอย่าง วันเดือนปีและเวลาที่เก็บ แล้วรักษาสภาพตัวอย่างโดยการแช่ในน้ำแข็ง สำหรับส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่เกิดจากตะกอน และการวิเคราะห์ค่า C:H:N ratio ต่อไป

2. การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.1 ชุดทดลองการศึกษานิตของก๊าซที่เกิดจากตะกอนน้ำเสียจาก Gas chamber

2.1.1 นำตะกอนที่ทำการเก็บและรักษาสภาพจากแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบรรจุลง chamber ที่เตรียมไว้ตามภาพที่ 12 chamber ละ 2 kg จำนวน 3 chamber จากนั้นนำน้ำที่รักษาสภาพด้วยความเย็นจากจุดเก็บตัวอย่างเดียวกันแบ่งเติมลงใน chamber ๓ ละ 500 mL ทำการปิดฝาที่มีการต่อกับ three way stopcock แล้วปิดทับด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการสูญหายของก๊าซจากตะกอน ดิดฉลาระบุนิตของก๊าซที่จะเก็บได้แก่ H_2S CH_4 NH_3 ที่ไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการ settle down ของตะกอน จากนั้นเริ่มนับเป็นครั้งที่ 1 ของการเก็บตัวอย่าง ใช้ syringe ดูดอากาศจาก chamber ผ่านทาง three way stopcock แล้วฉีดลง vacuum blood tube สีแดง และทำการเก็บก๊าซ ทุกๆ 8 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นในวันที่ 6-10 ทำการเก็บวันละ 1 ครั้ง โดยทุกครั้งให้รักษาสภาพตัวอย่างที่ตู้แช่อุณหภูมิ -70°C เพื่อรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC สำหรับก๊าซ H_2S และ CH_4 และเครื่อง IC สำหรับก๊าซ NH_3

2.1.2 สำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซ NH_3 เมื่อทำการเก็บตัวอย่างตามวิธีในข้อ 2.1.1 แล้ว จะใช้ syringe ดูดก๊าซที่ได้จาก vacuum blood tube ฉีดลงสู่ air sampling bag ขนาด 10 L ที่บรรจุ nitrogen gas 80% ของถุง จากนั้นต่อ air sampling bag เข้ากับ personal air pump (flow rate = 800.0 ± 0.5 mL/sec.) ที่ปลายด้านอากาศไหลออกต่อกับ sorbent tube โดยให้หักปลายกระเปาะหัวท้ายก่อนใช้ จากนั้นทำการเปิด personal air pump เป็นเวลา 5 นาที ให้อากาศจาก air sampling bag ไหลผ่าน sorbent tube จนหมด คึง sorbent tube ออกปิดด้วยจุกยางเก็บในที่แห้งปราศจากความชื้น รอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC

2.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของก๊าซด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

2.2.1 เช็ความพร้อมของระบบจ่ายไฟ เครื่อง GC คอมพิวเตอร์ และวาล์วก๊าซทั้งหมด

2.2.2 เปิดวาล์วก๊าซทั้งหมด อันได้แก่ ฮีเลียม (He) ไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) และแอร์ซีโร (air zero) จากนั้นเปิดเครื่อง GC แล้วตั้งเกดไฟบนหน้าปัดแสดงสถานะการทำงานของเครื่องติดขึ้น

2.2.3 เปิดคอมพิวเตอร์แล้วเลือก method ในการทำงาน (เลือกตามการตั้งค่าที่ระบุไว้ตามหัวข้ออุปกรณ์และสารเคมี)

2.2.4 รอจนกระทั่งกราฟบนหน้าโปรแกรมเดินเส้นนิ่งและมีข้อความแจ้งสถานะพร้อมทำงานของเครื่อง (ready for injection)

2.2.5 บันทึกชื่อตัวอย่างที่จะทำการฉีดลงบนหน้าโปรแกรม จากนั้นใช้ syringe สำหรับใช้งานเฉพาะเครื่อง GC ดูดอากาศจาก vacuum blood tube ปริมาตร 1 mL ฉีดผ่าน septum ณ ตำแหน่ง injection ของเครื่อง GC แล้วกดปุ่ม start ที่ตำแหน่งหน้าปัดของเครื่อง (ควรฉีด standard gas ก่อนการทำงานทุกครั้งเพื่อใช้เปรียบเทียบความคงที่ของการทำงาน)

2.2.6 สังเกตกราฟที่ได้จากการฉีดตัวอย่างเมื่อเทียบกับกราฟของ standard โดยสังเกตเวลาที่เกิดการ detection ของสาร (retention time) จากนั้นเลือกกราฟที่มี retention time ตรงกับ standard gas ทำการ integrate พื้นที่ใต้กราฟโดยใช้ฟังก์ชันภายในโปรแกรม จดบันทึกค่าที่ได้เป็นหน่วย ppm

2.3 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของก๊าซด้วยเครื่อง Ion chromatography (IC)

2.3.1 ผสมสารละลาย eluent buffer (ตามหัวข้ออุปกรณ์และวิธีการ) แล้วทำการ sonicate สารละลายที่ได้นาน 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายเข้ากันดี

2.3.2 เช็ควิธีการเชื่อมต่อของระบบจ่ายไฟ เครื่อง IC คอมพิวเตอร์ ขวดบรรจุกรด, สารละลายและขวดบรรจุของเสียให้อยู่ตรงตามตำแหน่งและต่อเชื่อมกับเครื่องเรียบร้อยแล้ว

2.3.3 ต่อขวดบรรจุสารละลาย eluent buffer เข้ากับ probe ลำเลียง buffer ของเครื่อง IC (ควรแช่ probe ในน้ำ DI ระหว่างรอเปลี่ยนถ่ายสารเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปใน column)

2.3.4 เปิดโปรแกรมควบคุมภายในคอมพิวเตอร์แล้วทำการตั้งค่าสภาวะการทำงานของเครื่องตามหัวข้ออุปกรณ์และวิธีการ จากนั้นทำการ equilibration เพื่อตรวจสอบสถานะของ eluent buffer โดยเปิดให้เครื่องทำงานไปเรื่อยๆจนเส้นกราฟมีความนิ่งเป็นช่วงยาวและค่า conductivity ของ eluent buffer อยู่ระหว่าง 750-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$

2.3.5 นำ sorbent tube ที่บรรจุตัวอย่างมาทำการแยกโมเลกุลของสารลงสู่สารละลายเพื่อการวิเคราะห์ โดยหัก sorbent tube แล้วเทเม็ด silica ใน tube ลงสู่หลอดพลาสติกขนาด 10 mL เติมน้ำ DI ปริมาตร 10 mL เขย่าแรงๆ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีแล้วเขย่าแรงๆอีก 1 นาที จากนั้นใช้ syringe พลาสติกที่ด้านปลายสวมหัวกรอง (filter) ที่มีรูพรุน คูด่วนที่เป็นของเหลวใสกรองผ่านหัวกรองแล้วปล่อยลงสู่ หลอดพลาสติกขนาด 10 mL จากนั้นนำหลอดพลาสติกนี้วางลงใน ส่วน auto run sampler ของเครื่อง

2.3.6 ทำการตั้งชื่อตัวอย่างและจำนวนตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ จากนั้นเริ่มคำสั่ง start โปรแกรมเพื่อเริ่มการวิเคราะห์ เมื่อการวิเคราะห์เสร็จสิ้น ทำการบันทึกค่าแอมโมเนียที่ได้จากเครื่อง มาทำการคำนวณปริมาณแอมโมเนีย จากสมการ

$$\frac{\{ A \times 10 (MW \times 18) \}}{V_{\text{air}} (\text{m}^3)} = \text{NH}_3 \quad (\text{mg}/\text{m}^3) \quad (20)$$

เมื่อ A : ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (mL)

MW : มวลโมเลกุล ($\text{NH}_3 = 17$)

V_{air} : ปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่นำมาวิเคราะห์ในหน่วยลูกบาศก์เมตร

จากนั้นนำปริมาณ NH_3 ในหน่วย mg/m^3 ที่ได้ นำไปแปลงให้อยู่ในหน่วย part per million โดยใช้สมการที่ 21

$$\frac{(\text{NH}_3 \text{ ในหน่วย } \text{mg}/\text{m}^3) \times 24.45}{MW} = \text{NH}_3 \text{ (ในหน่วย ppm)} \quad (21)$$

เมื่อ MW : มวลโมเลกุล ($\text{NH}_3 = 17$)

2.4 ทำการวิเคราะห์ปริมาณ available sulfate และ total sulfate ในตะกอนดินด้วยวิธี turbidimetric method ตามวิธีของ ทศนีย์ และ จงรักษ์ (2551)

2.5 ทำการวิเคราะห์ค่า C:H:N ratio (ปริมาณคาร์บอนต่อไฮโดรเจนต่อไนโตรเจน) ในตะกอนดิน โดยวิธีของอัมพร (2552)

2.6 ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ sulfide ในน้ำ โดยวิธีมาตรฐาน iodometric titration method ตามวิธีของมนัส (2538)

2.7 วิเคราะห์ค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ตามวิธีใน standard methods (APHA, AWWA and WEF, 2005) โดยนำไปบ่มในที่มืด อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นนำมาหาปริมาณออกซิเจนที่เหลือ โดยใช้วิธีเดียวกับการหาค่า DO คำนวณหาค่า BOD_5 โดยใช้สมการ

$$BOD_5 = DO_{ini} - DO_{final} \quad (22)$$

โดยที่ DO_{ini} = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ไดเตรทได้ในวันแรก
 DO_{final} = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ไดเตรทได้ในวันที่ 5

3. การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

3.1 บันทึกปริมาณก๊าซ ชนิดของก๊าซและแนวโน้มของการเกิดก๊าซแต่ละชนิดจำแนกตามแหล่งกำเนิด

3.2 นำข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม โดยใช้โปรแกรม microsoft excel

3.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดก๊าซกับลักษณะทางกายภาพของจุดเก็บตัวอย่างและลักษณะทางเคมีของตะกอนน้ำเสียและน้ำจากแต่ละจุดเก็บ

4. สถานที่วิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งสถานที่วิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด เก็บตัวอย่างที่คลองทรงเทวดา ซอย 23/1 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร และกลุ่มที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด เก็บตัวอย่างที่ 1) บ่อกักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ พื้นที่ศึกษาภายในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์สุพรรณบุรี อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 2) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลัง-แปรงมันคัดแปรและแปรงมันแปรรูป บริษัท อุตสาหกรรมแปรงมันบ้านโป่ง ถนน งามเบิกไพร อำเภอบ้านโป่ง จ. ราชบุรี และ 3) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติพึ่งธรรมชาติ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบล แหลมผักเบี้ย อำเภอ บ้านแหลม จ.เพชรบุรี เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ดียิ่งขึ้น โดยรายละเอียดของสถานที่วิจัย มีดังนี้

4.1 คลองทรงเทวดา ซอย 23/1 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร เป็นคลองคอนกรีตความยาวประมาณ 800 เมตร ความลึก 3 เมตร ทำหน้าที่ระบายน้ำล้นถนนจากถนนจรัญสนิทวงศ์เพื่อป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ โดยด้านปลายคลองจะเชื่อมต่อกับคลองชักพระ แต่เดิมปลายคลองทรงเทวดาด้านติดกับถนนจรัญสนิทวงศ์ต่อเชื่อมกับคลองอีกสายหนึ่ง ต่อมาเมื่อมีการก่อสร้างถนนจรัญสนิทวงศ์ทำให้ปลายคลองถูกปิดทับด้วยผิวถนนและมีการฝังท่อระบายน้ำจากถนนลงคลอง แทนที่การระบายน้ำจากท่อระบายน้ำขอบถนนลงคลองโดยตรง ระดับน้ำในคลองจะได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำในคลองชักพระที่แปรผันตามระดับน้ำที่ควบคุมโดยประตูระบายน้ำ

สภาพพื้นที่โดยรอบคลองทรงเทวดา พบว่ามีบ้านเรือนของคนในชุมชนตั้งอยู่ตลอดแนวคลอง และมีพื้นที่ที่คนในชุมชนได้ทำการทูลเกล้าถวายสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สำหรับใช้เป็นสถานที่ก่อสร้างสวนสาธารณะให้กับคนในชุมชน ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากถนนจรัญสนิทวงศ์เข้าไปประมาณ 700 เมตร

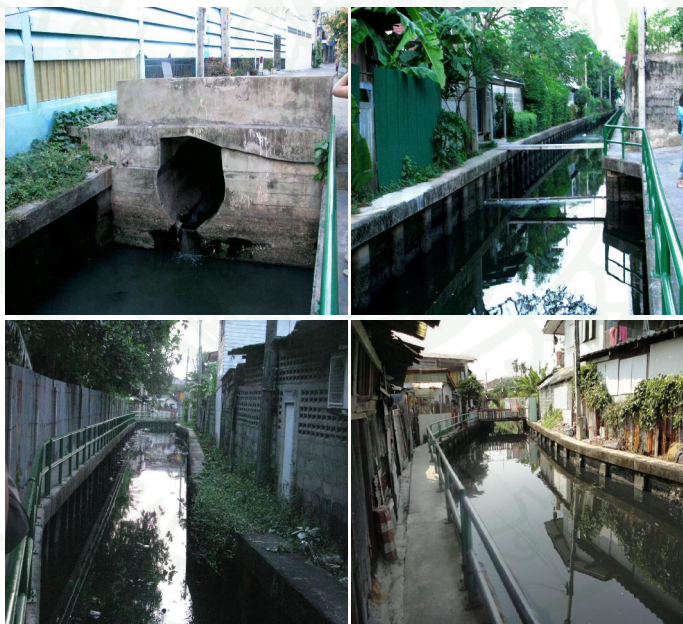
การวิจัยครั้งนี้ มีกำหนดจุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวคลองรวม 4 จุด ดังนี้

4.1.1 จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 1 บริเวณจุดเชื่อมต่อกับท่อระบายน้ำจากถนนจรูญสนิทวงศ์ โดยขอบคลองด้านหนึ่งติดกับหลังโรงเรียนนวมวิทย์ และอีกด้านติดกับหมู่บ้านสุขสบายซึ่งเป็นหมู่บ้านจัดสรร

4.1.2 จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 2 ห่างจากจุดเก็บที่ 1 ประมาณ 200 เมตร บริเวณจุดเชื่อมต่อกับลำกระโคงสาธารณะที่สร้างด้วยคอนกรีตทอดยาวจากซอยย่อยของถนนจรูญสนิทวงศ์ 23 ลักษณะจุดเก็บตัวอย่างเป็นคอกขุด และมีความกว้างของคลองมากกว่าจุดเก็บอื่นๆ รอบๆบริเวณมีบ้านเรือนของคนในชุมชนตั้งอยู่ติดคลอง

4.1.3 จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 3 ห่างจากจุดเก็บที่ 2 ประมาณ 200 เมตร บริเวณส่วนที่แคบที่สุดของคลอง อยู่ติดกับพื้นที่ก่อสร้างสวนสาธารณะ บริเวณโดยรอบมีโรงประกอบอาหารสำเร็จรูปตั้งอยู่ติดคลองฝั่งถนนจรูญสนิทวงศ์ 25 และมีร่องระบายน้ำขนาดเล็กจากถนนจรูญสนิทวงศ์ 23 ซึ่งทำหน้าที่ระบายน้ำฝนถนนต่อเชื่อมลงสู่คลองทรงเทวดาระยะห่างจากจุดเก็บตัวอย่างประมาณ 20 เมตร

4.1.4 จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 4 บริเวณใกล้ปากคลองที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับคลองชักพระ ระยะห่างจากปากคลองประมาณ 100 เมตร ลักษณะทั่วไปโดยรอบมีบ้านเรือนของชาวบ้านในชุมชนตั้งอยู่โดยรอบ และมีการสร้างสะพานเชื่อมระหว่างสองฝั่งคลอง



ภาพที่ 15-16 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง (ภาพใหญ่) และลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (ภาพเล็กบนซ้าย)
 จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 2 (ภาพเล็กบนขวา) จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (ภาพเล็กล่างซ้าย)
 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 (ภาพเล็กล่างขวา) คลองทรงเทวดา ซอย 23/1 ถนน จรัญสนิทวงศ์
 แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

ที่มา: Google Map (2010)

4.2 บ่อพักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ พื้นที่ศึกษาภายในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์สุพรรณบุรี อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี

โรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีเป็นสถานที่สำหรับพักสัตว์ กรรมวิธีฆ่า ชำแหละ และล้างทำความสะอาดชิ้นส่วนเนื้อสัตว์ โดยประกอบด้วยส่วนพักสัตว์มีลักษณะเป็นโรงเรือนเปิด ภายในแบ่งเป็นคอกแยกสัตว์เป็นสัดส่วน และส่วนฆ่าและชำแหละสัตว์มีลักษณะเป็นห้องปิดอยู่ใกล้เคียงกัน โดยเวลาทำการฆ่าจะแบ่งเป็นสองช่วง ได้แก่ เวลาหัวค่ำ และ เวลาเช้ามืด ของทุกวัน

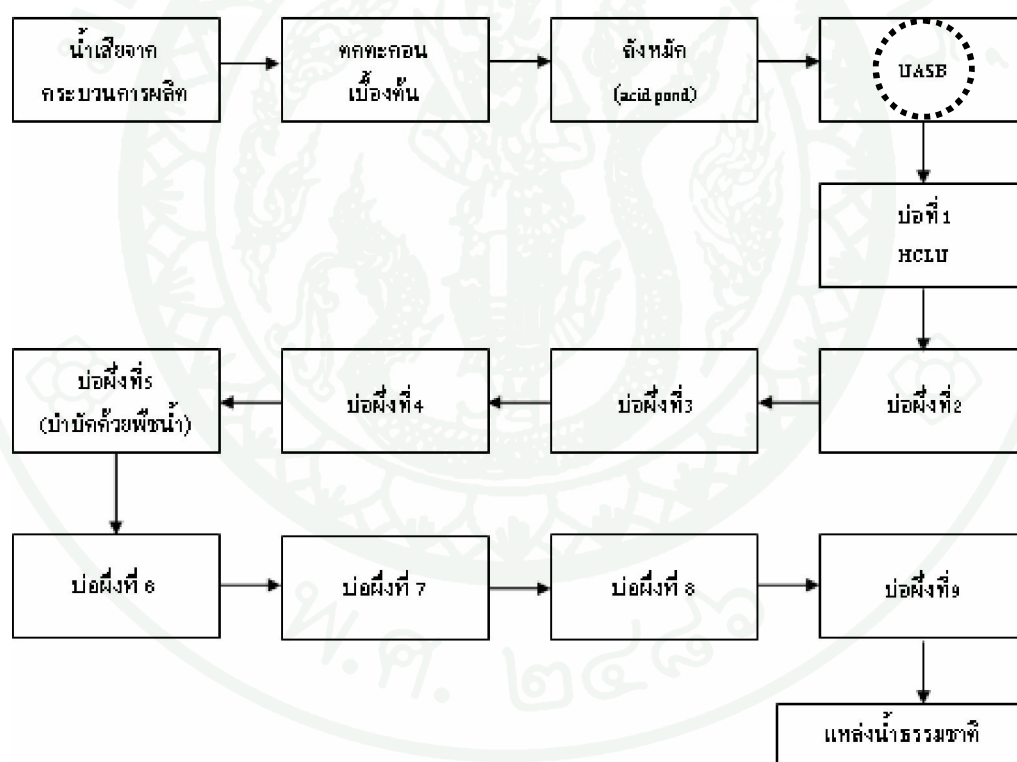
จุดเก็บตัวอย่างในงานวิจัยนี้อยู่บริเวณบ่อพักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ทำหน้าที่รับน้ำเสียจากกิจกรรมการฆ่าสัตว์ภายในโรงฆ่าสัตว์ ตลอดจนน้ำล้างโรงเรือน ลักษณะเป็นบ่อฝังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตั้งอยู่ในที่โล่ง จากการสังเกตพบว่าบ่อมีความตื้นเขินและมีตะกอนสีแดงเข้มเลือดหมูตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ



ภาพที่ 17 จุดเก็บตัวอย่างบ่อพักน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ พื้นที่ศึกษาภายในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศูนย์สุพรรณบุรี อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี

4.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง-เป็้งมันคั้ดแปรและเป็้งมันแปรรูป บริษัท อุตสาหกรรมเป็้งมันบ้านโป่ง ถนน ฐุเบ็กไพร อำเภอบ้านโป่ง จ. ราชบุรี

บริษัท อุตสาหกรรมเป็้งมันบ้านโป่ง เป็นบริษัทผลิตและแปรรูปมันสำปะหลังทั้งในรูปแบบของเป็้งมันสำปะหลัง เป็้งมันคั้ดแปรและเป็้งมันแปรรูป มีกำลังการผลิต 250 ตันต่อวัน ซึ่งในกระบวนการผลิตมีน้ำเสียเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ การผลิตและการล้างทำความสะอาดพื้นที่และเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตรวมแล้ว 1,200 – 1,500 ลบ.ม.ต่อวัน มีการบำบัดน้ำเสียแบบ upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ร่วมกับการใช้บ่อบั่่ง และมีการนำก๊าซที่ได้จากระบบ UASB และระบบ Hybrid Cover Lagoon Unit (HCLU) ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไอน้ำ ตามแผนผังดังภาพที่ 17



ภาพที่ 18 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของบริษัทอุตสาหกรรมเป็้งมันบ้านโป่ง จำกัดและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2552)

ขั้นตอนการบำบัดเริ่มด้วย น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะถูกส่งต่อไปยังบ่อตกตะกอนหนัก (settling solids) และของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ซึ่งจะเกิดขึ้นมากในกระบวนการล้าง รากมันสำปะหลัง จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งไปยังบ่อหมัก (acid pond) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง โดยระบบนี้จะมี pH ที่ต่ำกว่า 6.5 จากนั้นน้ำเสียจะถูกปรับสภาพด้วยปูนขาว เพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดไร้อากาศแบบปิด ระบบ UASB ที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยจุลินทรีย์แบบแขวนลอย โดยน้ำเสียจะไหลเข้าจากด้านล่างของถัง (upflow) น้ำเสียจะไหลขึ้นมาผสมกับ จุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปของตะกอนที่ถูกเลี้ยงให้จับตัวเป็นเม็ด (granule) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร จากนั้นน้ำใสหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลล้นออกทางด้านบน ของระบบ แล้วลำเลียงสู่บ่อบำบัดระบบ HCLU และบ่อฝั่งจำนวน 9 บ่อ ก่อนที่จะปล่อยลงสู่ แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

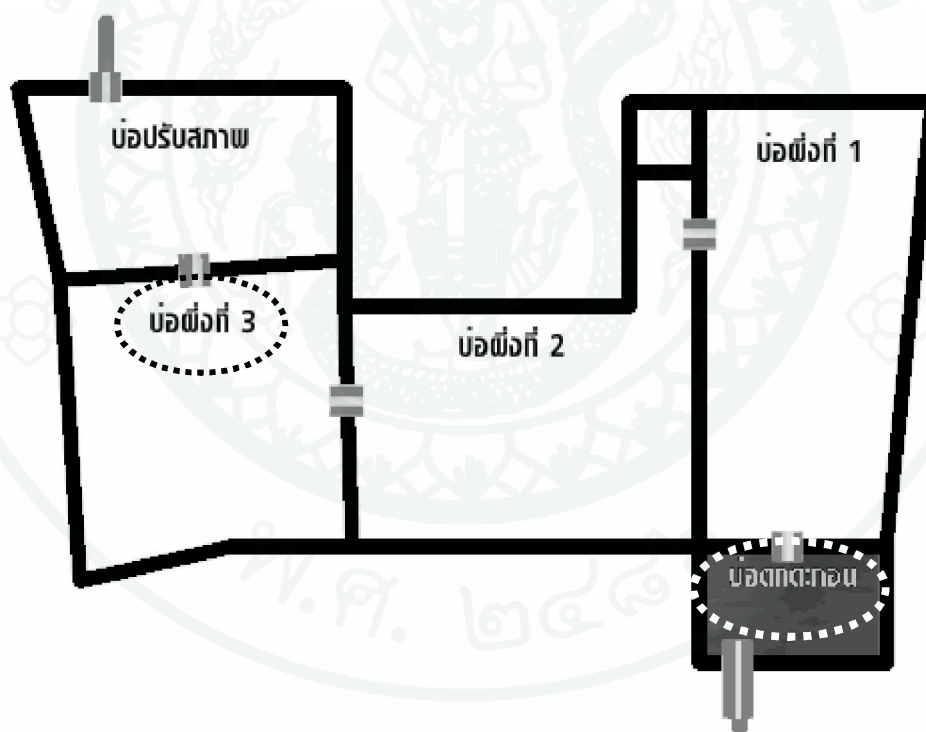
จุดเก็บตัวอย่างสำหรับงานวิจัยครั้งนี้อยู่ที่ระบบบำบัด UASB โดยเก็บตัวอย่างตะกอน ภายในระบบบำบัดซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด granule สีดำ



ภาพที่ 19 ลักษณะจุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลัง-แปรงมัน คัดแปรงและแปรงมันแปรรูป บริษัท อุตสาหกรรมแปรงมันบ้านโป่ง (ภาพเล็กด้านขวา) และลักษณะตะกอนตัวอย่าง (ภาพใหญ่อด้านซ้าย)

4.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติพึ่งธรรมชาติโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบล แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จ.เพชรบุรี

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.เพชรบุรีเป็นโครงการที่จัดตั้งขึ้นเพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้องค์ความรู้ด้านการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติพึ่งธรรมชาติ ซึ่งประยุกต์หลักการทางธรรมชาติมาใช้บำบัดน้ำเสียจากพื้นที่เทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยพื้นที่โครงการอยู่ห่างจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีประมาณ 22 กิโลเมตร น้ำเสียจะถูกรวบรวมที่บ่อรวบรวมน้ำเสียสถานีบ้านคลองยางแล้วลำเลียงผ่านท่อเข้าสู่บ่อดกตะกอนเป็นบ่อแรกและไหลผ่านสูบ่อฝิ่งที่ 1, 2, 3 และบ่อปรับสภาพก่อนปล่อยลงสู่ป่าชายเลน (โครงการแหลมผักเบี้ยฯ, 2543) ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 20 จุดเก็บตัวอย่างบ่อดกตะกอนและบ่อฝิ่งที่ 3 ภายในระบบบำบัดแบบบ่อ (lagoon-treatment) โครงการแหลมผักเบี้ยฯ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ที่มา: โครงการแหลมผักเบี้ย, 2543

จุดเก็บตัวอย่างสำหรับงานวิจัยบริเวณระบบบำบัดน้ำเสียโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้แก่ บ่อตะกอน บ่อฝิ่งที่ 3 และป่าชายเลน ซึ่งแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีลักษณะ ดังนี้

4.4.1 จุดเก็บตัวอย่างบ่อตกตะกอน (sedimentation pond) ในระบบบำบัดแบบ lagoon treatment รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความลึก 2.3 เมตร ทำหน้าที่ตกตะกอนสิ่งปนเปื้อนมากับน้ำเสียจำพวกของแข็งและสารแขวนลอย ทำให้น้ำในบ่อมีสีคล้ำดำ โดยทางน้ำเข้าของบ่อมีการจึงตะแกรงกรองขยะและสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่

4.4.2 จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝิ่งที่ 3 ในระบบบำบัดแบบ oxidation pond ลักษณะบ่อเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ความลึก 1.8 เมตร ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างผิวน้ำและอากาศรวมทั้งพืชน้ำที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ อาทิเช่น สาหร่าย ทำให้น้ำในบ่อมีสีเขียวเล็กน้อย

4.4.3 จุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชป่าชายเลน (mangrove forest filtration) เป็นพื้นที่รับน้ำล้นจากบ่อปรับสภาพเพื่อทำการเจือจางกับน้ำทะเล เป็นการปรับสภาพน้ำและปล่อยลงสู่พื้นที่ธรรมชาติ ลักษณะเป็นพื้นที่ลาดลงทะเล มีน้ำขึ้น-ลง ตามระดับของน้ำทะเล ลักษณะดินเป็นดินโคลนละเอียด สีคล้ำ บริเวณแปลงมีพืชจำพวกแสมและโกงกางเป็นชนิดเด่น



ภาพที่ 21 จุดเก็บตัวอย่างโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตำบล แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จ.เพชรบุรี และลักษณะจุดเก็บตัวอย่างบ่อดักตะกอน (ภาพเล็กบนซ้าย) บ่อฝังที่ 3 (ภาพเล็กบนขวา) แปลงพืชป่าชายเลน (ภาพเล็กล่างซ้าย-ขวา)

ผลและวิจารณ์

1. การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซจากตะกอนน้ำเสีย

ผลการตรวจวิเคราะห์ชนิดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนและก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากตะกอนน้ำเสียจากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ประเภท คือ พื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด และ พื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด รวมทั้งสิ้น 9 จุดเก็บตัวอย่างพบช่วงความเข้มข้นของการเกิดก๊าซทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงตามตาราง

ตารางที่ 11 ช่วงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย มีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากตะกอนน้ำเสียแยกตามจุดเก็บ

จุดเก็บตัวอย่าง	ช่วงของความเข้มข้นที่พบ (ppm)		
	Ammonia	Hydrogen sulfide	Methane
คลองทรง 1	0 - 67.92	0.59 - 3.51	9,119 - 30,370
คลองทรง 2	0 - 71.31	0.42 - 3.28	8,427 - 38,236
คลองทรง 3	0 - 84.89	0.62 - 6.35	4,576 - 101,395
คลองทรง 4	0 - 67.92	1.42 - 4.74	3,922 - 24,399
โรงฆ่าสัตว์	0 - 75.84	5.78 - 60.51	441,473 - 7,815,618
โรงงานแปรงมันสำปะหลัง	0 - 44.15	5,894 - 68,050	729,404 - 9,900,837
บ่อดกตะกอน	0 - 36.22	55.94 - 360.27	545,686 - 9,560,606
บ่อฝัง 3	0 - 67.92	5.73 - 45.15	438,704 - 9,239,038
ป่าชายเลน	0 - 38.49	58.94 - 372.19	614,191 - 9,358,871

โดยผลการทดลองและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ต่อการเกิดก๊าซในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีรายละเอียด ดังนี้

1.1 พื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด

ผลการตรวจวิเคราะห์ชนิดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนและก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด จากจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดา เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร ทั้ง 4 จุด โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวคลองคอนกรีตที่มีความยาวประมาณ 800 เมตร ลึก 3 เมตร แล้วบรรจุตะกอนน้ำเสียใน chamber gas และเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างวันที่ 4-13 มีนาคม พ.ศ.2554 จากนั้นตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และมีเทนด้วยเครื่อง GC ส่วนก๊าซแอมโมเนียตรวจวัดด้วยเครื่อง IC ได้ผลการวิจัย ดังนี้

1.1.1 ก๊าซแอมโมเนีย

(1) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 1 (จุดเก็บท้ายคลองทรงเทวดา หลังโรงเรียน นฤมลทิน)

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 4-9 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 67.92 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 3, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 4-6 และค่อยๆ ลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 9 ก๊าซแอมโมเนียที่พบเกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจากหมู่บ้านสุขสบายและน้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำถนนเจริญสุขนิทวงศ์ลงสู่บริเวณคลองทรงเทวดา ทำให้สารอินทรีย์ไนโตรเจนเกิดการย่อยสลายโดยกระบวนการ ammonification (วิสา, 2550; Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) และกระบวนการผันกลับของไนเตรด dissimilatory nitrate reduction (Lapota *et al.*, 2000; US EPA, 1999) ได้เป็นก๊าซแอมโมเนียและเนื่องจากการเก็บตัวอย่างทำในฤดูหนาว ทำให้น้ำเสียในจุดนี้เป็นน้ำทิ้งชุมชนที่มาจากห้องครัวและการซักล้างบริเวณโดยรอบจุดเก็บตัวอย่างและจากท่อระบายน้ำถนนเจริญสุขนิทวงศ์ ซึ่งทำให้น้ำมีการปนเปื้อนองค์ประกอบของโปรตีนในสิ่งมีชีวิตเห็นได้จากผลการวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำที่มีค่าเท่ากับ 14 mg/L เท่ากันกับจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 4 โดยความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียที่เกิดจากตะกอนเป็นอันดับ 3 รองจากจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 และ คลองทรง 2 ตามลำดับ แต่เท่ากับคลองทรง 4 อธิบายได้ว่ามีแรงน้ำจากท่อระบายน้ำจาก

ถนนเจริญสนิทวงศ์และท่อระบายน้ำจากบ้านเรือนชุมชน ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับคลอง ตกกระทบน้ำที่อยู่ในคลอง ทำให้เกิดการรบกวนมวลตะกอนได้น้ำและเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับออกซิเจน เพิ่มโอกาสในการหลุดหายไปของก๊าซจากชั้นตะกอนและชั้นน้ำ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ DO ที่มีค่า 1.1 mg/L ซึ่งมีค่าสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 2 และ 3 และค่า BOD เท่ากับ 27 mg/L ซึ่งต่ำกว่าทุกจุดเก็บตัวอย่าง

(2) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 2 (จุดเชื่อมต่อกับลำกระโคงสาธารณะ)

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 71.31 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3-6 และค่อยๆลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 9 จุดเก็บตัวอย่างนี้รับน้ำทั้งจาก 2 แหล่งคือบ้านเรือนชุมชนรอบจุดเก็บตัวอย่างและลำกระโคงสาธารณะที่มาจากซอย 23 ทำให้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียจากตะกอนน้ำเสียเป็นอันดับ 2 รองจากจุดเก็บที่ 3 ซึ่งการทับถมของขยะและสิ่งปฏิกูลที่มาจากแหล่งชุมชนเอื้อต่อการเกิดการทับถมของสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน อาทิ โปรตีนจากเศษอาหารและเศษพืชที่ชุมชนทิ้งลงคลอง ตลอดจนเศษซากสาหร่ายที่ตายลง ทำให้การเกิดสภาพไร้อากาศได้น้ำได้ดีขึ้น โดยรับกับผลการวิเคราะห์แอมโมเนียในน้ำที่มีค่าเท่ากับ 18 mg/L ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยา ammonification (วิสา, 2550; Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) และกระบวนการผันกลับของไนเตรด dissimilatory nitrate reduction (Lapota *et al.*, 2000; US EPA, 1999) สูงเป็นอันดับ 2 รองจากจุดเก็บที่ 3

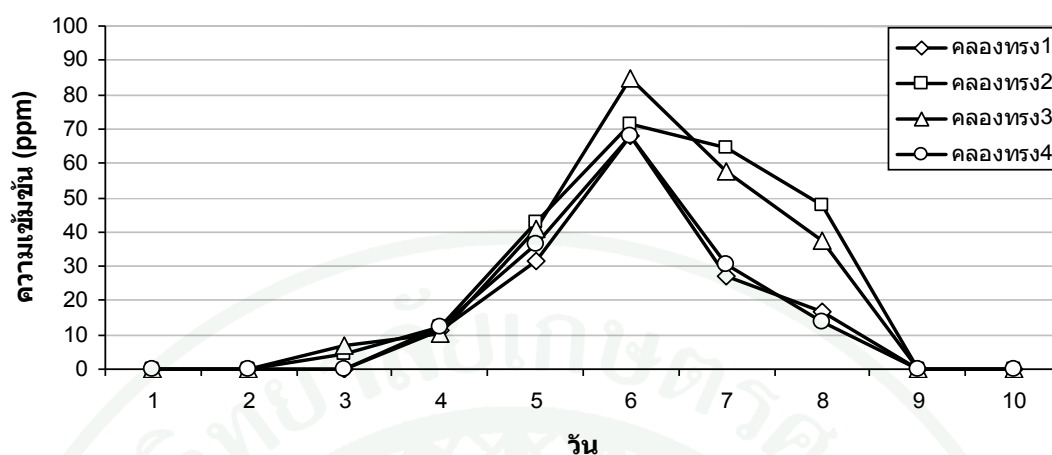
(3) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 3 (จุดแคบที่สุดของคลอง)

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 84.89 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3-6 และค่อยๆลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 9 การพบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจากตะกอนสูงสุดเป็นอันดับ 1 ณ จุดเก็บนี้มาจากลักษณะการรับน้ำเสียที่มาจากโรงประกอบอาหารสำเร็จรูปซึ่งปล่อยลงสู่คลองโดยตรง โดยน้ำเสียมาจากกิจกรรมการทำอาหาร การล้างสถานที่และอุปกรณ์การทำอาหาร ซึ่งทำให้เกิดขยะจำพวกเศษข้าว เศษผักและเครื่องเทศปรุงรสต่างๆ ที่มีองค์ประกอบของโปรตีนและไนโตรเจนในรูปชีวเคมี

โมเลกุลที่สามารถทำให้แบคทีเรียในน้ำและตะกอนเกิดปฏิกิริยา ammonification (วิสา, 2550; Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) และกระบวนการผันกลับของไนเตรต dissimilatory nitrate reduction ในดินตะกอนได้น้ำที่อยู่ในสภาพไร้อากาศ (Lapota *et al.*, 2000; US EPA, 1999) นอกจากนี้ยังพบคราบไขมันที่เกิดจากการประกอบอาหารลอยหน้าผิวน้ำซึ่งเอื้อต่อการเกิดสภาพไร้อากาศเพราะออกซิเจนถูกขัดขวางการแพร่ลงสู่ น้ำ แต่ลักษณะแคบของคลองทำให้การไหลของน้ำเร็วขึ้นและการพบปริมาณไนเตรตในน้ำที่มีค่าเท่ากับ 0.69 mg/L สูงสุดเป็นอันดับ 1 จึงอาจสรุปว่าก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยา ammonification มากกว่า dissimilatory โดยสอดคล้องกับการพบปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่มีค่าเท่ากับ 19 mg/L

(4) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 4 (ใกล้จุดเชื่อมต่อปากคลองกับคลองชักพระ)

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 4-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 67.92 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 4-6 และค่อยๆลดลงจนกระทั่ง 0 ppm ในวันที่ 9 จุดเก็บตัวอย่างนี้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียเป็นอันดับ 3 และมีค่าแอมโมเนียในน้ำเท่ากับ 14 mg/L เท่ากับจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และ 3 จากการที่ลักษณะที่ตั้งของจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 อยู่ใกล้กับจุดที่คลองทรงเทวดาบรรจบกับคลองชักพระ ทำให้ตะกอนใต้น้ำของจุดเก็บนี้ได้รับอิทธิพลจากตะกอนที่ไหลตามกระแสน้ำในคลองชักพระที่มีขนาดใหญ่กว่า รวมทั้งการที่บริเวณคลองชักพระมีการเดินเรือผ่านไปมาเกิดการกระเพื่อมของน้ำ ทำให้กระแสน้ำมีโอกาสพัดพาและเข้ามาทับถมได้ ซึ่งโดยเหตุผลเดียวกัน ทำให้องค์ประกอบโปรตีนซึ่งสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซแอมโมเนีย ถูกเจือจางโดยแรงของกระแสน้ำจากคลองชักพระ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบไนโตรเจนในตะกอนที่ต่ำกว่าทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่างและค่า DO ที่เท่ากับ 1.2 mg/L แสดงให้เห็นถึงระดับออกซิเจนในน้ำที่สูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆ



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดคลองทรงเตวดา 1, 2, 3 และ 4

1.1.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

(1) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 1 (จุดเก็บท้ายคลองทรงเตวดาหลังโรงเรียนฤมลทิน)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 3.51 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.59 ppm ในวันที่ 3 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่ลดลงตั้งแต่วันที่ 1-3 จากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในวันที่ 6 แล้วมีแนวโน้มลดลงต่ำอีกครั้งจนถึงวันที่ 8 หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นและลดลงจนความเข้มข้นสุดท้ายที่พบคือ 1.39 ppm ในวันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 1 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์เป็นอันดับที่ 3 รองจาก จุดเก็บที่ คลองทรง 3 และ คลองทรง 4 ก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ที่พบ มาจากการตกตะกอนของสารชีวอินทรีย์ซัลเฟอร์จำพวกกรดอะมิโน ซึ่งอยู่ในน้ำเสียที่ถูกปล่อยจากบ้านเรือนโดยรอบลงสู่คลอง เกิดการตกตะกอนและการย่อยสลายได้ทั้งน้ำ แบคทีเรียจำพวก sulfate reducing bacteria จะย่อยสลายแบบ assimilatory sulfate reduction และ dissimilatory sulfate reduction (สุบัตินิต, 2548) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยจะเกิดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างนี้ตั้งอยู่ปลายคลองซึ่งเป็นปลายปิด ทำให้การหมุนเวียนของน้ำทำได้ไม่ดีนักเอื้อต่อการเกิดสภาวะนี้ แต่เนื่องด้วยเหตุผลเดียวกันทำให้ตะกอนจุดนี้มีโอกาสในการรับน้ำเสียใหม่น้อยลง โดยพบว่าค่า BOD เท่ากับ 21 mg/L ซึ่งแสดงถึงระดับสารอินทรีย์ที่ต่ำที่สุดใน 4 จุดเก็บตัวอย่าง

(2) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 2 (จุดเชื่อมต่อกับลำกระโดงสาธารณะ)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 3.28 ppm ในวันที่ 9 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.42 ppm ในวันที่ 4 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่ลดลงตั้งแต่วันที่ 1-4 จากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 และ 6 และเกิดการลดลงอีกครั้งในวันที่ 7 หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 9 แล้วจึงลดลงสู่ความเข้มข้นสุดท้ายที่ 1.01 ppm ในวันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 2 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์เป็นอันดับที่ 4 จาก 4 จุดเก็บตัวอย่าง ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่พบมาจากการตกตะกอนน้ำเสีย ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากบ้านเรือนรอบคลองทรงเทวดาและน้ำทิ้งจากลำกระโดงสาธารณะที่ต่อเชื่อมรับน้ำทิ้งจากซอยจรูญสนิทวงศ์ 23 และพบการทิ้งขยะประเภทพลาสติก เศษวัชพืชและเศษอาหารเป็นจำนวนมากลงสู่คลอง ทำให้เกิดการบดบังแสงอาทิตย์ที่จะส่องลงสู่ได้น้ำ ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ซัลเฟอร์แบบ assimilatory sulfate reduction และ dissimilatory sulfate reduction (สุบัญญัติ, 2548) ในตะกอนได้น้ำเกิดได้ดีขึ้น อีกทั้งปริมาณสารประกอบ sulfide ในน้ำที่สามารถถูกรีดิวซ์ในสภาวะไร้อากาศเป็น sulfate ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แต่มีการพบกิจกรรมซึ่งเป็นปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการหลุดของก๊าซจากชั้นตะกอน คือการรบกวนตะกอนจากการกระทุ้งไม้เพื่อทำเขื่อนกันขยะของชาวบ้าน ซึ่งทำเป็นประจำทุกวัน อาจทำให้ก๊าซที่แทรกตัวในชั้นตะกอนสามารถดันตัวขึ้นสู่บรรยากาศได้โดยง่าย

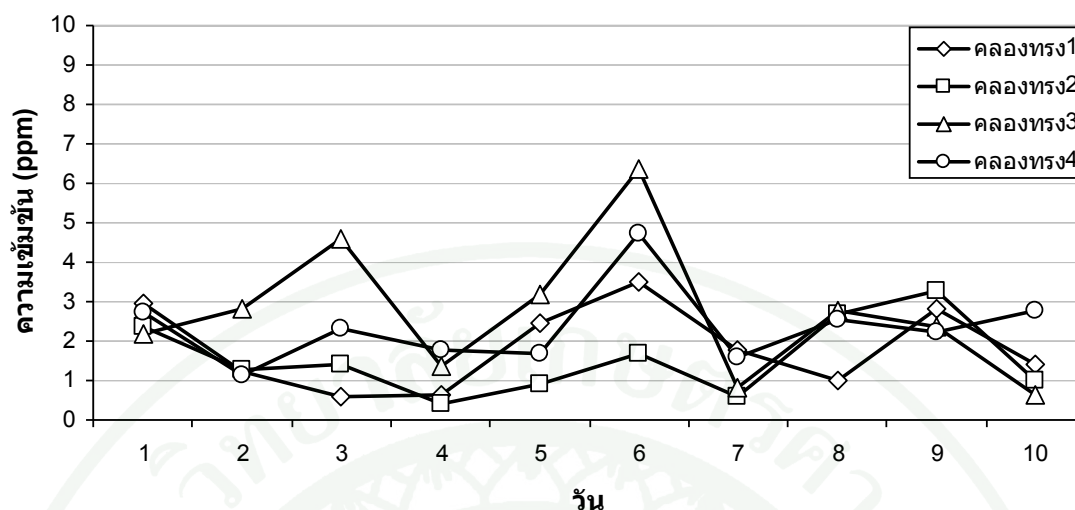
(3) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 3 (จุดแคบที่สุดของคลอง)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 6.35 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.62 ppm ในวันที่ 10 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นใน 3 ช่วงคือ ช่วงวันที่ 1-3, ช่วงวันที่ 4-6 และช่วงวันที่ 7-8 โดยการเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 2 นั้นมีการเพิ่มถึงระดับความเข้มข้นสูงสุดที่พบแต่หลังจากนั้นได้มีการลดลงจนแตะระดับต่ำสุดความเข้มข้นที่พบ และหลังจากการเพิ่มขึ้นช่วงสุดท้ายในวันที่ 8 การเกิดการก็มีแนวโน้มลดลงจนถึงความเข้มข้นสุดท้ายที่ 0.62 ppm ในวันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับสูงสุดที่สุด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่พบมาจากตะกอนน้ำเสียที่เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจาก 2 แหล่งคือ โรงประกอบอาหารสำเร็จรูปที่อยู่ใกล้กับจุดเก็บตัวอย่าง ระยะห่างประมาณ 15 เมตร และน้ำทิ้งจากร่องระบายน้ำ

จากขอยจรัฐสนิทวงศ์ 23 โดยเป็นร่องดินที่ขุดขึ้น ซึ่งเพิ่มการสะสมของสารอินทรีย์ซัลเฟตที่มีความใหม่ในชั้นตะกอน (Kelly and Chynoweth, 1981; Saarijärvi and Lappalainen, 2002; Huttunen, 2003) และลักษณะคลองที่แคบในจุดนี้ ทำให้มวลน้ำถูกบีบให้ไหลผ่านตามช่องของคลองก่อให้เกิดแรงดันน้ำที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตะกอนได้น้ำมีการหมุนเวียนสารอาหาร จุดเก็บตัวอย่างนี้พบปริมาณ available sulfate ในตะกอนดิน 1 กรัม เท่ากับ 158.33 ppm ซึ่งสูงเป็นอันดับ 3 รองจากจุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 2 และ คลองทรง 3 และพบปริมาณสารประกอบ sulfide ในน้ำ 150 mL เท่ากับ 480 ppm สูงเป็นอันดับ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา sulfate reduction ได้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) ละลายอยู่ในชั้นน้ำ (ไพฑูรย์, 2546) จากเหตุผลนี้ได้สอดคล้องกับการพบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น

(4) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 4 (ใกล้จุดเชื่อมต่อปากคลองกับคลองชักพระ)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 4.74 ppm ในวันที่ 9 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.42 ppm ในวันที่ 2 โดยมีแนวโน้มของความเข้มข้นก๊าซที่ลดลงในวันที่ 2 และแกว่งขึ้นลงในช่วงความเข้มข้นที่ 1.5-2.5 ppm ในวันที่ 3-8 และเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 9 จากนั้นได้ลดลงจนถึงความเข้มข้นสุดท้ายที่ 2.77 ppm ในวันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับ 2 รองจากคลองทรง 3 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่พบมาจากปฏิกิริยา sulfate reduction โดยแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria ในตะกอนน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Zaggia *et al.*, 2007) จากลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่ตั้งอยู่ใกล้ปากคลองที่เชื่อมต่อกับคลองชักพระ ทำให้สารอินทรีย์ซัลเฟตที่มากับน้ำเสียชุมชนมีโอกาสเกิดการเดือด ออกจากกิจกรรมการแล่นเรือยนต์ในคลองชักพระทำให้เกิดการระเหิดของน้ำและทำให้มวลน้ำมีการเคลื่อนไหวแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับบรรยากาศได้ดีกว่าจุดอื่น จากปริมาณค่าเฉลี่ย available sulfate ในตะกอนดินที่มีค่าเท่ากับ 99.58 ppm และปริมาณสารประกอบ sulfide ในน้ำ 150 mL ที่มีค่าเท่ากับ 199.5 ppm ต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆ แต่การเกิดก๊าซมีมากเป็นอันดับ 2 อธิบายได้ว่าการมีลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่มีเงาไม้พาดบังแสงอาทิตย์ทั้งสองฝั่งคลอง อาจเป็นปัจจัยให้การหมุนเวียนออกซิเจนและการทำงานของสาหร่ายลดน้อยลง ทำให้ชั้นตะกอนได้น้ำเกิดสภาวะไร้อากาศได้ดี



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดคลองทรงเวทดา 1, 2, 3 และ 4

1.1.3 ก๊าซมีเทน

(1) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 1 (จุดเก็บท้ายคลองทรงเวทดาหลังโรงเรียนนวมถกทิน)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 30,370 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 9,119 ppm ในวันที่ 7 พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดก๊าซตั้งแต่วันที่ 1-4 จากนั้นมีการลดลงในวันที่ 5 และเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 6 แล้วลดลงถึงความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 7 จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 8 และ 9 แล้วจึงลดลงที่ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 17,598 ppm ในวันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 1 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับ 3 รองจากจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 และ คลองทรง 2 ตามลำดับ ก๊าซมีเทนที่พบมาจากน้ำทิ้ง สิ่งปฏิกูลและขยะจากชุมชนโดยรอบบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง แล้วเกิดการตกตะกอนทับถมใต้ท้องน้ำ โดยสังเกตพบน้ำเป็นสีเทาคล้ำที่เป็นลักษณะของสภาวะไร้อากาศและการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ (Davidson *et al.*, 2005) จุดเก็บตัวอย่างนี้มีค่า BOD เท่ากับ 21 mg/L ซึ่งต่ำที่สุด แต่ลักษณะการวางตัวของคลองที่ถูกปิดกั้นการไหลของน้ำที่ปลายด้านหนึ่งด้วยท่อระบายน้ำล้นถนน ทำให้มวลน้ำเสียและขยะที่ลงสู่คลองเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเพิ่มโอกาสแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับบรรยากาศได้น้อย เป็นปัจจัยเอื้อให้เกิดสภาวะไร้อากาศ

(2) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 2 (จุดเชื่อมต่อกับลำกระโดงสาธารณะ)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 38,236 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 8,427 ppm ในวันที่ 4 โดยพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดก๊าซในวันที่ 2 แล้วค่อยๆลดลงในวันที่ 3-4 จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 6 แล้วลดลงอย่างมากในวันที่ 7 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกรอบในวันที่ 8-9 ก่อนจะลดลงอีกครั้งในวันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 2 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับ 2 รองจากจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 ก๊าซมีเทนที่พบมาจากการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนในน้ำเสียและตะกอนน้ำเสีย จากการปล่อยน้ำทิ้งที่มาจาก การท่อน้ำ ท้องครัวและการชักล้างลงคลองของชุมชนและแนวลำกระโดงสาธารณะที่มาจาก ซอยเจริญสุขนิทวงศ์ 23 และยังพบเศษขยะลอยเต็มผิวน้ำ การมีลักษณะเป็นจุดรวมของน้ำเสียและขยะ ทำให้ค่า BOD ในน้ำเท่ากับ 50 mg/L ซึ่งแตกต่างจากจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 เพียง 1.0 mg/L

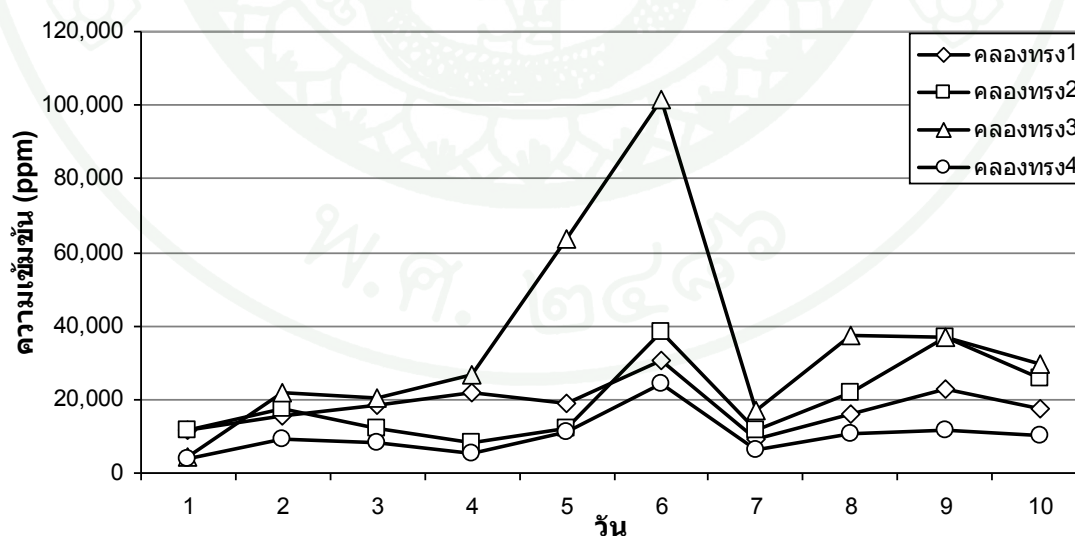
(3) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 3 (จุดแคบที่สุดของคลอง)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 101,395 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 4,576 ppm ในวันที่ 1 โดยพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดก๊าซตั้งแต่วันที่ 1 และค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดที่ความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 6 จากนั้นจึงลดลงอย่างมากในวันที่ 7 และมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซอีกรอบในวันที่ 8 ก่อนจะลดลงอีกครั้งในวันที่ 9-10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับ 1 ก๊าซที่พบมาจากการที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างรับน้ำเสียและขยะจากชุมชนโดยรอบและมีการปล่อยน้ำเสียจากการประกอบอาหารในโรงประกอบอาหารสำเร็จรูป ซึ่งตั้งอยู่ติดคลองระยะห่างประมาณ 15 เมตรจากจุดเก็บตัวอย่าง และมีน้ำทิ้งจากซอยย่อยของซอยเจริญสุขนิทวงศ์ 23 ผ่านร่องดินที่ขุดขึ้นลงสู่คลอง ซึ่งเพิ่มการสะสมของสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนยังไม่ถูกย่อยสลาย ทำให้แบคทีเรีย methanogenesis ทำงานได้ดี (Kelly and Chynoweth, 1981; Saarijärvi and Lappalainen, 2002; Huttunen, 2003) และลักษณะคลองที่แคบในจุดนี้ ทำให้มวลน้ำถูกบีบให้ไหลผ่านตามช่องของคลองก่อให้เกิดแรงดันน้ำที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้โอกาสที่ตะกอนที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์คาร์บอนที่ยังไม่ถูกย่อยสลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ถูกพัดพามาทับถมบริเวณได้น้ำ ซึ่งค่า BOD เท่ากับ 49 mg/L ที่ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่างที่คลองทรง 2 แสดง

ให้เห็นระดับสารอินทรีย์ที่ใกล้เคียงกัน แต่ DO ของจุดนี้สูงกว่าคลองทรง 2 ซึ่งมีเหตุผลจากลักษณะคลองที่แคบดังกล่าวกวไปแล้วข้างต้น

(4) จุดเก็บตัวอย่างที่ คลองทรง 4 (ใกล้จุดเชื่อมต่อปากคลองกับคลองชักพระ)

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 24,399 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 3,922 ppm ในวันที่ 1 โดยพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดก๊าซตั้งแต่วันที่ 1 จากนั้นมีการลดลงของก๊าซในวันที่ 2-4 และเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 6 จากนั้นจึงลดลงอย่างมากในวันที่ 7 และมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซอีกรอบในวันที่ 8 ก่อนจะลดลงอีกครั้งในวันที่ 9-10 จุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 4 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับ 4 จาก 4 จุดเก็บตัวอย่าง ก๊าซที่พบมาจากปฏิกิริยาสร้างมีเทนจากการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนในดินตะกอนน้ำเสียในสภาวะไร้อากาศ โดยแหล่งที่มาของสารประกอบคาร์บอนมาจากการระบายน้ำทิ้งจากชุมชนรอบจุดเก็บตัวอย่างและการพัดพาตะกอนน้ำเสียจากแนวคลองด้านในมายังปากคลอง แต่โดยลักษณะที่ตั้งที่อยู่ใกล้กับปากคลองเชื่อมคลองชักพระมากกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่น ทำให้ได้รับผลจากกระแสน้ำและการพัดพาตะกอนจากคลองชักพระ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนจุดนี้เท่ากับ 4.19% ซึ่งต่ำกว่าจุดอื่นๆ



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดคลองทรงเตวดา 1, 2, 3 และ 4

1.2 พื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

ผลการตรวจวิเคราะห์ชนิดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทนและแอมโมเนียที่เกิดจากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด จากพื้นที่ศึกษาบ่อกักน้ำเสียจากกิจกรรมการใช้น้ำในโรงฆ่าสัตว์ พื้นที่ศึกษาภายในโครงการแหลมผักเบี้ยฯ ศูนย์สุพรรณบุรี จ.สุพรรณบุรี, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแปงมันสำปะหลังฯ จ.ราชบุรี, บ่อดกตะกอน, บ่อฝังที่ 3 และแปลงป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี รวม 5 จุดเก็บตัวอย่าง โดยบรรจุตะกอนน้ำเสียใน chamber gas และเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างวันที่ 4-13 มีนาคม พ.ศ.2554 จากนั้นตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และมีเทนด้วยเครื่อง GC ส่วนก๊าซแอมโมเนียตรวจวัดด้วยเครื่อง IC ได้ผลการวิจัย ดังนี้

1.2.1 ก๊าซแอมโมเนีย

(1) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 75.84 ppm ในวันที่ 5 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3-6 และค่อยๆลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 8 จุดเก็บตัวอย่างนี้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียเป็นอันดับ 1 ซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH ที่มีค่าเท่ากับ 7.6 และค่า BOD ที่มีค่าเท่ากับ 249 mg/L ที่แสดงสถานะความเหมาะสมต่อการเกิดก๊าซแอมโมเนีย ตามความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และอัตราการเกิดก๊าซแอมโมเนีย (เปี่ยมศักดิ์, 2543; Bicudo *et al.*, 2002) โดยปกติก๊าซแอมโมเนียจะเกิดบริเวณผิวหน้าของน้ำ (Warneck, 2000; Bicudo *et al.*, 2002) ซึ่งเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการเกิดก๊าซในจุดเก็บนี้ที่ลักษณะเป็นบ่อเปิดโล่งและมีความตื้นเขินเมื่อเทียบกับจุดเก็บตัวอย่างอื่น โดยจากเหตุผลเดียวกันก๊าซที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าน้ำมีโอกาสระเหยสู่อากาศได้ดี ทำให้ตรวจไม่พบแอมโมเนียในน้ำแต่ยังพบปริมาณไนโตรเจนในตะกอนจากจุดเก็บนี้ เป็นอัตราส่วน 1.04:1.97 ของอัตราส่วนระหว่างร้อยละของ ไนโตรเจน:ไฮโดรเจน แหล่งกำเนิดของก๊าซในจุดนี้เกิดจากการล้างมูลและปัสสาวะของสัตว์ในโรงฆ่าสัตว์ รวมทั้งเศษชิ้นเนื้อลงสู่บ่อกัก และการที่โรงฆ่าสัตว์เปิดทำการทุกวันยกเว้นวันพระ ทำให้องค์ประกอบไนโตรเจนและแอมโมเนียจากมูลและปัสสาวะของสัตว์มีความใหม่อายุของตะกอน

ในบ่อพักจิ้งยั้งสั้น (Kelly and Chynoweth, 1981; Saarijärvi and Lappalainen, 2002; Huttunen, 2003) ซึ่งสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซแอมโมเนียได้ง่าย

(2) จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลังฯ จ.ราชบุรี

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 44.15 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3-6 และค่อยๆลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 9 จุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสีย UASB พบก๊าซแอมโมเนียสูงเป็นอันดับ 3 รองจากจุดเก็บตัวอย่างโรงฆ่าสัตว์และบ่อฝังที่ 3 โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ก๊าซที่เกิดขึ้นมาจากวัตถุดิบจำพวกโปรตีนที่อยู่ในกากมันสำปะหลัง เมื่อผ่านการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อหมักจะทำให้เกิดเป็น NH_4^+ เนื่องจากมีค่า pH ในบ่อหมัก (acid pond) ต่ำกว่า 6.5 ซึ่งไม่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซแอมโมเนีย (เปี่ยมศักดิ์, 2543; Bicudo *et al.*, 2002) และเมื่อน้ำเสียถูกส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ซึ่งเป็นระบบที่ควบคุมสภาวะให้เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นก๊าซเชื้อเพลิง โดยการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.8-9.2 ทำให้ NH_4^+ กลายเป็นแอมโมเนียตามช่วง pH ที่เอื้ออำนวย หากแต่องค์ประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียที่ไม่ได้รับการย่อยสลายจากบ่อหมักจะมีโอกาสย่อยสลายเป็นก๊าซแอมโมเนียได้น้อยด้วยเหตุผลของกลุ่มแบคทีเรียในระบบที่เป็น methanogenic bacteria และ sulfate reducing bacteria ซึ่งพบว่าแบคทีเรียกลุ่มหลังสามารถยับยั้งปฏิกิริยา nitrate reduction ได้ในสภาวะที่มีซัลเฟตในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Dalsgaard and Bak ในปี 1994 โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณ available sulfate ในตะกอนน้ำเสีย 1 กรัม สูงถึง 1,635.42 ppm

(3) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อดกตะกอน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 3-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 36.22 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3-6 จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 และค่อยๆลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 9 จุดเก็บตัวอย่างนี้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียเป็นอันดับที่ 5 ซึ่งต่ำที่สุด ด้วยการเป็นบ่อดกตะกอนน้ำเสียจากพื้นที่เทศบาลเมืองเพชรบุรี ทำให้

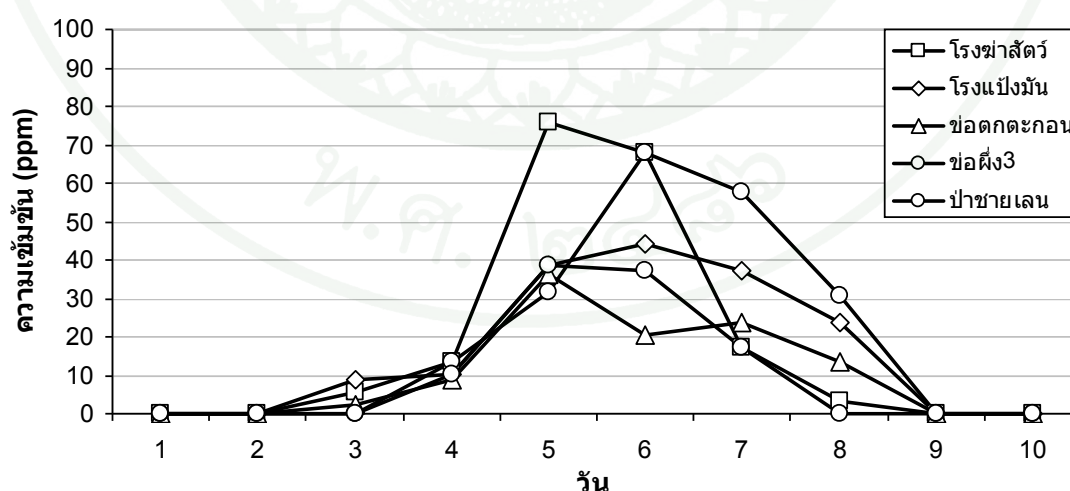
ตะกอนจากจุดนี้มีตะกอนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียจากสิ่งปฏิกูล เศษอาหาร (ประมาณ, 2531; กรรณิการ์, 2549; US EPA, 1999) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายได้ก๊าซแอมโมเนีย แต่ด้วยปัจจัยด้านระยะเวลาและระยะทางที่น้ำเสียเดินทางจากแหล่งกำเนิดผ่านบ่อรวบรวมน้ำเสียที่บ้านคลองยาง จนกระทั่งเข้าสู่โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ทำให้มีโอกาสเกิดการย่อยสลายเป็นก๊าซแอมโมเนียระเหยสู่บรรยากาศได้ค่อนข้างมาก โดยสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่มีค่าต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงหวาดทั้ง 4 จุด ทั้งที่เป็นน้ำเสียชุมชนเช่นกัน

(4) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อฝิ่งที่ 3 โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 4-8 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 67.92 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 3, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 4-6 จากนั้นมีการลดลงในวันที่ 7 และค่อยๆ ลดลงจนคงที่ที่ 0 ppm ในวันที่ 9 จุดเก็บตัวอย่างนี้พบก๊าซแอมโมเนียเป็นอันดับ 3 รองจากบ่อพักน้ำเสียโรงงานฆ่าสัตว์ จ.สุพรรณบุรี และระบบบำบัดแบบ UASB โรงงานเป็่งมันสำปะหลัง โดยก๊าซที่พบมาจากกระบวนการ ammonification (Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) ที่เป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายในบ่อฝิ่งที่มีความลึกน้อยกว่าบ่อตกตะกอน ทำให้สถานะได้บ่อมีโอกาสได้รับแสงอาทิตย์มากกว่า ดังนั้นสาหร่ายซึ่งใช้แสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงจึงเจริญเติบโตได้ดี เมื่อสาหร่ายตายลงจึงเกิดการทับถมอยู่ก้นบ่อทำให้เกิดการสะสมองค์ประกอบไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน ฯลฯ (ประมาณ, 2531; กรรณิการ์, 2549) ในตะกอนดิน ที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา dissimilatory nitrate reduction (Lapota *et al.*, 2000; US EPA, 1999) อีกทั้งในวันที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงการปิดซ่อมบำรุงท่อส่งน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียในระบบเกิดการขังในบ่อ เพิ่มระยะเวลาการสะสมองค์ประกอบไนโตรเจนซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ algal bloom

(5) จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชป่าชายเลน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในการเก็บตัวอย่างวันที่ 4-7 โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 38.49 ppm ในวันที่ 5 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0 ppm ของวันที่ 1, 2, 3, 8, 9 และ 10 โดยพบแนวโน้มการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 4-6 จากนั้นมีการลดลงในวันที่ 7 และลดลงจนกระทั่ง 0 ppm ในวันที่ 8 จุดเก็บตัวอย่างระบบแปลงพืชป่าชายเลนพบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียเป็นอันดับที่ 5 จาก 5 จุดเก็บตัวอย่าง ก๊าซแอมโมเนียที่พบเกิดจากการสะสมของสารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำเสียที่ปล่อยสู่แปลงบำบัดและเกิดจากการเน่าเปื่อย ทับถมของใบแสมที่ร่วงลงสู่พื้นเลนซึ่ง ณ จุดเก็บตัวอย่างนี้ การเกิดก๊าซแอมโมเนียมาจาก 2 กระบวนการ คือ ammonification โดยการย่อยสลายของพืกรากและแอกทิโนไมซีตในดินป่าชายเลน (ดวงพร, 2545 ; Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005)) และปฏิกิริยา dissimilatory nitrate reduction โดยแบคทีเรีย (Lapota *et al.*, 2000; US EPA, 1999) ระบบแปลงพืชป่าชายเลนนี้ถึงแม้ว่าจะมีค่า pH สูงถึง 9.1 ซึ่งเป็นค่าที่มีสัดส่วนการเปลี่ยนรูปจาก NH_4^+ ไปเป็นก๊าซแอมโมเนียได้สูงกว่าจุดอื่น แต่เมื่อพิจารณาค่า BOD พบว่ามีค่าต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีระดับสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่าในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียในจุดนี้ต่ำกว่าจุดอื่นๆ



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุดเก็บตัวอย่างบ่อดักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานแปรงมันลำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อดี้งที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน

1.2.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

(1) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 60.51 ppm ในวันที่ 3 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 5.78 ppm ในวันที่ 10 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้น 2 ช่วง ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 1-3 จากนั้นค่อยๆ ลดลงจนถึงวันที่ 6 จากนั้นจึงเข้าสู่ช่วงการเพิ่มขึ้นช่วงที่ 2 ในวันที่ 7-8 และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่พบ ณ วันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างบ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับที่ 4 รองจาก ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลัง, ระบบบำบัดแปลงพืชป่าชายเลน และบ่อดักตะกอน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ตามลำดับ ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่พบมาจากย่อยสลายแบบ assimilatory sulfate reduction และ dissimilatory sulfate reduction ของแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria (สุบัททิต, 2548) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในชั้นตะกอน ผลการวิเคราะห์ปริมาณ available sulfate ในตะกอนดินให้ค่าเท่ากับ 162.92 สูงเป็นอันดับ 2 รองจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง แต่ปริมาณสารประกอบ sulfide ในน้ำพบว่าต่ำกว่าทั้งโรงงานแปรงมันสำปะหลังและบ่อดักตะกอน ลักษณะเช่นนี้อธิบายได้ว่าลักษณะที่เป็นบ่อเปิดของบ่อพักน้ำเสียและความดันเงินเนื่องจากการไม่ขุดลอกตะกอนเก่า ทำให้ชั้นน้ำมีความดันอากาศสามารถแพร่แลกเปลี่ยนได้ง่าย อีกทั้งตั้งอยู่บริเวณที่ลมพัดตลอดเวลา ทำให้ตะกอนเกิดสภาวะมีออกซิเจนในบางส่วน ส่งผลให้ซัลเฟตในตะกอนดินถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้น้อยลง

(2) จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลังฯ

จ.ราชบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 68,050 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 5,894 ppm ในวันที่ 10 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้น 2 ช่วง ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 1-3 จากนั้นค่อยๆ ลดลงในวันที่ 4-5 จากนั้นจึงเข้าสู่ช่วงการเพิ่มขึ้นช่วงที่ 2 ในวันที่ 5-6 และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่พบ ณ วันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างนี้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับที่ 1 โดยก๊าซที่พบมาจากปฏิกิริยา sulfate reduction ของแบคทีเรียกลุ่ม

sulfate reducing bacteria (สุบัตินิต, 2548) บนเม็ดตะกอน granule ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ทำการย่อยสลายซัลเฟตที่ปนเปื้อนในตะกอนและน้ำเสีย ซึ่งซัลเฟตเป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการย่อยสลายสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีอยู่ในรากมันสำปะหลังและมาจากน้ำกำมะถันที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกสีแป้ง โดยในน้ำทิ้ง 5.8 ลบ.ม. ของการผลิต native starch จะมีการปนเปื้อนน้ำกำมะถัน 0.2 ลบ. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) การที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ถูกออกแบบมาให้อยู่ในสภาวะไร้อากาศและการมีสารอินทรีย์ที่มากพอ ทำให้การพบก๊าซในจุดนี้สูงมากกว่าจุดอื่นหลายเท่าตัว โดยการอธิบายนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณ BOD ซึ่งสูงถึง 335 mg/L ปริมาณ available sulfate ในตะกอนดินสูงถึง 1,635.42 ppm และปริมาณสารประกอบซัลไฟด์ในน้ำ 150 mL เท่ากับ 1,730 ppm สูงเป็นอันดับ 1 สำหรับปัจจัยด้าน pH ในระบบบำบัดที่มีการปรับสภาวะให้เป็นกลางเพื่อเหมาะกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่ม methanogenesis ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-) (ไพฑูรย์, 2553; US EPA, 1985)

(3) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อตกตะกอน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 360.27 ppm ในวันที่ 3 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 55.94 ppm ในวันที่ 10 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้น 2 ช่วง ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 1-3 จากนั้นมีการลดลงในวันที่ 4 และเข้าสู่ช่วงการเพิ่มขึ้นช่วงที่ 2 ในวันที่ 5-7 ถึงระดับความเข้มข้นสูงสุดและมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่พบ ณ วันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างนี้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับที่ 3 รองจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB และระบบแปลงพืชป่าชายเลน โดยก๊าซที่พบมาจากการย่อยสลายซัลเฟตในน้ำเสียชุมชนของแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria เมื่อพิจารณาค่า BOD แล้วพบว่าใกล้เคียงกับค่า BOD จากน้ำเสียชุมชนในจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดา แต่การที่น้ำเสียชุมชนในบ่อตะกอนได้ผ่านการตกตะกอนเบื้องต้นที่บ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง และไหลตามท่อก่อนเข้าสู่บ่อตกตะกอนรวมระยะทาง 22 กิโลเมตรซึ่งเป็นการบำบัดเบื้องต้น (primary treatment) ทำให้ปริมาณสิ่งปนเปื้อนลดลง ต่างจากจุดเก็บระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ที่รับน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหนักจึงมีค่า BOD ที่สูง

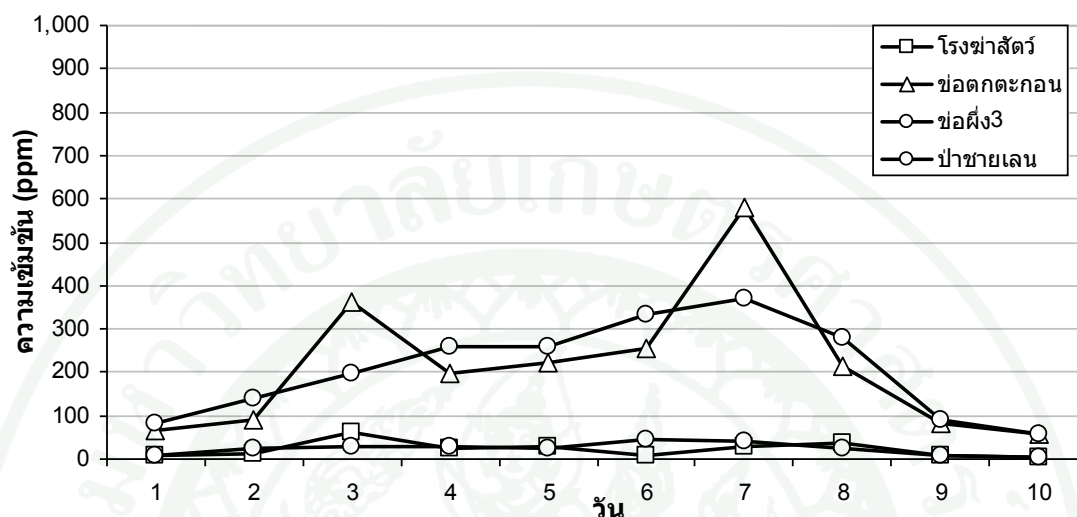
(4) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อฝิ่งที่ 3 โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 45.15 ppm ในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 5.73 ppm ในวันที่ 10 โดยพบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และมีการแกว่งของความเข้มข้นอยู่ในช่วง 20-30 ppm จนถึงวันที่ 5 จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นและระดับความเข้มข้นสูงสุด ณ วันที่ 7 และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่พบ ณ วันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝิ่งที่ 3 พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับที่ 5 จาก 5 จุดเก็บตัวอย่าง ก๊าซที่พบมาจากปฏิกิริยา sulfate reduction ในชั้นตะกอนใต้น้ำที่มีสถานะไร้อากาศ โดยการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่น สามารถอธิบายจากค่า DO ที่เท่ากับ 5.2 mg/L ซึ่งมีค่าสูงที่สุด อันเนื่องมาจากผลกระทบของปรากฏการณ์ algal bloom ภายในบ่อฝิ่งที่ 3 ที่มีปริมาณไนเตรตที่สูงกว่าในบ่อตกตะกอน การมีระยะการขังของน้ำในบ่อเพิ่มขึ้นและมีความลึกเพียง 1.8 เมตร ซึ่งแสงอาทิตย์สามารถส่องถึง ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้รวดเร็วเป็นผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ sulfate reduction เกิดได้น้อยลง

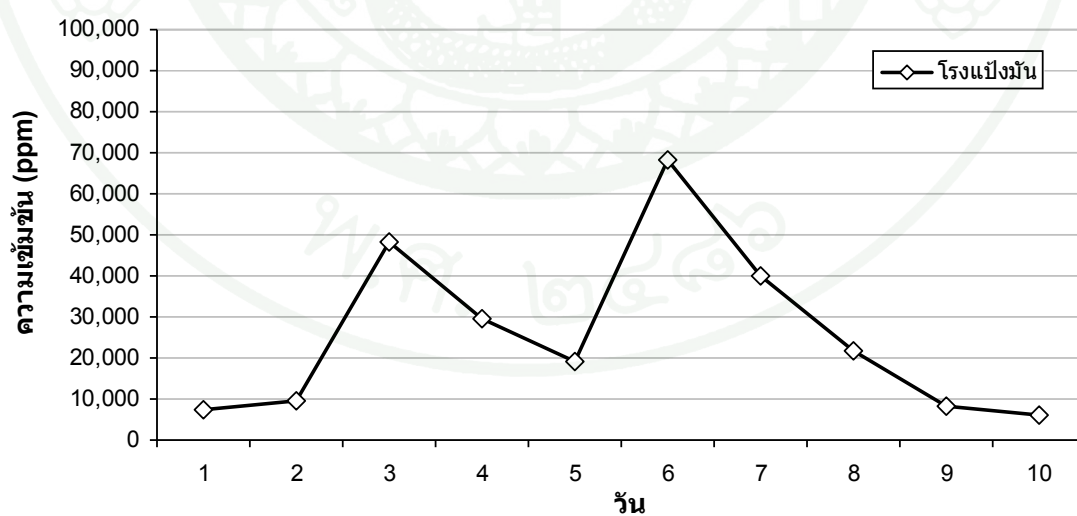
(5) จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชป่าชายเลน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 372.19 ppm ในวันที่ 7 และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 58.94 ppm ในวันที่ 10 พบแนวโน้มของการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 2 และมีการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ จนแต่ละระดับความเข้มข้นสูงสุด ณ วันที่ 7 และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่พบ ณ วันที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างระบบแปลงพืชป่าชายเลนมีการทับถมและอัดตัวของตะกอนดินเลนทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง ซึ่งทำให้เกิดสถานะไร้อากาศตามธรรมชาติ จุดเก็บตัวอย่างนี้พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันดับ 2 รองจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา dissimilatory sulfate reduction โดยแบคทีเรียจำพวก *Desulfovibrio* และ *Desulfotomaculum* (ดวงพร, 2545; Zaggia et al., 2007) ที่ย่อยสลายสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำเสียและซากอินทรีย์สารภายในป่าชายเลน โดยสังเกตพบดินสีเทาดำจากการเกิดเหล็กซัลไฟด์ (FeS_2) ที่มาจากไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่มีอยู่มากในดินตะกอนป่าชายเลน รวมทั้งการรับน้ำเสียที่เป็นน้ำขังในระบบเนื่องจากการปิดซ่อมแซมระบบท่อส่งน้ำเสีย เข้ามารับบำบัดภายในแปลง

พืชป่าชายเลนเป็นการเพิ่มแหล่งซัลเฟอร์ให้แก่จุลินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซความเข้มข้นสูงจากตะกอนดินที่เก็บจากจุดนี้



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, บ่อดกตะกอน, บ่อฝ่งที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานแป้งมันลำปะหลัง

1.2.3 ก๊าซมีเทน

(1) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 7,815,618 ppm ในวันที่ 7 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 441,473 ppm ในวันที่ 4 โดยพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดก๊าซเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 1-3 จากนั้นมีการลดลงในวันที่ 4 และเข้าสู่การเพิ่มขึ้นช่วงที่ 2 โดยได้ระดับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 7 แล้วลดลงในวันที่ 8 จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 และ 10 จุดเก็บตัวอย่างบ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับที่ 5 จาก 5 จุดเก็บตัวอย่าง ก๊าซมีเทนที่พบมาจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนในตะกอนน้ำเสีย ซึ่งมีแหล่งที่มาจากน้ำเลี้ยงชิ้นส่วนของสัตว์ที่ถูกชำแหละ น้ำเลือดและชิ้นส่วนที่ปะปนมากับน้ำเสีย ถูกจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจย่อยสลาย จนออกซิเจนภายในบ่อพักน้ำเสียหมดลง จุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic จึงใช้คาร์บอนในตะกอนและน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงานและได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทน การที่บ่อพักน้ำเสียมีความตื้นเขินและตั้งอยู่ในที่โล่งลมพัดสะดวก ทำให้โอกาสในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างชั้นน้ำรวมไปถึงชั้นตะกอนและบรรยากาศเกิดได้ดี ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic ไม่ทนต่อสถานะแวดล้อมที่มีออกซิเจน (สุบัญญัติ, 2548) ลักษณะที่ตั้งและพื้นที่สัมผัสอากาศจึงเป็นปัจจัยที่พบก๊าซมีเทนในจุดนี้ต่ำกว่าจุดอื่นๆ ทั้งที่พบค่า BOD เท่ากับ 249 mg/L และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนดิน เท่ากับ 12.04 % สูงเป็นอันดับ 2 รองจากระบบบำบัดแบบ UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลัง

(2) จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลังฯ

จ.ราชบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 9,900,837 ppm ในวันที่ 10 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 729,404 ppm ในวันที่ 4 โดยพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดก๊าซในวันที่ 2 จากนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆจนแตะระดับความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 4 หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซจนถึงวันที่ 6 และลดลงในวันที่ 7 เมื่อถึงวันที่ 8, 9 และ 10 มีแนวโน้มการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นโดยแกว่งตัวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 8,000,000-10,000,000 ppm จุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับที่ 1 ก๊าซมีเทนที่พบมาจาก

ปฏิกิริยา methanogenesis ของจุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic bacteria ที่ตรึงอยู่บนตะกอนที่มีลักษณะเป็น granule ซึ่งเปลี่ยนกรดแอซิดจากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนโมเลกุลใหญ่เป็นก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ โดยกระบวนการผลิตแก็สฝังกลบ-แก็สฝังกลบและแก็สฝังกลบรูปจากรากมันสำปะหลัง มีแก็สเป็นส่วนประกอบถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ มากเป็นอันดับ 2 รองจากส่วนประกอบที่เป็นน้ำ (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) ซึ่งค่าอธิบายดังกล่าวสอดคล้องกับค่า BOD (Kelly and Chynoweth, 1981) และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนน้ำเสีย ที่มีค่าเท่ากับ 335 mg/L และ 42.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นค่าที่สูงกว่าทุกจุดเก็บตัวอย่าง อีกทั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ถูกออกแบบมาเป็นระบบไร้อากาศซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการทำงานของ methanogenic bacteria

(3) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อดักตะกอน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 9,560,606 ppm ในวันที่ 7 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 545,686 ppm ในวันที่ 4 โดยพบแนวโน้มการลดลงของการเกิดก๊าซในวันที่ 2 จากนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆจนแตะระดับความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 4 หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซจนถึงระดับสูงสุดในวันที่ 7 และลดลงในวันที่ 8 เมื่อถึงวันที่ 9 และ 10 มีแนวโน้มการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้น จุดเก็บตัวอย่างบ่อดักตะกอน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับที่ 2 รองจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแก็สฝังกลบมันสำปะหลัง ก๊าซมีเทนที่พบมาจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน เช่น แก็ส น้ำตาล เซลลูโลส และโครงสร้างของเซลล์สัตว์และพืช ที่อยู่ในน้ำเสียชุมชนซึ่งมาจากน้ำทิ้งห้องน้ำ ห้องครัว การซักล้าง รวมถึงเศษอาหารและขยะที่หลุดรอดมาตามท่อระบายน้ำและกิจกรรมใช้น้ำอื่นๆ ภายในบ้านเรือน หอพัก ร้านค้า สถานประกอบการของรัฐและเอกชนเกิดการดักตะกอนได้บ่อย (US EPA, 2011) เมื่อเวลาผ่านไปออกซิเจนถูกใช้หมดไปโดยจุลินทรีย์หายใจแบบใช้ออกซิเจน methanogenic bacteria จึงใช้คาร์บอนในรูปของกรดเป็นแหล่งพลังงานและให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทน บ่อดักตะกอนมีความลึกถึง 2.3 เมตร เพื่อรองรับปริมาณตะกอนจากน้ำเสียชุมชน ทำให้โอกาสในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับบรรยากาศมีได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า DO เท่ากับ 1 mg/L เช่นเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างบ่อดักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ และ ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานแก็สฝังกลบมันสำปะหลัง และพบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนดินเท่ากับ 8.33 % สูงเป็นอันดับ 3 รองจากระบบบำบัดน้ำเสีย UASB และ

บ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ ตามลำดับ ซึ่งการพบก๊าซมีเทนจากบ่อดกตะกอนมากกว่าบ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์อธิบายด้วยเหตุผลด้านที่ตั้งและลักษณะจุดเก็บตัวอย่าง

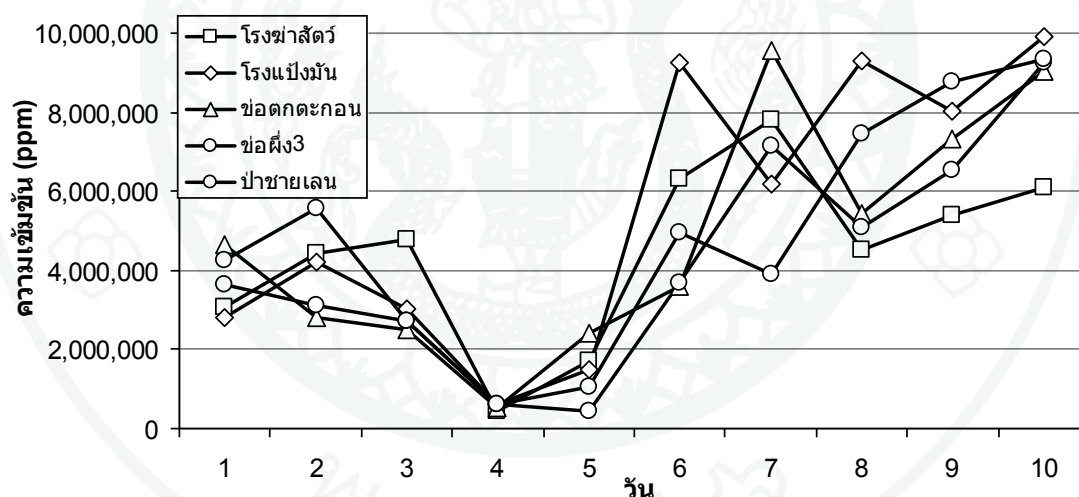
(4) จุดเก็บตัวอย่าง บ่อฝังที่ 3 โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 9,239,038 ppm ในวันที่ 10 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 438,740 ppm ในวันที่ 5 โดยพบแนวโน้มการลดลงของการเกิดก๊าซในวันที่ 2 จากนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆจนแตะระดับความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 5 หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซจนถึงวันที่ 7 และลดลงในวันที่ 8 เมื่อถึงวันที่ 9 และ 10 มีแนวโน้มการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้น จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝังที่ 3 โครงการแหลมผักเบี้ยฯ พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับที่ 3 รองจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง และบ่อดกตะกอน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ ก๊าซมีเทนที่พบมาจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน เช่น แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส และโครงสร้างของเซลล์สัตว์และพืชในน้ำเสีย (US EPA, 2011) ที่ล้นจากบ่อฝังที่ 2 ค่า DO 5.2 mg/L ในจุดเก็บตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นระดับออกซิเจนที่มีเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการที่น้ำเสียได้ผ่านการบำบัดด้วย บ่อดกตะกอนและบ่อฝังที่ 1 และ 2 มาแล้ว ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น และอีกประการคือ การปิดซ่อมแซมท่อส่งน้ำเสีย ทำให้น้ำยังอยู่ในระบบบำบัดนานขึ้น เกิด algal bloom ด้วยสภาพบ่อที่มีความลึกเพียง 1.8 เมตร ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี ออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงแพร่สู่ชั้นน้ำ ด้วยสภาพมีออกซิเจนมากกว่าจุดอื่นและการมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนดินเพียง 3.52 % สูงกว่าระบบแปลงพืชป่าชายเลนเพียงจุดเดียว ทำให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ methanogenic น้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานเป็้งมันสำปะหลัง และบ่อดกตะกอน

(5) จุดเก็บตัวอย่าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชป่าชายเลน โครงการแหลมผักเบี้ยฯ จ.เพชรบุรี

พบการเกิดก๊าซในทุกวันของการเก็บตัวอย่าง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 9,358,871 ppm ในวันที่ 10 ของการเก็บตัวอย่าง และพบความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 614,191 ppm ในวันที่ 4 โดยการเพิ่มขึ้นของก๊าซในวันที่ 2 จากนั้นมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆจนแตะระดับความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 4 หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซจนถึงวันที่ 6 และลดลงอีกรอบใน

วันที่ 7 จากนั้นในวันที่ 8, 9 และ 10 การเกิดก๊าซมีแวนโน้มของการเพิ่มขึ้น จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝังที่ 3 โครงการแหลมผักเบี้ยฯ พบความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเป็นอันดับที่ 4 ซึ่งสูงกว่าบ่อพักน้ำเสีย โรงฆ่าสัตว์ ก๊าซมีเทนที่พบมาจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน เช่น แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส และโครงสร้างของเซลล์สัตว์และพืช (US EPA, 2011) ในน้ำเสียที่เข้าสู่แปลง บำบัด ซากใบไม้จากต้นไม้ที่เกิดการร่วงหล่นภายในป่าชายเลนและซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปู กุ้ง ลูกปลา จุลินทรีย์ต่างๆ ที่ตายลงแล้วทับถมปะปนอยู่ในชั้นตะกอน จุดเก็บตัวอย่างนี้มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนใน ตะกอนดินเท่ากับ 2.57 % ซึ่งต่ำที่สุด แต่ด้วยอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลงจากทะเล ทำให้มีช่วงเวลาการ ท่วมขังของน้ำและเกิดการพัดพาสารประกอบคาร์บอนจากพื้นที่อื่น เสริมให้ตะกอนเลนที่มีสภาพ เป็นดินโคลนละเอียดและช่องว่างในดินน้อย เกิดสภาวะไร้อากาศ (ไพบูลย์, 2528; Vanloon and Duffy, 2005) และมีแหล่งอาหารที่ methanogenic bacteria สามารถใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนได้ ส่วน ปัจจัยเรื่องความเป็นกรด-ด่างในจุดนี้ที่ค่าเท่ากับ 9.1 มีผลด้านลบต่อการผลิตก๊าซมีเทนของ methanogenic bacteria ด้วย pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 6.8-9.2 (สุภัททิ, 2548)

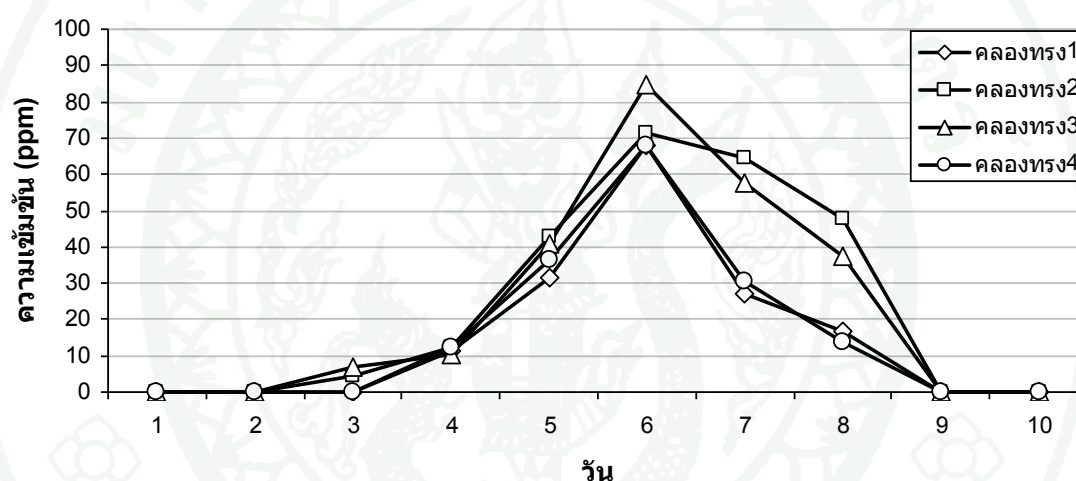


ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในรอบ 10 วัน จากตะกอนน้ำเสียที่ผ่าน ระบบบำบัด จุดเก็บตัวอย่างบ่อพักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงาน แป่งมันลำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฝังที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน

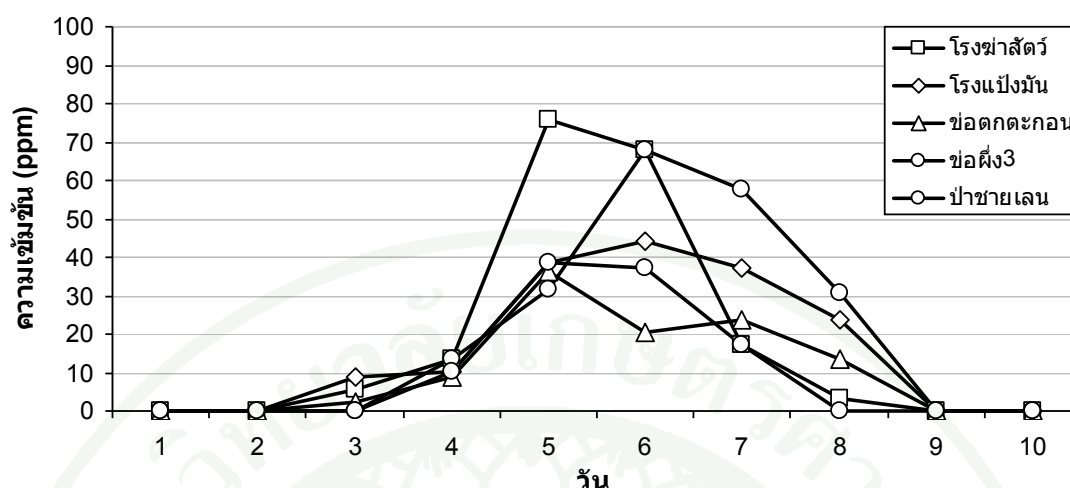
2. การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซจากตะกอนน้ำเสียเมื่อเทียบกับเวลา

2.1 ก๊าซแอมโมเนีย

เกิดก๊าซแอมโมเนียในวันที่ 3 ของการเก็บตัวอย่าง ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 4 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน และเฉลี่ยแล้วเกิดก๊าซแอมโมเนียมากที่สุดในวันที่ 6 ซึ่งแนวโน้มการเกิดก๊าซเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นรูประฆังคว่ำ



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่าง คลองทรงเตา 1, 2, 3 และ 4

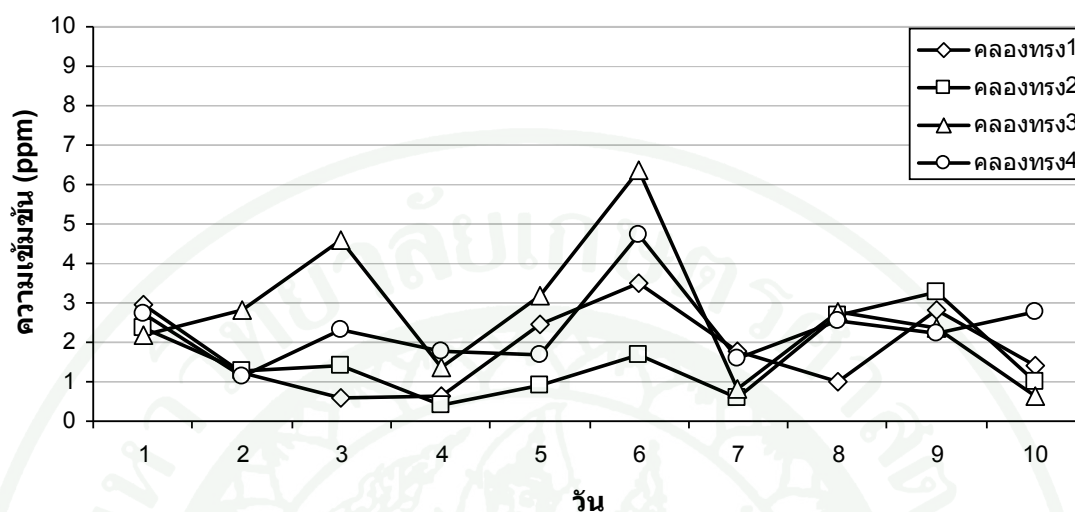


ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่าง บ่อบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฟีงที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน

การเกิดก๊าซแอมโมเนียต้องอาศัยค่า pE ที่เหมาะสมในการเลือกอิเล็กทรอนิกส์ตัวสุดท้ายของจุลินทรีย์ (ไพบูลย์, 2528) ซึ่งจะอยู่ในช่วงรอยต่อระหว่างสภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน การเกิดก๊าซแอมโมเนียที่ต้องพึ่งพาออกซิเจนจะอยู่ในช่วงปฏิกิริยา ammonification โดยจุลินทรีย์พวก heterotroph (เปี่ยมศักดิ์, 2543; Connell, 2005; Vanloon and Duffy, 2005) เมื่อออกซิเจนหมดลงในวันที่ 2 ค่า pE ในตะกอนดินจะลดต่ำลงเรื่อยจนเข้าสู่ reduction zone ปฏิกิริยา assimilatory nitrate reduction โดยแบคทีเรีย *Desulfovibrio* spp. จะเริ่มต้นขึ้น ในตรศใน chamber จะถูกใช้จนกระทั่งถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซแอมโมเนียจนถึงวันที่ 9 ของการเก็บตัวอย่าง

การเกิดก๊าซแอมโมเนียในวันที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างสัมพันธ์กับทฤษฎีการใช้ ออกซิเจนในกลุ่มของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic microorganism) และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน (facultative anaerobe microorganism) ในดินตะกอน การใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นภายใน 1-2 วันแรก (ไพบูลย์, 2528; Vanloon and Duffy, 2005) แต่เนื่องด้วยการเก็บตัวอย่างที่ต้องการความเป็นเนื้อเดียวจึงต้องเก็บแบบสุ่ม 3 จุดแล้วผสมตะกอนเข้าด้วยกัน ปัจจัยการขนส่งและการบรรจุตะกอนลง chamber ทำให้มีออกซิเจนจากภายนอกเพิ่มเติมเข้าไป ทำให้การเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนล่าช้าไปจากความเป็นจริง

2.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์

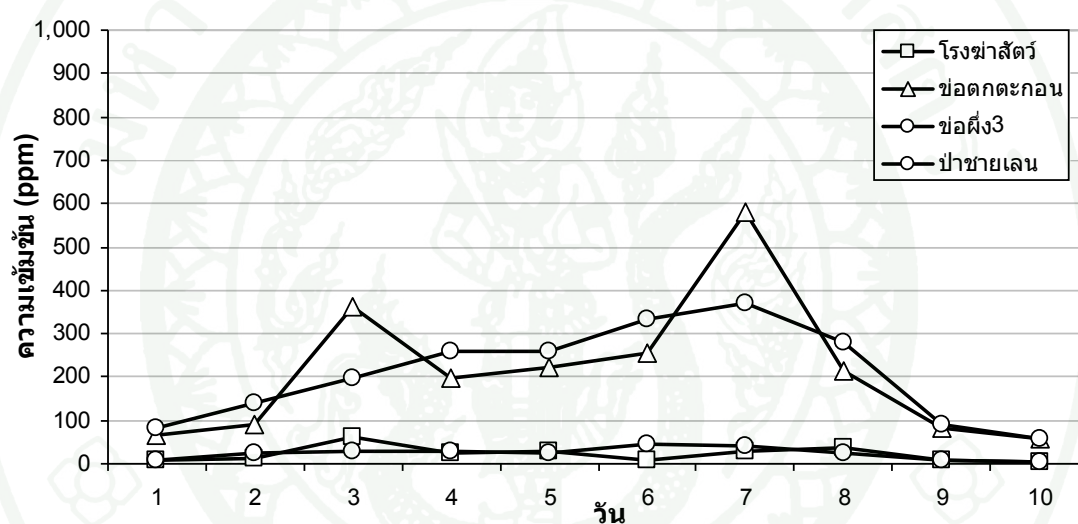


ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเหวดา 1, 2, 3 และ 4

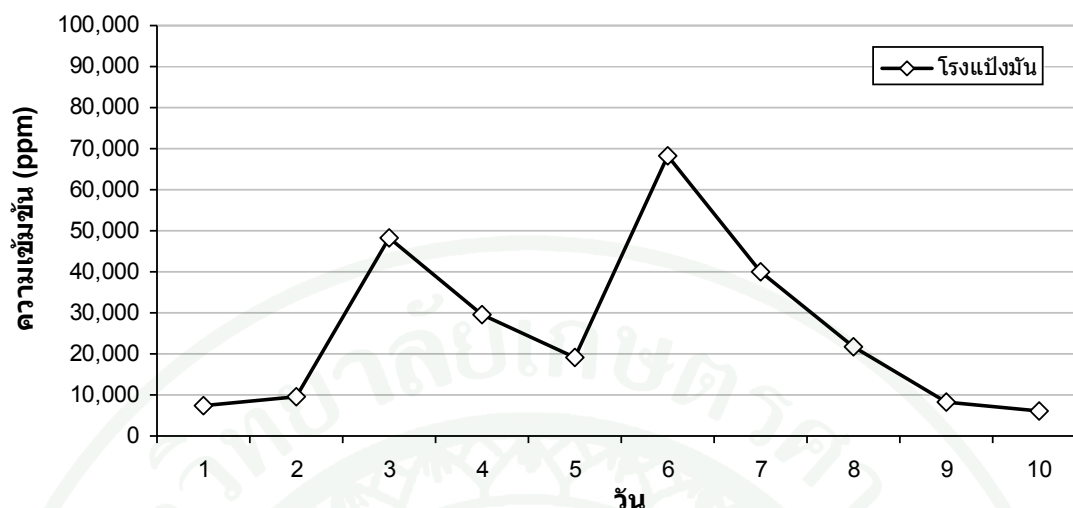
การเปลี่ยนแปลงของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แสดงการเพิ่มขึ้นสูงสุดที่คล้ายกันคือในวันที่ 6 หรือ 7 อธิบายว่ามาจากปัจจัยการเลือกลำดับตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายค่า pE ภายใน chamber และ ปริมาณออกซิเจนคงเหลือในระบบ (ไพบูลย์, 2528)

จากภาพที่ 30 จะเห็นว่าจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเหวดามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไปในทิศทางเดียวกัน คือมีช่วงขึ้นลงของกราฟ 3 ช่วง ซึ่งช่วงแรกในวันที่ 1-4 มีการลดต่ำลงและเพิ่มขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง อธิบายว่าการรบกวนตะกอนจากแหล่งกำเนิดทำให้ออกซิเจนบางส่วนเข้าสู่ chamber ส่งผลให้เกิดสภาวะไร้อากาศเป็นไปเพียงบางส่วน of chamber และมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อตะกอนดันตัวออกมาสู่ส่วนที่เป็นอากาศใน chamber เมื่อถึงวันที่ 4 ของการเก็บตัวอย่าง ออกซิเจนภายใน chamber ถูกใช้จนหมดลงอย่างสมบูรณ์ รวมถึงค่า pE ภายใน chamber ถึงจุดที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา sulfate reducing (Wolf, 1999; Vanloon and Duffy, 2005) จึงทำให้เกิดก๊าซมากที่สุดในวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง

สำหรับในจุดเก็บตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัด พบการเพิ่มสูงสุดของก๊าซที่วัน 6 และ 7 ของการเก็บตัวอย่าง โดยจะเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนในจุดเก็บตัวอย่างบ่อดกตะกอน บ่อฝิ่งที่ 3 และระบบแปลงพืชป่าชายเลน แต่ในจุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ พบก๊าซที่ระดับสูงสุดอยู่ในวันที่ 3 ของการเก็บตัวอย่าง อธิบายว่ามาจากหลักการเลือกตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายของแบคทีเรียในตะกอนเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีจุดเก็บโรงฆ่าสัตว์ได้มีการเก็บตัวอย่างแล้วแช่เย็นไว้เป็นเวลา 1 คืน ก่อนการทดลองซึ่งทำให้ปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนและการดำเนินปฏิกิริยาเริ่มต้นก่อนหน้าการทดลอง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่เพิ่มสูงสุดของการเก็บตัวอย่างเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆ



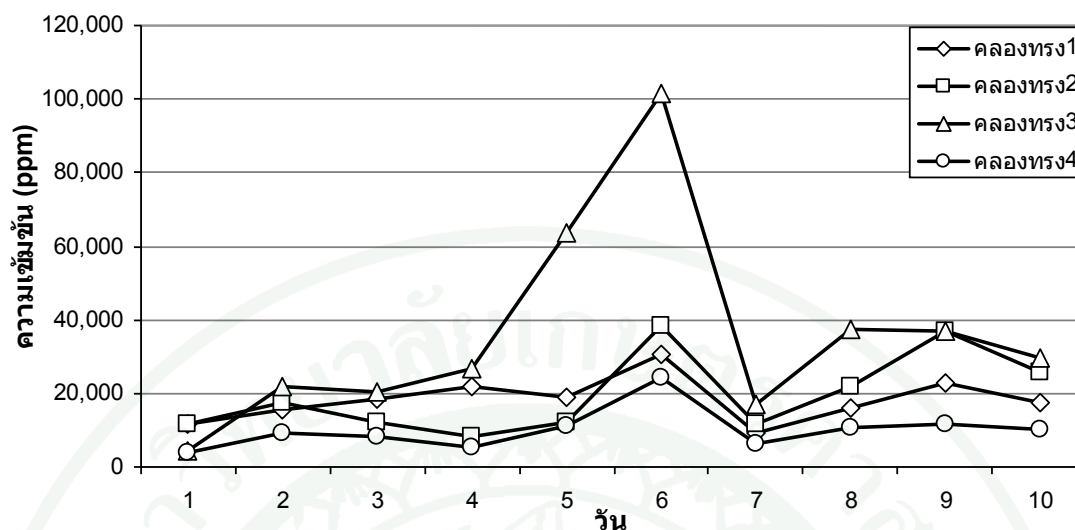
ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โรงฆ่าสัตว์, บ่อดกตะกอน, บ่อฝิ่งที่ 3 และระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานแปรงมันสำปะหลัง

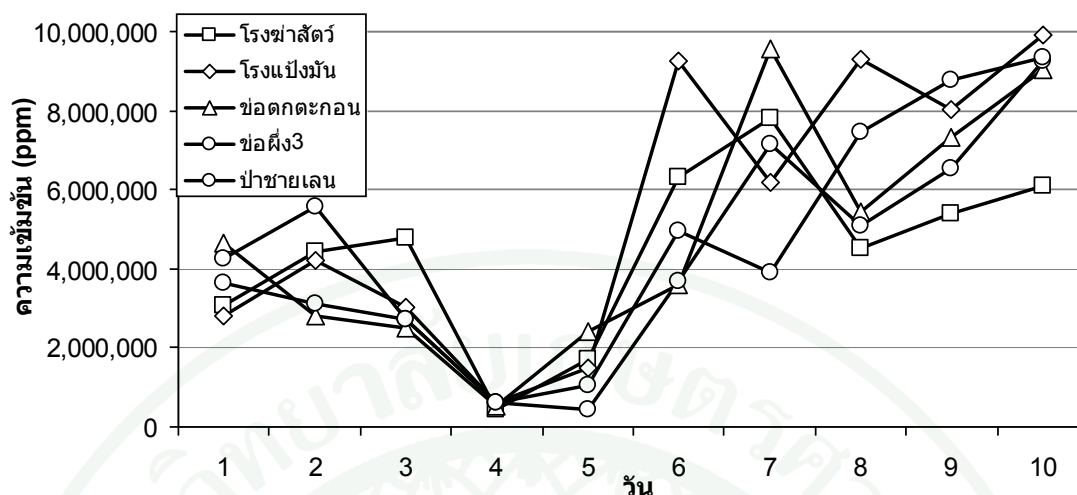
2.3 มีเทน

การเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซมีเทนจากจุดเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด คลองทรงเทวดา มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือมีการเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงวันที่ 6 ของการเก็บตัวอย่าง จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นและลดลงอีกครั้ง อธิบายว่ามีความสัมพันธ์กับค่า pE ของตะกอน ซึ่งเกี่ยวเนื่องถึงทฤษฎีการเลือกใช้ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย (ไพบูลย์, 2528; Vanloon and Duffy, 2005) โดย 1-2 วันแรกอยู่ในระยะการเลือกใช้ออกซิเจน และหลังจากนั้นเมื่อเกิดสภาวะไร้อากาศขึ้นอย่างสมบูรณ์ ค่า pE ของตะกอนจะลดต่ำลงจนค่า pE ประมาณ -3.9 ซึ่งอยู่ในเขต reduction zone ในวันที่ 4-5 (Wolf, 1999; Vanloon and Duffy, 2005) จึงเกิดการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์โดยแบคทีเรียกลุ่ม methanogenesis bacteria ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเตา 1, 2, 3 และ 4

สำหรับการเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซมีเทนจากจุดเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด พบว่าทุกจุดมีความเข้มข้นของก๊าซต่ำสุดในวันที่ 4 ของการเก็บตัวอย่าง และมีแนวโน้มการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้น อธิบายว่าการเกิดก๊าซในช่วงแรกเป็นผลมาจากการเก็บตัวอย่างที่มีการกวนตะกอน (mix) แล้วตกชั้นมาบรรจุลงใน chamber ทำให้แนวโน้มการเกิดก๊าซลดลงเนื่องจาก methanogenesis bacteria ถูกรบกวนการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์เพราะค่า pE ภายใน chamber สูงขึ้นถึงเขตออกซิเดชัน (oxidation zone) หลังจากนั้นเมื่อออกซิเจนถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการอากาศจนหมดลงในวันที่ 4 ของการเก็บตัวอย่าง การรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์โดย methanogenesis bacteria ก็เริ่มอีกครั้งจนแนวโน้มก๊าซเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อครบ 10 วันการเกิดก๊าซยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ด้วยปัจจัยจำกัดด้านเวลาและอุปกรณ์ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงจนถึงสิ้นสุดการเกิดก๊าซ



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับเวลา ในจุดเก็บตัวอย่าง บ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ โรงฆ่าสัตว์, ระบบบำบัดน้ำเสีย UASB โรงงานแปงมันสำปะหลัง, บ่อดกตะกอน, บ่อฟังที่ 3 และ ระบบบำบัดน้ำเสียแปลงพืชป่าชายเลน

ความเข้มข้นของก๊าซทั้ง 3 ชนิดที่เกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 1-10 ของการเก็บตัวอย่าง มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดหลายประการดังที่กล่าวข้างต้น สำหรับสัดส่วนของการเกิดก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ และ ก๊าซมีเทน ในจุดเก็บตัวอย่างเดียวกันพบการเกิดก๊าซมีเทนความเข้มข้นสูงสุดเป็นอันดับ 1 ร้อยละ 99.53-99.99 รองลงมาคือ ก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ ร้อยละ 0.004-0.47 และ ก๊าซแอมโมเนีย ร้อยละ 0.00 – 0.005 ซึ่งอันดับของความเข้มข้นที่พบสอดคล้องกับบรอนงค์ ในปี 2541 ที่พบการเกิดของก๊าซมีเทน > ก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ > ก๊าซแอมโมเนีย และสอดคล้องกับ Blunden *et al.* ในปี 2008 ที่พบว่าค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าก๊าซแอมโมเนียในทุกฤดู

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซจากตะกอนน้ำเสีย

1.1 พื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด

1.1.1 ก๊าซแอมโมเนีย

ก๊าซแอมโมเนีย เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายขององค์ประกอบของโปรตีนและไนโตรเจนในรูปชีวเคมีโมเลกุลในสัตว์ ฟิชและจุลินทรีย์ ด้วยปฏิกิริยา ammonification โดยแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic microorganisms) ที่อาศัยอยู่ในน้ำและชั้นตะกอน การย่อยสลายแบบนี้จะใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย และปฏิกิริยา dissimilatory nitrate reduction ในตะกอนดินได้น้ำที่อยู่ในสภาพไร้อากาศ จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดาพบช่วงความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียเท่ากับ 67.92-84.89 ppm โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3, คลองทรง 2, คลองทรง 1, คลองทรง 4 เท่ากับ 84.89, 71.31, 67.92 และ 67.92 ppm ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่างของคลองทรงเทวดา คือ การมีสารประกอบไนโตรเจน ไนเตรต และ แอมโมเนีย ทั้งในน้ำและในตะกอนน้ำเสียซึ่งมาจากน้ำทิ้งของชุมชนรอบคลอง ส่วนปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 3 เกิดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้นสูงสุดคือ ลักษณะคลองที่แคบกว่าจุดเก็บอื่นและการรับน้ำเสียจากโรงประกอบอาหารสำเร็จรูปและร่องระบายน้ำสาธารณะซึ่งเพิ่มการสะสมของสารอินทรีย์ในโตรคเจนที่มีความใหม่ในชั้นตะกอน เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา ammonification ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 1 และ 4 เกิดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้นต่ำสุดคือ ค่า DO, BOD และแรงน้ำจากภายนอกที่รบกวนตะกอนและเจือจางสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย

1.1.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายซัลเฟตซึ่งเป็นองค์ประกอบในสัตว์ พืชและจุลินทรีย์ ด้วยปฏิกิริยาการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) โดยแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาพไร้อากาศได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่างของคลองทรงเทวดา คือ การมีสารประกอบซัลไฟด์ในน้ำและการมี available sulfate ในตะกอนดินที่มาจากการตกตะกอนสารประกอบซัลเฟต จากน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นแหล่งซัลเฟตสำหรับ sulfate reducing bacteria จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดาพบช่วงความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 3.28-6.35 ppm โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3, คลองทรง 4, คลองทรง 2 และคลองทรง 1 เท่ากับ 6.35, 4.74, 3.51 และ 3.28 ppm ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 3 เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงสุดคือ ลักษณะคลองที่แควกว่าจุดเก็บอื่นและการรับน้ำเสียจากโรงประกอบอาหารสำเร็จรูปและร่องระบายน้ำสาธารณะซึ่งเพิ่มการสะสมของสารอินทรีย์ซัลเฟตที่มีความใหม่ในชั้นตะกอน เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา dissimilatory sulfate reduction ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 2 เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นต่ำสุดคือ อายุของตะกอนและการรบกวนตะกอนจากกิจกรรมของคนในชุมชน

1.1.3 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายกรดแอซิดิกหรือก๊าซไฮโดรเจนที่มาจากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย ก๊าซมีเทนเกิดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยอาศัยแบคทีเรีย methanogens ซึ่งจัดอยู่กลุ่มอาร์เคีย (archae bacteria) ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่างของคลองทรงเทวดา คือ การพบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนได้น้ำที่มาจากน้ำเสียชุมชน เช่น แป้ง น้ำตาล และ เซลลูโลส เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับ methanogenic bacteria จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดาพบช่วงความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเท่ากับ 24,399-101,395 ppm โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 3, คลองทรง 2, คลองทรง 1 และคลองทรง 4 เท่ากับ 101,395, 38,236, 30,370 และ 24,399 ppm ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 3 เกิดก๊าซมีเทนความเข้มข้นสูงสุดคือ ลักษณะคลองที่แควกว่าจุดเก็บอื่นและการรับน้ำเสียจากโรงประกอบอาหารสำเร็จรูปและร่องระบายน้ำสาธารณะ

ซึ่งเพิ่มการสะสมของสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนยังไม่ถูกย่อยสลาย ทำให้แบคทีเรีย methanogenesis ทำงานได้ดี ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างคลองทรงที่ 4 เกิดก๊าซมีเทนความเข้มข้นต่ำสุดคือ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนและค่า BOD ที่เป็นผลจากการเจือจางน้ำเสียโดยกระแสน้ำและการพัดพาตะกอนจากคลองชักพระ

1.2 พื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด

1.2.1 ก๊าซแอมโมเนีย

ก๊าซแอมโมเนีย เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายขององค์ประกอบของโปรตีนและไนโตรเจนในรูปชีวเคมีโมเลกุลในสัตว์ ฟืชและจุลินทรีย์ ด้วยปฏิกิริยา ammonification โดยแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic microorganisms) ที่อาศัยอยู่ในน้ำและชั้นตะกอน การย่อยสลายแบบนี้จะใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย และปฏิกิริยา dissimilatory nitrate reduction ในตะกอนดินได้น้ำที่อยู่ในสภาพไร้อากาศ จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด พบช่วงความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซแอมโมเนียเท่ากับ 36.22-75.84 ppm โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, บ่อฝักรูที่ 3, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลังฯ, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชป่าชายเลน และ บ่อดกตะกอน เท่ากับ 75.84, 67.92, 44.15, 38.49 และ 36.22 ppm ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด คือ การมีสารประกอบไนโตรเจน ไนเตรต และ แอมโมเนีย ทั้งในน้ำและในตะกอนน้ำเสียซึ่งมาจากการรับน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ น้ำเสียจากการชะล้างเลือด มูล ปัสสาวะของสัตว์, น้ำเสียที่มีองค์ประกอบโปรตีนในกากมันสำปะหลัง และน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ส่วนปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างบ่อกักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เกิดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้นสูงสุดคือ ลักษณะเป็นบ่อเปิดโล่งและมีความคั่งเงินซึ่งเพิ่มการสะสมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีความใหม่ในชั้นตะกอน เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา ammonification ค่า pH และ ค่า BOD ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างบ่อดกตะกอน เกิดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้นต่ำสุดคือ ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบและค่าปริมาณแอมโมเนียในน้ำ

1.2.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายซัลเฟตซึ่งเป็นองค์ประกอบในสัตว์ พืชและจุลินทรีย์ ด้วยปฏิกิริยาการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) โดยแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาพไร้ออกไซด์ผลิตก๊าซเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด คือ การมีสารประกอบซัลไฟด์ในน้ำ และการมี available sulfate ในตะกอนดินที่มาจากการตกตะกอนสารประกอบซัลเฟต จากกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ น้ำเสียจากการชะล้างเลือด อวัยวะและชิ้นส่วนของสัตว์, น้ำเสียจากการต้มเมล็ดซัลเฟตเพื่อฟอกสีในการทำแป้งมันสำปะหลังแบบ native starch และน้ำเสียชุมชนจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งเป็นแหล่งซัลเฟตสำหรับ sulfate reducing bacteria จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดพบช่วงความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 45.15-68,050 ppm โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลังฯ, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชปาล์มน้ำมัน, บ่อดักตะกอน, บ่อดักน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์และบ่อฝังที่ 3 เท่ากับ 68,050, 372.19, 360.27, 60.51 และ 45.15 ppm ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานแป้งมันสำปะหลังฯ เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงสุดคือ ค่า BOD, ปริมาณ available sulfate ในตะกอนดินและปริมาณสารประกอบซัลไฟด์ในน้ำ ที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา dissimilatory sulfate reduction ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝังที่ 3 เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นต่ำสุดคือ ค่า DO ซึ่งเป็นผลจากปรากฏการณ์ algal bloom

1.2.3 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายกรดแอซิดิกหรือก๊าซไฮโดรเจนที่มาจากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย ก๊าซมีเทนเกิดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนโดยอาศัยแบคทีเรีย methanogens ซึ่งจัดอยู่กลุ่มอาร์เคีย (archae bacteria) ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด คือ การพบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่มาจากการย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอน เช่น แป้ง น้ำตาล และ เซลลูโลส ในตะกอนน้ำเสียที่มาจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์, ส่วนประกอบของไขมันสำปะหลัง และน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับ methanogenic bacteria จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่

ศึกษาตะกอนน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัด พบช่วงความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซมีเทนเท่ากับ 7,815,618-9,900,837 ppm โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานเป็่งมันลำปะหลังฯ, บ่อดกตะกอน, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแปลงพืชป่าชายเลน, บ่อฝังที่ 3 และ บ่อบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ เท่ากับ 9,900,837, 9,560,606, 9,358,871, 9,239,038 และ 7,815,618 ppm ตามลำดับ ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โรงงานเป็่งมันลำปะหลังฯ เกิดก๊าซมีเทนความเข้มข้นสูงสุดคือ ค่า BOD และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในตะกอนน้ำเสียที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยา methanogenesis ปัจจัยที่ทำให้จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝังที่ 3 เกิดก๊าซมีเทนความเข้มข้นต่ำสุดคือ ลักษณะที่ตั้งและพื้นที่สัมผัสอากาศ

2. การเปลี่ยนแปลงชนิดและสัดส่วนของก๊าซจากตะกอนน้ำเสียเมื่อเทียบกับเวลา

2.1 แอมโมเนีย

มีการเกิดก๊าซแอมโมเนียในวันที่ 3 ของการเก็บตัวอย่างทุกจุดเก็บ ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างคลองทรง 4 และ ป่าชายเลน และเฉลี่ยแล้วเกิดก๊าซแอมโมเนียมากที่สุดในวันที่ 6 ซึ่งแนวโน้มมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือมีการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นรูปประฆังคว่ำ โดยมีอิทธิพลจากการเลือกลำดับตัวรับอิเล็กตรอน โดยวิธีการเก็บตัวอย่างมีผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนในตะกอนดิน ทำให้ 1-2 วันแรกของการเก็บตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนไนเตรดให้กลายเป็นแอมโมเนียที่ต้องอาศัยภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นล่าช้า

2.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์

การเปลี่ยนแปลงของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แสดงการเพิ่มขึ้นสูงสุดที่คล้ายกันในทุกจุดเก็บตัวอย่างคือในวันที่ 6 หรือ 7 เป็นผลมาจากปัจจัยการเลือกลำดับตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและค่า pE ที่ในวันที่ 1-4 ยังมีการเลือกออกซิเจนอยู่ ก่อนจะเปลี่ยนเป็นซัลเฟต และการมีแนวโน้มการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 1-4 วันของการเก็บตัวอย่าง เกิดจากการถูกรบกวนของตะกอนจากแหล่งกำเนิดทำให้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แทรกตัวในช่องว่างของตะกอนถูกปลดปล่อยออกมา ส่วนจุดเก็บโรงฆ่าสัตว์ซึ่งเป็นข้อยกเว้นเพราะสาเหตุจากระยะเวลาการเก็บตะกอนก่อนการทดลองนานกว่าจุดอื่น

2.3 มีเทน

การเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซมีเทนจากจุดเก็บตัวอย่างคลองทรงเทวดา มีความสัมพันธ์กับค่า pE ของตะกอน ที่มีความเหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทน ในช่วงวันที่ 4-5 ของ การเก็บตัวอย่าง และการพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซมีเทนในจุดเก็บตัวอย่างตะกอน น้ำเสียจากระบบบำบัดในช่วง 1-4 วันแรก เกิดจากการรบกวนตะกอนด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างและการเคลื่อนย้าย ทำให้ค่า pE ภายใน chamber สูงขึ้นถึงเขตออกซิเดชัน (oxidation zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซมีเทน

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่สั้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงหรือแนวโน้มระยะยาวเป็นสิ่งที่มองเห็นได้ยาก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากข้อจำกัดทางด้าน เวลา สถานที่ เครื่องมือและบุคลากร อีกทั้งการเก็บตัวอย่างเป็นแบบครั้งเดียว ซึ่งทำให้มองเห็นผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซได้ยาก ดังนั้นจึงควรเพิ่มเวลาในการเก็บตัวอย่างเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มในระยะยาว

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรรมธิการ สิริสิงห. 2549. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์วิศาล
การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2545.

น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2539. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงฆ่าสัตว์. กรมโรงงาน
อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันต์
แปรรูป และแป้งมันสำเร็จรูป. โรงพิมพ์สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, กรุงเทพฯ.

_____. 2541. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฆ่าสุกร. โรงพิมพ์สำนักเลขาธิการ
คณะรัฐมนตรี, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทรแก้ว. 2546. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2543. รายงาน
สรุปผลการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนว
พระราชดำริ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2552. รายงานบริการวิชาการด้านการบำบัดน้ำเสีย บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมัน
บ้านโป่ง จำกัด ตำบลเบิกไพร อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ครั้งที่ 2.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ประมาณ พรหมสุทธีรักษ์. 2531. เอกสารการสอนวิชาชลธีวิทยา. คณะประมง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8.
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2551. คู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช.
พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัฒนา มุลพฤกษ์. 2546. อนามัยสิ่งแวดล้อม. โรงพิมพ์ซีม่า ดีไซน์ กราฟฟิก, กรุงเทพฯ.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. 2553. การวิเคราะห์ซัลไฟด์ในน้ำ. สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม
โรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

ไพฑูรย์ ประพุดิธรรม. 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. จุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.

วลัยนุช พรหมสังข์. 2551. ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรง
ฆ่าสัตว์ เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีในสภาพดินน้ำขังสลับแห่งร่วมกับรูปถ่าย. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิสา ทรัพย์อิทธินันต์. 2550. กระบวนการเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน
ไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (Ammonification) ในโรงงานพิมพ์ผ้าที่ใช้สีพิมพ์ชนิดรีแอคทีฟ
(Reactive Dyes) และผลกระทบ. สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงาน
อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

สุบัณฑิต นิมรรัตน์. 2548. จุลชีวะวิทยาของน้ำเสีย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
กรุงเทพฯ.

อัมพร อึ้งปกรณ์แก้ว. 2552. **คู่มือการปฏิบัติงานสำหรับการหาปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน**. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

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 Waters**. FWPCA Training Activity No. WP. SUR. 2 sd. 8. 68. Washington D.C.

Bicudo, J.R., D.R. Schmidt, S.W. Gay, R.S. Gates, L.D. Jacobson, and S.J. Hoff. 2002. Air quality and emissions from livestock and poultry production/waste management systems. *In National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers*. North Carolina State University, Raleigh, NC.

Blunden, J., V.P. Aneja and P.W. Westerman. 2008. Measurement and analysis of ammonia and hydrogen sulfide emission from a mechanically ventilated swine confinement building in North Carolina. **Atmospheric Environmental**. 42:3315-3331.

Casey, K.D., J.R. Bicudo, D.R. Schmidt, A. Singh, S.W. Gay, R.S. Gates, L.D. Jacobson, S.J. Hoff. 2006. Air quality and emissions from livestock and poultry production/waste management systems. *In* J.M. Rice, D.F. Caldwell, F.J. Humenik, eds. **National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers**. Animal and the Environmental. Michigan.

Connell, D.W. 2005. **Basic Concepts of Environmental Chemistry**. 2nd (ed.). CRC Press, Inc., New York.

- Catalan, L.J., V. Liang and C.Q. Jia. 2006. Comparison of various detection limit estimates for volatile sulphur compounds by gas chromatography with pulsed flame photometric detection. **Journal of Chromatography**. 1136: 89–98.
- Dalsgaard, T. and F. Bak. 1994. Nitrate Reduction in a Sulfate-Reducing Bacterium, *Desulfovibrio desulfiricans*, Isolated from Rice Paddy Soil: sulfide Inhibition, Kinetics, and Regulation. **Applied and Environmental Microbiology** 60: 291-297.
- Davidson, G.R., S.J. Bennett, W.C. Beard and P. Waldo. 2005. Trace elements in sediments of an aging reservoir in rural Mississippi: potential for mobilization following dredging. **Water Air Soil Pollution**. 163: 281–292.
- Douglas, M.C. 1984. **Encyclopedia of Chemistry**. Vol.4 (1984): 1082.
- Google. 2010. **Bangkok Map**. Google Map. Available Source: <http://map.google.com>, April 20, 2010.
- Huttunen, J.T., T.S. Vaisanen, S.K. Helisten and P.J. Martikainen. 2006. Methane Fluxes at the Sediment-water Interface in Some Boreal Lakes and Reservoirs. **Boreal Environment Research**. 11:27-34.
- Halling-Sorensen, B. and S.E. Jorgensen. 1993. **The removal of nitrogen compounds from wastewater**. Elsevier science publishers B.V., Inc., Amsterdam.
- International Programme on Chemical Safety. 1986. **Environmental Health Criteria 54: Ammonia**. United National Environment Programme, International Labour Organisation, World Health Organization, California.

- Kelly, C.A., and D.P. Chynuweth. 1981. The Contributions of Temperature and of the Input of Organic Matter to Controlling Rates of Sediment Methanogenesis. **Limnol. Oceanogr.** 26: 891-897.
- Kelso, B., R.V. Smith, R.J. Laughlin and S.D. Lennox. 1997. Dissimilatory Nitrate Reduction in Anaerobic Sediments Leading to River Nitrite Accumulation. **Applied and Environmental Microbiology.** 63: 4679-4685.
- Lapota, D., D. Duckworth and J. Ward. 2000. **Confounding Factors in Sediment Toxicology.** Space and Naval Warfare Systems Center, California.
- Mancl, K and M.A. Veenhuizen. 1991. **Avoiding Stream Pollution from Animal Manure.** Ohio State University, Ohio.
- Miao, S., R.D. Delaune and A. Jugsujinda. 2006. Influence of sediment redox conditions on release/solubility of metals and nutrients in a Louisiana Mississippi River deltaic plain freshwater lake. **Science of the Total Environment** 371: 334-343.
- Nelson, D.C. 1990. **Autotrophic Bacteria.** Springer-Verlag, Berlin.
- Nrighu, J.O. 1978. **Sulfur in the Environmental Part II. Ecological Impacts.** John Wiley & Sons., Inc., Canada.
- Ockerman, H.W. and C.L. Hansen. 2000. **Animal By-Product. Processing and Utilization.** Technomic Publishing Co., Inc., Pennsylvania.
- Parker, P.S. 1993. **Encyclopedia of Chemistry.** Vol 2 (1993). 1236.
- Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling: technology and Management.** John Wiley and Son Inc., West Sussex.

Saarijavi, E. and K.M. Lappalainen. 2001. Flootation-Like Gas Ebullition as a Mechanism for Sediment Resuspension. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 27: 4093-4096.

Smol, J.P. 2008. **Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective.** Blackwell Pub., London.

US Environmental Protection Agency. 1985. **Design Manual Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants.** Office of Research and Development, Cincinnati.

_____. 1999. **Update of Ambient Water Quality Criteria for Ammonia.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.

_____. 2001. **Emissions from Animal Feeding Operations.** Emissions Standards Division, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, Washington DC.

_____. 2003. **Toxic Review of Hydrogen sulfide.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.

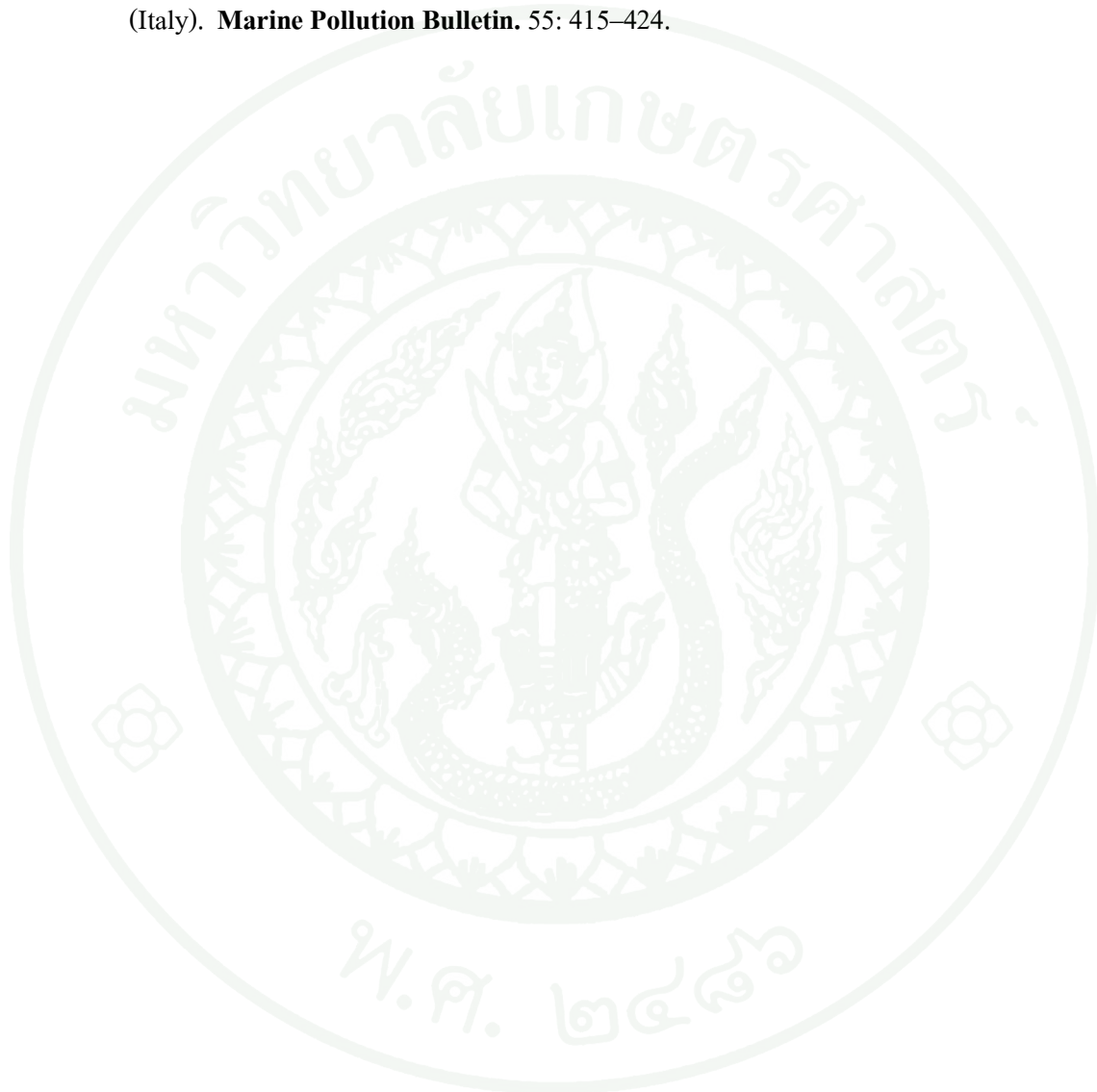
_____. 2011. **Methane and Nitrous Oxide Emission from Natural Sources.** Office of Atmospheric Program, Washington DC.

Warneck., P. 2000. **Chemistry of the Natural Atmosphere.** Academic Press, San Diego.

Wolf, B. 1999. **The Fertile Triangle : The Interrelationship of Air, Water and Nutrient in Mixing Soil Productivity.** The Haworth Press, Inc., New York.

Vanloon, G.W. and S.J. Duffy. 2005. **Environmental Chemistry**. 2nd (ed.). Oxford University Press Inc., New York.

Zaggia, L, J. Rosso and R. Zonta. 2007. Sulphate reduction in the sediment of the Venice canals (Italy). **Marine Pollution Bulletin**. 55: 415–424.







ภาคผนวก ก

ข้อมูลด้านเคมีและกายภาพบางประกอบของน้ำและตะกอนน้ำเสีย

ตารางผนวกที่ ก1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียแยกตามจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	Temp (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)
คลองทรง 1	28.4	7.3	1.1	21
คลองทรง 2	29.5	7.1	1	50
คลองทรง 3	29.6	7	1.1	49
คลองทรง 4	29	7.1	1.2	27
โรงฆ่าสัตว์	34.8	7.6	1	249
โรงงานแปรงไม้สำปะหลัง	34	7.1	1	335
บ่อดักตะกอน 1	30.5	7.2	1	36.5
บ่อฝิ่ง 3	29.6	8.5	5.2	47
ป่าชายเลน	29.4	9.1	1.4	31

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณ nitrogen ammonia, nitrogen nitrate และ nitrogen TKN ในตัวอย่างน้ำจําแนกตามแหล่งกำเนิด

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณ Nitrogen (mg/L)		
	Ammonia	Nitrate	TKN
คลองทรง 1	14.00	0.66	20.00
คลองทรง 2	18.00	0.66	25.00
คลองทรง 3	19.00	0.69	22.00
คลองทรง 4	14.00	0.66	15.00
โรงฆ่าสัตว์	0	0.90	73.00
โรงงานแปรงไม้	156.00	5.63	233.00
บ่อดักตะกอน	13.00	0.83	28.00
บ่อฝิ่ง 3	0	3.87	4.00
ป่าชายเลน	0	0.90	1.00

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณสารประกอบ sulfide ในตัวอย่างน้ำจําแนกตามแหล่งกําเนิด

ตัวอย่างน้ำ	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารประกอบ Sulfide (ppm)
	ในน้ำ 1 มิลลิลิตร
คลองทรง 1	1.60
คลองทรง 2	2.13
คลองทรง 3	3.20
คลองทรง 4	1.33
โรงฆ่าสัตว์	0.66
โรงงานเป้งมัน	6.92
บ่อดกตะกอน	1.90
บ่อฝิ่ง 3	0.09
ป่าชายเลน	0.17

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณ available sulfate ในดินตะกอนจําแนกตามแหล่งกําเนิด

ตัวอย่างตะกอน	ค่าเฉลี่ยปริมาณ Available sulfate (ppm)
	ในดิน 1 กรัม
คลองทรง 1	189.58
คลองทรง 2	252.08
คลองทรง 3	158.33
คลองทรง 4	99.58
โรงฆ่าสัตว์	162.92
โรงงานเป้งมัน	1,635.42
บ่อดกตะกอน	114.58
บ่อฝิ่ง 3	54.69
ป่าชายเลน	85.00

ตารางผนวกที่ ก5 ปริมาณ Carbon, Hydrogen และ Nitrogen ที่เป็นองค์ประกอบในดิน
ตะกอนจำแนกตามแหล่งกำเนิด

ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณองค์ประกอบ (%)		
	Carbon	Hydrogen	Nitrogen
คลองทรง 1	12.04	2.24	1.00
คลองทรง 2	12.71	2.59	1.16
คลองทรง 3	8.38	1.72	0.90
คลองทรง 4	4.19	1.67	0.40
โรงฆ่าสัตว์	9.17	1.97	1.04
โรงงานแป้งมัน	42.03	6.74	8.35
บ่อดักตะกอน	8.33	2.08	0.97
บ่อฝัง 3	3.52	1.06	0.45
ป่าชายเลน	2.57	0.81	0.28

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาว ชัชฎาพร มีศรี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	6 เมษายน พ.ศ. 2529
สถานที่เกิด	จังหวัด แม่ฮ่องสอน
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนงานวิจัยโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มูลนิธิชัยพัฒนา