

การใช้จลนศาสตร์เคมีในการศึกษาการเกิดซัลไฟด์ในน้ำเสียชุมชน เทศบาล
เมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

Chemical Kinetic of Sulfide Established in Municipal Wastewater
Phetchaburi Mueang Municipality Phetchaburi Province

คำนำ

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้มนุษย์นำทรัพยากรมาใช้ได้อย่างรวดเร็วเพื่อสนองตอบต่อความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นนั้นส่งผลให้ปริมาณการใช้ทรัพยากรของมนุษย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย น้ำเป็นทรัพยากรพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ มนุษย์พยายามแสวงหาแหล่งน้ำที่สะอาดมาใช้ในการอุปโภคบริโภค โดยมนุษย์ได้นำเอาเทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการอุปโภคและบริโภคน้ำที่ผ่านการอุปโภคบริโภคแล้ว มนุษย์ได้ใช้เทคโนโลยีในการนำน้ำเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ชุมชนเมืองได้มีการนำระบบรวบรวมน้ำเสียมาใช้ในการรวบรวมน้ำเสียจากชุมชน บ้านเรือน ตลาด โรงพยาบาล รวมถึงอุตสาหกรรมขนาดต่าง ๆ ก่อนที่จะนำน้ำเสียไปผ่านกระบวนการบำบัดต่อไป ระบบรวบรวมน้ำเสียที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ ระบบที่รวบรวมน้ำเสีย โดยทำการฝังท่อรวบรวมน้ำเสียไว้ใต้ดิน ซึ่งมีการถ่ายเทอากาศได้น้อย ประกอบกับระยะทางของท่อที่ยาวทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียภายในเส้นท่อนาน ส่งผลให้สภาวะภายในเส้นท่อส่วนใหญ่อยู่ในสภาพไร้อากาศ เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำที่อยู่ในท่อรวบรวมน้ำเสียในสภาพไร้อากาศ ผลผลิตจากการย่อยสลายที่ได้ส่วนใหญ่ คือ เซลล์จุลินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ รวมถึงก๊าซต่าง ๆ เช่น มีเทน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น สิ่งที่น่าสนใจ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีผลต่อระบบที่รวบรวมน้ำเสีย เนื่องจากซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับความชื้นภายในท่อ ได้เป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งกัดกร่อนทำให้ท่อส่งน้ำเสียเกิดความเสียหายและมีกลิ่นไม่พึงประสงค์เกิดขึ้น

ดังนั้นปริมาณซัลไฟด์ในระบบท่อรวบรวมน้ำเสียจึงควรทำการศึกษา เพราะความเสียหายที่เกิดขึ้นมีผลต่อการซ่อมแซมรักษาท่อ แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในเส้นท่อนั้น การเก็บตัวอย่างน้ำภายในเส้นท่อระหว่างเส้นทางส่งน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์ในบางระบบ อาจทำได้ยาก เช่น ระบบท่อปิดที่มีช่องสำหรับเก็บน้ำเสียตลอดเส้นท่อน้อยจุด จึงมีการประยุกต์นำสมการในการคำนวณมาใช้ในการประเมินปริมาณซัลไฟด์ที่สะสมภายในเส้นท่อนั้นจะก่อให้เกิดการชำรุดเสียหายแก่ท่อต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดซัลไฟด์กับค่าบีโอดีในน้ำเสียชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรี ที่รวบรวมมาบำบัดที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
2. เปรียบเทียบปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จากการตรวจวัดจริงกับปริมาณซัลไฟด์ที่ประเมินด้วยสมการจลนศาสตร์เคมีของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ทางจลนศาสตร์เคมี เพื่อประเมินปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

การตรวจเอกสาร

1. แหล่งที่มาและคุณลักษณะของน้ำเสีย

เสริมพลและไชยยุทธ (2525) ได้อธิบายว่าน้ำเสีย (wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การชำระล้างร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุคิปีในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร เป็นต้น ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำเสียหรือความสกปรกของน้ำเสียขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ ดังนั้นน้ำเสียจากแต่ละแหล่งจึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน

1.1 ประเภทของน้ำเสีย

Ramalho (1977) กล่าวว่า แหล่งกำเนิดของน้ำเสียแบ่งเป็น 4 แหล่ง ได้แก่ น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (domestic wastewater) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) น้ำเสียจากการเกษตร (agricultural wastewater) และน้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (storm sewage)

1.1.1 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (domestic wastewater) น้ำเสียประเภทนี้มาจาก 2 แหล่ง คือ น้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัยขนาดต่าง ๆ และน้ำเสียจากสถานประกอบการต่าง ๆ รวมทั้งตลาด ร้านค้า โรงมหรสพ โรงแรม สำนักงาน และสถานที่ทำงานต่าง ๆ น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การชำระร่างกาย การล้างภาชนะอุปกรณ์ การประกอบอาหาร การซักเสื้อผ้า การขับถ่าย เป็นต้น สิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ แต่ส่วนมากจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะหรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่าง ๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถบ้านเรือน เป็นต้น รวมทั้งอุจจาระและปัสสาวะ น้ำเสียจากชุมชนแต่ละแห่งต่างก็มีลักษณะและปริมาณแตกต่างกันออกไป

1.1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) สิ่งสกปรกในน้ำเสียมีลักษณะแตกต่างกันออกไป มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับการใช้และประเภท

ของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากส่วนต่างๆ ของกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น น้ำหล่อเย็น น้ำล้างวัตถุดิบและเครื่องจักร น้ำจากกระบวนการผลิต เป็นต้น

1.1.3 น้ำเสียจากการเกษตร (agricultural wastewater) ได้แก่ น้ำเสียจากการเพาะปลูก และเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์ที่ทำเป็นลักษณะของอุตสาหกรรม เช่น สุกร โค ปลา และกุ้ง เป็นต้น

1.1.4 น้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (storm sewage) ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงมาแล้วไหลลงไปตามพื้นดิน น้ำเสียประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านระบบบำบัด สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้เลย

1.2 สิ่งสกปรกในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกในน้ำเสียเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด เพื่อให้น้ำนั้นมีสภาพที่ดีขึ้นก่อนที่จะปล่อยออกไปสู่แหล่งน้ำอื่น ๆ หรือสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป ซึ่งธงชัยและวิบูลลักษณ์ (2540) ได้อธิบายว่าสิ่งที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียโดยทั่วไปมีดังนี้ คือ

1.2.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ฟืชผัก ซึ้นเนื้อ เป็นต้น

1.2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็นแต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น

1.2.3 โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ โดยอาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท แคดเมียม ทองแดง ปกติจะมาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษเหล่านี้จากอุตสาหกรรม บางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

1.2.4 น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและขัดขวางการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ และทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

1.2.5 ความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ

1.2.6 ของแข็ง ประกอบด้วยของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ตะกอนหนัก (settleable solids) และของแข็งละลาย (dissolved solids) ซึ่งเมื่อจมน้ำลงสู่ก้นลำน้ำทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

1.2.7 สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำ และทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู

1.2.8 กรดและด่าง สามารถวัดโดยค่า pH ถ้า pH มากกว่า 7 หมายถึง สภาพเป็นด่าง pH น้อยกว่า 7 หมายถึง สภาพเป็นกรด น้ำสะอาดจะมี pH เท่ากับ 7 pH มีผลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

1.2.9 สารก่อให้เกิดฟองและสารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อปลา

1.2.10 จุลินทรีย์ (microorganism) นำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ทำให้สามารถลดระดับของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำได้ในระยะเวลาสั้น ทำให้เกิดการเน่าเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

1.2.11 สารกัมมันตรังสี อาจมาจากโรงพยาบาลหรือองค์กรของรัฐบาล เป็นสารอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต และก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้

1.2.12 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (algae bloom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วงเวลา กลางคืน และทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

1.2.13 กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

1.3 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน

เปี่ยมศักดิ์ (2539) กล่าวว่าน้ำเสียจากแหล่งชุมชนแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1.3.1 sanitary wastewater คือ น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากบ้านเรือน ซึ่งรวมทั้งน้ำจาก ห้องน้ำ ห้องครัว และน้ำซักเสื้อผ้า

1.3.2 domestic wastewater คือ น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากชุมชน ซึ่งรวมถึงน้ำทิ้ง ของบ้านเรือน ตลาด และโรงพยาบาล

1.3.3 municipal wastewater คือ น้ำเสียที่อยู่ในท่อน้ำเสียของเทศบาลเมือง ตามปกติ แล้วจะมีแต่น้ำเสียที่ถูกปล่อยมาจากชุมชน (domestic wastewater) แต่บางแห่งเทศบาลอนุญาตให้ โรงงานอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมย่อย ถายน้ำเสียลงสู่ท่อระบายน้ำรวมกับน้ำเสียจากแหล่ง ชุมชนได้ น้ำเสียในท่อระบายจึงมีความสกปรกมากขึ้น โดยปกติแล้วในต่างประเทศ เช่น สหรัฐ อเมริกา municipal wastewater จะมีน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กปนอยู่ประมาณ 20 %

1.3.4 combined wastewater คือ น้ำเสียซึ่งประกอบด้วยน้ำเสียจากชุมชน (domestic wastewater) น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และน้ำล้นผิวถนน (storm water runoff) ตัวอย่างน้ำเสียชนิดนี้ ได้แก่ น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อระบายน้ำโดยทั่วไปของกรุงเทพมหานคร

1.4 ลักษณะและส่วนประกอบของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน ประกอบด้วยส่วนผสมของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ทั้งขนาดใหญ่ ขนาดเล็ก และขนาดเล็กมาก อาศัยปะปนอยู่ด้วย ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญที่สุด คือ สารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และใช้น้ำเสียเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียในน้ำเสียจึงเติบโตได้เร็วมาก (สุรัสวดี, 2542)

สำหรับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเหล่านี้ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิแกนด์ ไขมัน สบู่ ผงซักฟอกต่าง ๆ ทั้งชนิดที่ไม่สามารถหรือยากแก่การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาชีวเคมี (hard detergent) และชนิดที่สามารถหรือง่ายแก่การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมี (soft detergent) สำหรับสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียประกอบไปด้วยเกลือและแร่ธาตุต่าง ๆ นอกจากนี้ น้ำเสียชุมชนยังมีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลาง คือ มี pH ไม่ต่างจาก 7 มากนัก เช่น น้ำเสียจากส่วนของโรงแรมและครัวของภัตตาคาร มี pH เท่ากับ 7.05 และ 6.74 ตามลำดับ (ปราณี, 2537) ส่วนประกอบของน้ำ (water content) ในน้ำเสียมีค่าสูงมากประมาณร้อยละ 99.9 หรือมากกว่านั้น ซึ่งหมายความว่าค่าจำนวนของของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียมีอยู่เพียงร้อยละ 0.1 หรือน้อยกว่านั้นอีก (เกรียงศักดิ์, 2539)

เปี่ยมศักดิ์ (2539) กล่าวว่า สิ่งที่ควบคุมลักษณะและส่วนประกอบของน้ำเสีย ได้แก่

1.4.1 ลักษณะของชุมชน ถ้าเป็นชุมชนที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อบุคคลจำกัดจะมีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกมาก ในทางกลับกันถ้าเป็นชุมชนที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อบุคคลสูง จะทำให้มีความเข้มข้นของความสกปรกไม่มากนัก

1.4.2 ระบบท่อระบายน้ำ ถ้ามีท่อระบายน้ำเสียจากบ้านเรือนแยกกับน้ำดีผิวดิน หรือผิวดิน และไม่มีน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมย่อยมาปะปนแล้ว ความเข้มข้นและส่วนประกอบของน้ำเสียจะคงที่ แต่ถ้าเป็นแบบ municipal และ combined wastewater แล้ว จะมีความเข้มข้นและส่วนประกอบไม่คงที่ หรือถ้ามีการรั่วไหลออกไปหรือเข้ามาของน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้ ความยาวของระบบท่อก็มีบทบาทที่สำคัญ ถ้ามีระบบท่อที่ยาวเกินไปจะทำให้เกิดการเน่าเสียขึ้นภายในท่อ และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น

1.4.3 อัตราการไหลภายในท่อ ในแต่ละวันอัตราการไหลอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเสียได้

2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนเป็นตัวควบคุมกระบวนการใช้พลังงานของแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะพืชหรือสัตว์ต่างก็ต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ นอกจากนี้ปริมาณการละลายของออกซิเจนยังใช้เป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำด้วย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความกดอากาศ ความเค็ม คลื่น และอัตรา การหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจัดอยู่ในช่วงระหว่าง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 6.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส ในสภาพความดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้นเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไปด้วย (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528) นอกจากนี้ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้น้อยลง เมื่ออุณหภูมิและความเค็มสูงขึ้น (Warren, 1971) ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล คือ มีค่าสูงในฤดูหนาวและลดลงในฤดูร้อน ตามลำดับ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำยังเป็นตัวกำหนด ปริมาณของบีโอดีในน้ำเสีย (Hammer, 1975) อัตราการใช้ออกซิเจนทางชีวจะเพิ่มเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลง ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่จะบอกให้ทราบว่า น้ำนั้นมีเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (กรรณิการ์, 2544) และถ้าปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้ปลาตาย (Boyd, 1982) ปริมาณออกซิเจนใช้ในการชี้ให้เห็นความใหม่ของน้ำเสีย การมีออกซิเจนละลายอยู่แสดงให้เห็นถึง การออกซิไดส์ว่าสมบูรณ์เพียงใด ซึ่งน้ำเสียโดยทั่วไปจะไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ นอกจากน้ำเสียใหม่ (Babbitt, 1950)

3. ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (biochemical oxygen demand, BOD)

บีโอดี (BOD) ย่อมาจากคำว่า biochemical oxygen demand เป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ (decomposable) ภายใต้อุณหภูมิที่มีออกซิเจน (กรรณิการ์, 2544) สารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ หมายถึง สารอินทรีย์ที่สามารถเป็นอาหารของแบคทีเรียจากการออกซิเดชันจะได้พลังงานซึ่งแบคทีเรียจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

และแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิเดชันอาจเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ แอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร

นภาพรรณ (2535) กล่าวถึง การวัดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี กระทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 วิธีทำ BOD test ซึ่งใช้หลักการวัดปริมาณออกซิเจนละลายที่จุลินทรีย์ ใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยใช้ Winkler method ในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย

วิธีที่ 2 วิธีวัดโดยตรงโดยใช้ oxygen electrode

นภาพรรณ (2535) กล่าวถึง การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขบวนการชีวเคมี ซึ่งเป็นแบบต้องการออกซิเจน ดังนี้

ขั้นที่ 1 แบคทีเรียพวก heterotroph จะใช้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายในน้ำก่อน ในขณะที่กำลังเจริญจะจับพวก reduced inorganic metabolites (NH_4^+) ในช่วงสุดท้ายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายจะถูกใช้ไปหมดและจะมีพวกสารประกอบแอมโมเนียอยู่มาก

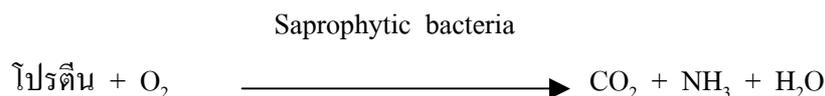
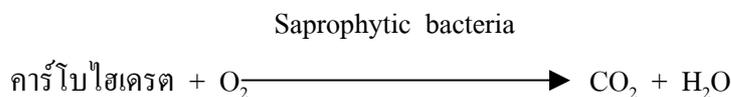
ขั้นที่ 2 แบคทีเรียพวก autotroph ซึ่งสามารถออกซิไดส์ NH_4^+ เป็น NO_3^- จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น โดยใช้ CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอน

ขั้นที่ 3 การใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น เนื่องจากโปรโตซัว และจุลินทรีย์อื่นบางชนิดกินแบคทีเรีย ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากเป็นอาหาร

การวัดค่า BOD_5 นั้นวัดเฉพาะปริมาณออกซิเจนที่ถูกพวก heterotrophic bacteria ในขั้นที่ 1 ใช้ไปเท่านั้น ไม่ได้รวมออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในขั้นที่ 2 และ 3

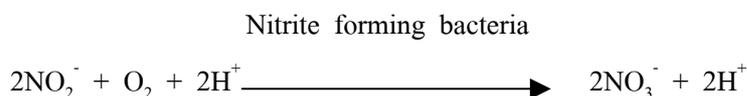
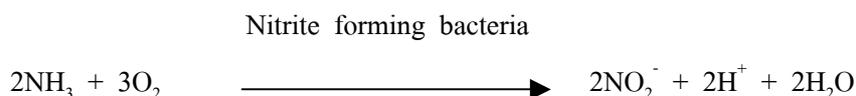
กรรณิการ์ (2544) กล่าวว่า การใช้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิเดชันของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ



ค่าออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลงเนื่องจากถูกแบคทีเรียใช้ไปในกระบวนการออกซิเดชันคือ ค่า BOD ที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิเดชันของแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรท ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้เกิดโดย nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำโสโครกที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า BOD แบคทีเรียเหล่านี้จะมีการแบ่งตัวน้อยมาก ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่า BOD จึงน้อยมาก หลังจากเวลาผ่านไป 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดส์สารแอมโมเนีย ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณของไนเตรตในตัวอย่างซึ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

ค่า BOD จะบอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียจากอาคารบ้านพักอาศัย และจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในเทอมของออกซิเจนที่ต้องการใช้ เมื่อปล่อยน้ำเสียนั้นสู่น้ำ ถ้าคลอง ซึ่งอยู่ในสถานะที่มีออกซิเจนอยู่ การหาค่า BOD มีความสำคัญในการควบคุม ความ

สกปรกของแหล่งน้ำ เพราะค่า BOD จะบอกถึงค่าความสกปรกของแหล่งน้ำนั้นได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบและกำหนดขนาดของบ่อบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

กรรมกร (2544) กล่าวว่า การหาค่า BOD เป็นวิธีการหาทางชีวะ (bioassay procedure) เกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด การที่จะให้การทดสอบเป็นปริมาณวิเคราะห์ ต้องป้องกันไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศ เพื่อไม่ให้เกิดการเติมออกซิเจนหรือสูญเสียออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เนื่องจากการละลายของออกซิเจนในน้ำมีจำกัด คือ ประมาณ 9 mg/l ที่ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นน้ำเสียที่สกปรกมาก จะต้องถูกนำมาเจือจางจนถึงระดับที่แน่ใจว่าจะมีออกซิเจนในน้ำเหลืออยู่ตลอดช่วงเวลาของการทดลอง และเนื่องจากวิธีการหาเป็นวิธีการทางชีวะซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ สภาวะแวดล้อมที่ใช้จะต้องเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย เพื่อที่จะทำหน้าที่ได้โดยไม่มีอุปสรรค สภาวะที่กล่าวนี้ คือ ไม่มีสารพิษ มีสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุจำเป็นบางตัว ซึ่งต้องการในปริมาณน้อย การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะตามธรรมชาติเกิดขึ้น โดยกลุ่มของแบคทีเรียหลากหลายชนิด ซึ่งจะทำให้เกิดการออกซิเดชันจนสมบูรณ์ คือ ได้เป็น CO₂ และ H₂O ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีแบคทีเรียหลากหลายชนิดเหล่านี้

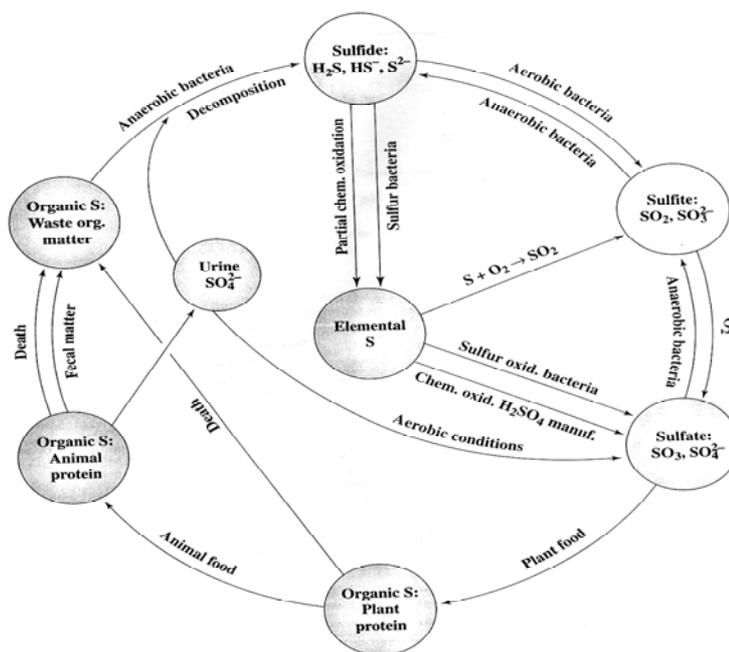
เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้องในการหาค่า BOD เป็นผลของกิจกรรมทางชีวะ และอัตราของปฏิกิริยาที่ดำเนินไปถูกควบคุมโดยจำนวนแบคทีเรีย อุณหภูมิ และเวลา อาจจำกัดผล เนื่องจากอุณหภูมิโดยใช้อุณหภูมิตดลองที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของแหล่งน้ำธรรมชาติ แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติมักเป็นพวกที่พบอยู่ในดิน อัตราของการย่อยสลายที่ 20 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะในการทดลองนี้ ตามทฤษฎีใช้เวลาานเพื่อให้ถึงจุดที่สมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติให้ถือว่าในเวลา 20 วัน การย่อยสลายจะเกิดอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามเวลา 20 วัน นับว่านานเกินไปที่จะรอผลการทดลองเพื่อที่จะให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือได้ จึงต้องทำให้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือในการหาค่า BOD มาตรฐานจะใช้การบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว เพราะเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของแหล่งน้ำทั่วไป และ nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกใช้เวลากการบ่ม 5 วัน เพราะถ้าเวลาน้อยกว่านี้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมาก ทำให้เกิดความผิดพลาดได้มาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนในระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้น ประการสุดท้าย ถ้าเวลากการบ่มนานเกินไป

ไปอาจไม่ทันกับการที่จะปล่อยน้ำเสียต่าง ๆ ลงแม่น้ำ ถ้าคลอง ใช้สัญลักษณ์ BOD_5 แทนค่า BOD ที่ใช้เวลาในการบ่ม 5 วัน

4. ที่มาและปัญหาของธาตุซัลเฟอร์

4.1 วัฏจักรซัลเฟอร์

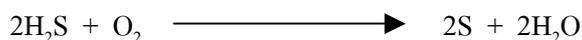
ดวงพร (2545) กล่าวว่า ซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S) เป็นธาตุที่มีปริมาณมากภายในโลก ดังนั้นจึงไม่ค่อยพบว่า ซัลเฟอร์เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญ ซัลเฟอร์มีค่า oxidation level ได้หลายค่าไม่ว่าจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และจากปฏิกิริยาการออกซิไดส์และรีดิวซ์ โดยจุลินทรีย์เป็นตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนของค่า oxidation level ของธาตุซัลเฟอร์ภายในสารประกอบต่าง ๆ ก่อให้เกิดวัฏจักรซัลเฟอร์จุลินทรีย์สามารถกำจัดซัลเฟอร์ออกจากสารอินทรีย์ ถ้าหากเป็นสภาวะมีอากาศกำจัดซัลเฟอร์ (desulfurization) ออกจากสารอินทรีย์ทำให้เกิดซัลเฟต แต่ถ้าเป็นสภาวะไร้อากาศได้ก๊าซไข่เน่า (H_2S) ก๊าซไข่เน่าอาจเกิดจากแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต (SO_4^{2-}) คือ ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการหายใจแบบไร้อากาศ การสะสมก๊าซชนิดนี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดลอม ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้เป็นโลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วัฏจักรซัลเฟอร์

ที่มา: Clair et al. (2003)

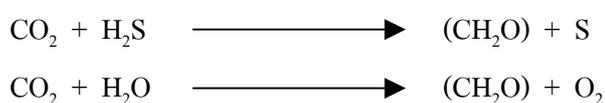
การออกซิไดซ์ซัลเฟอร์ แบคทีเรียที่สามารถออกซิไดส์ก๊าซไข่เน่าเพื่อสร้างพลังงาน ได้แก่ *Beggiatoa* และ *Thiotrix* เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะฟิลาเมนต์ส ชอบอากาศเล็กน้อย สามารถออกซิไดส์ H_2S ดังสมการ



ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นสะสมไว้ในเซลล์ ในสภาวะที่ขาด H_2S ซัลเฟอร์ถูกออกซิไดส์ ต่อเป็นซัลเฟต แบคทีเรียที่กล่าวมาไม่ใช่พวกคีโมลิโทโทรฟ มันยังคงต้องการสารอินทรีย์คาร์บอน แต่แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Thiobacillus* ซึ่งสามารถออกซิไดส์ H_2S และสารประกอบซัลเฟอร์ในรูปรีดิวซ์บางชนิดของ *Thiobacillus* ได้พลังงานจากการออกซิไดส์อนินทรีย์ซัลเฟอร์ และได้คาร์บอนจากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ *Thiobacillus* ส่วนใหญ่ต้องการอากาศสำหรับการเจริญเพื่อใช้ออกซิเจนออกซิไดส์สารอนินทรีย์ซัลเฟอร์ *T. denitrificans* สามารถใช้ในเครดไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการออกซิไดส์อนินทรีย์ซัลเฟอร์ ดังตัวอย่าง



แบคทีเรียที่ออกซิไดส์ซัลเฟอร์กลุ่มคีโมออโตโทรฟ สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในพื้นที่ดินและแหล่งน้ำ ส่วนพวกเฮเทโรโทรฟการออกซิไดส์อินทรีย์ซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟตหรือไฮโอซัลเฟต ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) ไม่พบว่าได้พลังงานจากปฏิกิริยานี้ นอกจากนี้ H_2S ยังถูกใช้โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง กลุ่ม Chromatiaceae Chlorobiaceae ในสภาวะไร้อากาศแบคทีเรียเหล่านี้รีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่มันออกซิไดส์ H_2S ไปเป็น S^0 ซึ่งแตกต่างจากการสังเคราะห์แสงของพวกยูคาริโอต ดังสมการ



การรีดิวซ์ซัลเฟตมีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการหายใจแบบไร้อากาศ การใช้ซัลเฟตในการหายใจเป็นการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) และแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญในสภาพไร้อากาศเท่านั้นเรียกว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (sulfate reducing bacteria) ได้แก่ *Desulfovibrio* *Desulfotomaculum* และ *Desulfomonas* ผลการรีดิวซ์ซัลเฟตทำให้เกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) ดังสมการ



นอกจากแบคทีเรียกลุ่มที่กล่าวมาแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Bacillus Pseudomonas* และ *Saccharomyces* ทำให้เกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) จากซัลเฟตได้ แต่มีบทบาทน้อยมากในปฏิกิริยาแบบนี้ การรีดิวซ์ซัลเฟตเกิดได้ในช่วง pH ที่กว้าง รวมถึงความดัน อุณหภูมิ และเกลือต่างก็อยู่ในช่วงที่กว้างเช่นกัน ปัจจัยที่จำกัดการเกิดคือ สารที่จะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนสำหรับการรีดิวซ์ซัลเฟต ส่วนใหญ่ตัวให้อิเล็กตรอนคือ ไพรูเวต แลคเตต และก๊าซไฮโดรเจน การรีดิวซ์ซัลเฟตถูกยับยั้งในที่ซึ่งมีออกซิเจน ไนเตรต หรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) มีการแข่งขันระหว่างพวกแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตกับเมทาโนจิнокแบคทีเรีย เพื่อใช้ตัวให้อิเล็กตรอน ภายในโคลนตะกอนการเกิดเมทาโนจิซึอยู่ส่วนล่างบริเวณที่มีซัลเฟต อัตราการรีดิวซ์ซัลเฟตบ่อยครั้งที่แหล่งคาร์บอนเป็นสารจำกัดอัตราการเกิดสารอินทรีย์ที่มีในตะกอน จึงเป็นตัวเร่งอัตราการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (ดวงพร, 2545)

มันสิน (2542) กล่าวว่า จุลินทรีย์นำเอาซัลเฟตไปใช้สร้างโปรโตพลาสซึม โดยต้องรีดิวซ์ซัลเฟตก่อนนำไปสร้างเป็นสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์ และจุลินทรีย์จะนำเอาซัลเฟตเฉพาะเท่าที่จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาชีวสังเคราะห์เท่านั้น (ไม่มีการสะสมซัลเฟอไรต์) ดังนั้นจึงไม่มี reduced product ถูกขับออกมา เมื่ออยู่ในภาคชีวภาพซัลเฟอไรต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของซัลเฟต เมื่อมีออกซิเจนอยู่เพียงพอ สารประกอบซัลไฟด์จะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วและด้วยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองแบบที่เรียกว่าชนิดสามารถออกซิไดส์ซัลเฟอไรต์ให้เป็นซัลเฟตได้ ถึงแม้ว่าซัลเฟตจะมีวาเลนซ์ (valence) เท่ากับ -6 แต่สารประกอบอินทรีย์ซัลเฟอไรต์ส่วนใหญ่มักมี Thiol group ที่สร้างจากซัลเฟอไรต์ซึ่งมีวาเลนซ์ เท่ากับ -2 ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงต้องมีการรีดิวซ์ซัลเฟอไรต์เสียก่อน เมื่อสารประกอบอินทรีย์ซัลเฟอไรต์เกิดการสลายตัวและเน่าเปื่อย ซัลเฟอไรต์จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของ H_2S โดยไม่มีการเปลี่ยนวาเลนซ์เลย ภายใต้สภาวะที่ขาดออกซิเจน H_2S อาจก่อปัญหาเรื่องกลิ่นและพิษ แต่ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน H_2S จะถูกออกซิไดส์ต่อไปอย่างรวดเร็วให้กลายเป็นซัลเฟต ถ้ามีซัลเฟตเกิดขึ้นในสภาวะที่ขาดออกซิเจนแบบที่เรียกชนิด sulfate reducing bacteria จะใช้ซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนทำให้เกิด H_2S ขึ้นอีก

4.2 ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับธาตุซัลเฟอไรต์

4.2.1 การเกิดซัลไฟด์ในท่อน้ำเสีย

การเกิดซัลไฟด์เป็นกระบวนการที่เกิดจากแบคทีเรียเป็นตัวกลาง พบในท่อน้ำเสียส่วนที่จมอยู่ในน้ำ น้ำเสียชุมชนใหม่ๆ ที่เข้าสู่ระบบรวบรวมน้ำเสียมักมีซัลไฟด์อิสระเสมอ อย่างไรก็ตามรูปที่ละลายได้ของซัลไฟด์มักพบว่าเป็นผลมาจากสภาวะดังต่อไปนี้

สภาวะที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ

สภาวะที่ 2 ระยะเวลาเก็บกักนานในระบบรวบรวม

สภาวะที่ 3 อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูงขึ้น

สาเหตุหลักของกลิ่นและการกัดกร่อนในระบบรวบรวมมาจากซัลไฟด์ ซึ่งถูกผลิตจากซัลเฟตโดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในชั้นเมือก (slime layer) บนผิวของโครงสร้างและท่อน้ำ

เสียส่วนที่จมอยู่ในน้ำ ซึ่งสามารถถูกปล่อยออกจากน้ำเสียได้ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่อมาแบคทีเรียที่ฝังที่ส่วนที่ไม่จมน้ำด้านบนใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปผลิตกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นสาเหตุของการทำลายโครงสร้างของท่อน้ำเสีย และอุปกรณ์อื่น ๆ การทำลายโดยกรดซัลฟิวริกทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการดำเนินการและบำรุงรักษา ตัวอย่างความรุนแรงที่ปรากฏ ได้แก่ ความล้มเหลวของระบบท่อ ท่อน้ำเสียแตก และไม่สามารถควบคุมการปล่อยน้ำเสียได้

ขั้นแรกในกระบวนการที่ตัวกลางแบคทีเรียสร้างชั้นเมือกข้างใต้ระดับน้ำในท่อน้ำเสีย ชั้นเมือกถูกปรับเพื่อให้แบคทีเรียและของแข็งเฉื่อย (inert solids) เกาะโดยแบคทีเรียจะหลั่งโปรตีนที่มีลักษณะเป็นกาว เรียกว่า zooglea เมื่อฟิล์มชีวภาพ (biofilm) เริ่มหนาพอจะไปขัดขวางการละลายของออกซิเจนจึงเกิดเขตที่มีสภาวะขาดออกซิเจน (anoxic zone) ขึ้นภายในฟิล์มชีวภาพ ประมาณสองสัปดาห์ชั้นเมือกถูกสร้างจนเต็มในท่อ ภายในชั้นเมือกนี้ sulfate reducing bacteria ใช้ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ที่เป็นองค์ประกอบทั่วไปของน้ำเสียเป็นแหล่งออกซิเจนสำหรับการย่อยสลายและดูดซึมอินทรีย์วัตถุ ในทางเดียวกันออกซิเจนที่ละลายอยู่ถูกใช้ไป โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน เมื่อซัลเฟตถูกใช้ประโยชน์โดย sulfate reducing bacteria ได้ผลผลิตเป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) ระดับซัลไฟด์ที่ถูกผลิตขึ้น โดยชั้นเมือกจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความหลากหลายของสภาวะแวดล้อม รวมถึงความเข้มข้นของแหล่งอาหารอินทรีย์ ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย อุณหภูมิ อัตราเร็วของน้ำเสีย และพื้นที่ผิวที่เปียกชุ่มของท่อ

4.2.2 รูปแบบของซัลไฟด์

ผลผลิตซัลไฟด์ที่ได้จะถูกปล่อยกลับเข้าสู่การไหลของน้ำเสีย ซึ่งสร้างให้เกิดสมดุลเคมีที่ไม่คงที่ระหว่างซัลไฟด์สี่รูปแบบ คือ ซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ไบซัลไฟด์หรือไฮโดรซัลไฟด์ไอออน (HS^-) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของเหลว [$\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$] และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ [$\text{H}_2\text{S}(\text{g})$]

ก) ซัลไฟด์ไอออน (S^{2-})

ซัลไฟด์ไอออนมีประจุลบ 2 ซึ่งปฏิกิริยาแรกเกิดขึ้น โดยการให้อิเล็กตรอนวงนอก (outer shell) 2 ตัว ซัลไฟด์ไอออนเป็นไอออนที่ไม่มีสีในสารละลาย และไม่สามารถปล่อยออกจากน้ำเสียได้ในรูปนี้ และไม่มีการกลั่นในรูปไอออนิก

ข) ไบซัลไฟด์ไอออน (HS^-)

ไบซัลไฟด์ไอออน (หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์) มีประจุลบ 1 เป็นเหตุให้ประจุลบหนึ่งของซัลไฟด์ไอออน ถูกจับโดยประจุบวกของไฮโดรเจนไอออน ไบซัลไฟด์ไอออนไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ซึ่งสามารถคงอยู่ได้เพียงในสารละลายโดยไม่ทำให้เกิดกลิ่น

ค) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของเหลว [$\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$]

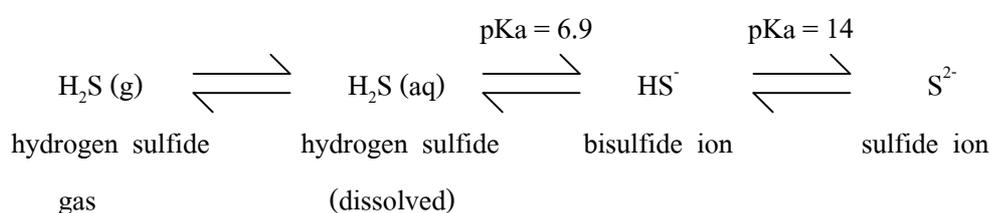
ไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถคงอยู่เป็นก๊าซที่ละลายในน้ำ สมบัติที่มีขี้ของโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้มันสามารถละลายน้ำได้ ในรูปของของเหลวไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เป็นเหตุให้เกิดกลิ่น อย่างไรก็ตามไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของของเหลวเป็นเพียงซัลไฟด์สปีชีส์ซึ่งสามารถออกจากเฟสของเหลวไปอยู่เป็นก๊าซอิสระ อัตราที่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากเฟสของเหลวถูกควบคุมโดยกฎของเฮนรี (Henry's law) คือ จำนวนความปั่นป่วนของน้ำเสีย และ pH ของสารละลาย

ง) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปก๊าซ [$\text{H}_2\text{S}(\text{g})$]

เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากเฟสที่ละลายน้ำ และเข้าสู่เฟสที่เป็นก๊าซ มันสามารถทำให้เกิดกลิ่นและการกัดกร่อนได้ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่มีสีแต่เป็นก๊าซที่มีกลิ่นรุนแรง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยประสาทรับกลิ่นของมนุษย์ในความเข้มข้นต่ำมาก ในความเข้มข้นสูงเป็นอันตรายมากต่อมนุษย์ ในความเข้มข้นต่ำ 10 ppm เป็นสาเหตุให้เกิดอาการคลื่นไส้ ปวดหัว และระคายเคืองตา ปริมาณมากกว่า 100 ppm ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจและประสาทรับกลิ่น ได้รับเป็นเวลานาน ๆ จะทำลายทางเดินหายใจและตา ปริมาณมากกว่า 300 ppm ทำให้ตายภายใน 2-3 นาที Occupational Safety and Health Administration (OSHA) จำกัดเวลาที่คนได้รับ 8 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน 10 ppm แม้ว่าซัลไฟด์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในน้ำเสีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดยาก ถ้าไฮโดรเจนซัลไฟด์กลับเข้าไปอยู่ในเฟสของเหลวซัลไฟด์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยชั้นเมือก ซึ่งสูญเสียไปในบรรยากาศในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบรวบรวม นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังถูกปลดปล่อยกระจายอยู่ทั่วท่อน้ำเสีย และไม่มี ความเข้มข้นสูงพอที่จะผลักดันให้กลับเข้าไปในสารละลายได้

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน (amino acid) บางชนิด เช่น ซิสเทอีน (cysteine) เมทไธโอนีน (methionine) ซิสทีน (cystine) รวมทั้งวิตามินและโคเอนไซม์ (co-enzyme) บางชนิด (Funchel and Blackbun, 1979) กรดอะมิโนที่กล่าวข้างต้นเป็นกรดอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติ ซึ่งได้จากการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรด (มนตรีและคณะ, 2530)

สปีชีส์ทางเคมีทั้ง 4 ของซัลไฟด์มีความสัมพันธ์ตามสมดุล ดังต่อไปนี้



เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกปล่อยเข้าไปในเฟสก๊าซ ไบซัลไฟด์ไอออนถูกเปลี่ยนรูปเข้าไปในของเหลวโดยทันทีเข้าไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลไฟด์ไอออนถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไบซัลไฟด์ ซึ่งสูญเสียไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของเหลว สมดุลเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถกำจัดซัลไฟด์ทั้งหมดจากน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์ เช่น การเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นสภาวะทั่ว ๆ ไปที่ไม่ก่อให้เกิดผลดี เนื่องจากการปล่อยกลิ่น และเร่งการกัดกร่อนให้เกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของซัลไฟด์ทั้ง 4 สปีชีส์ ควบคุมได้โดย pH ของน้ำเสีย ซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ไม่สามารถคงอยู่ในน้ำเสียได้เมื่อ pH ต่ำกว่า 12 และบ่งชี้ได้โดยค่า pKa ซึ่งมีความสัมพันธ์เหมาะสมกับไบซัลไฟด์ไอออน (HS^-) 50/50 ที่ pH 14 แม้ว่า pH ของน้ำเสียทั่วไปต่ำกว่านี้ ซัลไฟด์ไอออนจึงพบได้ยาก pKa มีความสัมพันธ์อย่างมากในการควบคุมความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างไบซัลไฟด์ไอออน และ $\text{H}_2\text{S (aq)}$ น้ำเสียชุมชนส่วนมากมี pH ใกล้เคียง ๆ 6.9 ซึ่งเป็น pH โดยทั่วไปของน้ำเสีย หมายความว่า ครึ่งหนึ่งของซัลไฟด์ทั้งหมดอยู่ในรูปไบซัลไฟด์ไอออน และอีกครึ่งหนึ่งที่เหลือคงอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นของเหลว แม้ว่าความเข้มข้นของก๊าซละลายน้ำในสารละลายถูกควบคุมโดยกฎของเฮนรี ความปั่นป่วนและอากาศ ทำให้น้ำเสียปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายน้ำออกมาเป็น ก๊าซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์อิสระ และไบซัลไฟด์ไอออนส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซละลายน้ำ ซึ่งจะสูญเสียสู่บรรยากาศต่อไป

4.2.3 ปัจจัยที่เร่งให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก) ตะกอนหนัก (settleable solids)

ช่วงเวลาที่มียัตราการไหลต่ำในระบบรวบรวม สัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของน้ำเสีย อัตราการไหลของน้ำต่ำทำให้วัตถุ เช่น กรวดและสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ ตกตะกอนในระบบรวบรวม ซึ่ง sulfate reducing bacteria สามารถเจริญเติบโต และนำไปสู่ การเปลี่ยนซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์เพิ่มขึ้น

ระบบรวบรวมที่มีปัญหาการตกตะกอนของของแข็ง พบว่า เมื่อมีทรายและกรวดสะสมอยู่ และอนุภาคเหล่านั้นถูกปกคลุมด้วยชั้นเมือกที่มีสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic slime layer) ซึ่งมี sulfate reducing bacteria อาศัยอยู่นั้น แบคทีเรียที่อยู่ผิวอนุภาคจะได้รับซัลเฟตอย่างต่อเนื่อง เพราะเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำเสีย sulfate reducing bacteria ที่ฝังตัวอยู่ด้านในไม่ได้สัมผัสซัลเฟตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้แบคทีเรียเหล่านั้นอยู่ในภาวะกึ่งมีชีวิตแต่ไม่เจริญเติบโต (semi-dormant) คือ ชั้นที่ไร้ออกซิเจน มีกิจกรรมต่ำมากแต่ไม่ตาย เมื่อพื้นที่ผิวของ sulfate reducing bacteria กว้างขึ้น ทำให้สัมผัสกับซัลเฟตได้เพียงพอ และมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นซัลไฟด์ละลายน้ำ ความสัมพันธ์นี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ปริมาณซัลไฟด์ที่สูงขึ้น ผลสุดท้ายจะถูกปลดปล่อยเมื่อมีความปั่นป่วนสูงไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กลิ่น และเกิดการกัดกร่อนตามมา

ข) อุณหภูมิ

สภาวะในฤดูร้อนเป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งไปเพิ่มกิจกรรมการสันดาปของ sulfate reducing organisms ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์อย่างรวดเร็ว และเพิ่มความเข้มข้นซัลไฟด์ส่วนที่ละลาย คาดว่าอุณหภูมิน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น 7 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น 2 เท่า

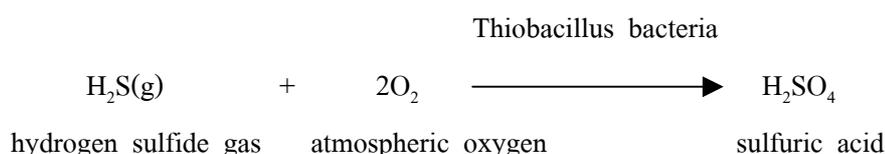
ค) ปฏิกริยารีดักชันแบบปั่นป่วน (turbulence reduction)

ความปั่นป่วนเป็นปัจจัยกำหนดหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำเสีย ผลกระทบจากการกักกร่อนและกลืนของซัลไฟด์ถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยขนาดที่จุดปั่นป่วน กฎของเฮนริควบคุมความเข้มข้นของก๊าซเหนือของเหลว ซึ่งมีก๊าซละลายอยู่ ความเข้มข้นของก๊าซเหนือของเหลวซึ่งมีก๊าซละลายอยู่ถูกควบคุมโดยความดันบางส่วนของก๊าซและโมลส่วนเล็ก ๆ ของก๊าซที่ละลายในสารละลาย เมื่อใช้กฎของเฮนริควบคุมความสัมพัทธ์ระหว่างรูปที่ละลายน้ำ และรูปก๊าซของซัลไฟด์เหนือพื้นที่ผิวหน้า การกระทำที่เพิ่มพื้นที่ผิวของของเหลวเพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มแรงขับจากสถานะของเหลวไปสู่สถานะก๊าซ

โดยทั่วไปความปั่นป่วนช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากที่สุด ในพื้นที่ที่เกิดการปั่นป่วนจะเกิดรูปของหยดน้ำเล็ก ๆ ขึ้นอย่างชั่วคราว เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้แรงควบคุมกฎของเฮนริพยายามไปสู่สมดุลอย่างรวดเร็วระหว่างสถานะของเหลวและสถานะก๊าซ ผลที่พบบ่อย คือ การปลดปล่อยซัลไฟด์จากรูปที่ละลายน้ำไปสู่รูปก๊าซ โครงสร้างสาเหตุของความปั่นป่วนจะถูกระบุและวัดปริมาณ เพื่อป้องกันและ/หรือควบคุมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปล่อยออกมาภายหลัง กลไกการปลดปล่อยเดียวกันนี้ถูกอธิบายได้ว่าเมื่อใดก็ตามน้ำเสียน้ำที่มีซัลไฟด์ละลายอยู่จะถูกปลดปล่อยได้เมื่อมีอากาศ

4.2.4 การเกิดกรดซัลฟิวริก

Thiobacillus aerobic bacteria ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอยู่ตามผนังท่อ และผิวหน้าอื่น ๆ เหนือท่อส่งน้ำเสีย และโครงสร้างอื่น ๆ มีความสามารถบริโภคก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และออกซิไดส์ไปเป็นกรดซัลฟิวริก กระบวนการนี้เกิดขึ้นในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง และมีออกซิเจนในบรรยากาศ สำหรับสมการสมดุลกระบวนการเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นกรดซัลฟิวริก มีดังนี้



4.2.5 การกักกร่อนคอนกรีต

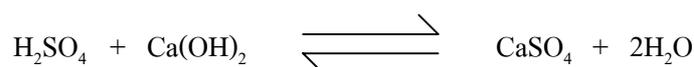
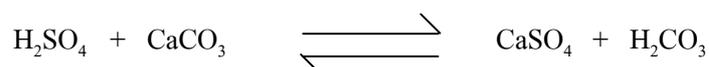
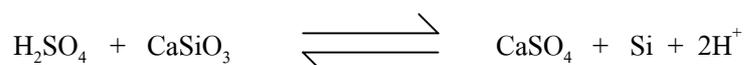
ผลกระทบของกรดซัลฟิวริกที่สัมผัสบนผิวหน้าคอนกรีตของท่อน้ำเสียทำให้เกิดความเสียหายได้ ส่วนของท่อรวบรวมและตัวปั๊มทั้งหมดอาจยุบตัวลง เนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างที่มั่นคงจากการกักกร่อนของกรดซัลฟิวริก อธิบายกระบวนการกักกร่อนคอนกรีตโดยย่อในท่อน้ำที่สัมผัสอากาศได้ ดังนี้

คอนกรีตที่ใหม่มี pH ประมาณ 11 หรือ 12 ขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ออกแบบมา ค่า pH ที่สูงนี้เป็นผลมาจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการไฮเดรชัน (hydration) ของซีเมนต์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารประกอบผลึกที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ซึ่งสามารถพบได้กว่า 25 % ของปริมาตรคอนกรีต ที่ค่า pH 11 หรือ 12 ที่ผิวหน้าจะไม่ยอมให้แบคทีเรียเติบโตได้เลย อย่างไรก็ตาม pH ของคอนกรีตลดต่ำลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลา โดยเป็นผลจากการคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซเหล่านี้เป็นกรดเนื่องจากเกิดจากสารละลายกรดอ่อนที่ละลายอยู่ในน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากกรดคาร์บอนิก และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากกรดไทโอซัลฟิวริก และกรดโพลีไทโอนิก ก๊าซเหล่านี้ละลายในน้ำบนผิวหน้าที่ขึ้นเหนือน้ำเสีย และตอบสนองต่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ pH ที่ผิวคอนกรีตลดลง ในที่สุด pH ถูกทำให้ลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (pH 9 ถึง 9.5)

ระยะเวลาที่มีการลด pH ลงเป็นการทำหน้าที่ของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในท่อน้ำเสีย บางครั้งทำให้ pH ของคอนกรีตลดลงจาก 12 เป็น 9 อย่างไรก็ตาม สถานการณ์รุนแรงเกิดขึ้นในบางเดือนเท่านั้น แม้ว่า pH ของคอนกรีตถูกทำให้ลดลงประมาณ 9 แต่ยังไม่พบกลุ่มสิ่งมีชีวิตพวกแบคทีเรียที่มีสปิชีส์แตกต่างกันกว่า 60 สปิชีส์ในท่อน้ำเสียและโครงสร้างเหนือน้ำ สปิชีส์ของแบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่อยู่ในจินัสไทโอแบซิลลัส (Thiobacillus) มีลักษณะเฉพาะที่สามารถเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นกรดซัลฟิวริกในสภาวะที่มีออกซิเจน เพราะว่าสปิชีส์แบคทีเรียบางชนิดมีชีวิตรอยู่ได้ภายใต้สภาวะสิ่งแวดล้อมเฉพาะเท่านั้น เนื่องจากการผลิตกรดซัลฟิวริกจากไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกระบวนการของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจน พบได้บนผิวที่สัมผัสกับออกซิเจนเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น ไทโอแบซิลลัสสปิซิสหนึ่งเติบโตได้เพียงบนผิวหน้าที่มี pH ระหว่าง 9 ถึง 6.5 อย่างไรก็ตาม กรดซัลฟิวริกที่ไทโอแบซิลลัสขับออกมาลดลงเมื่อ pH ที่ผิวต่ำกว่า 6.5 มันค่อยๆ ตายลง และสปิซิสอื่นเพิ่มขึ้นมาแทน ซึ่งสามารถทนต่อช่วง pH ที่ต่ำกว่าได้ สปิซิสที่เติบโตบนผิวได้ดีต่อจากนี้มี pH อยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 4 เมื่อกรดที่ถูกผลิตขึ้นโดยสปิซิสเหล่านี้ pH ลดลงต่ำกว่า 4 สปิซิสใหม่จะเข้ามาแทนที่ กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเหลือสปิซิสที่มีชีวิตอยู่ได้ในสถานะที่ pH ต่ำที่สุด หนึ่งในสปิซิสเหล่านี้คือ *Thiobacillus thiooxidans* ซึ่งรู้จักในชื่อสามัญคือ *Thiobacillus concretivorus* ซึ่งเป็นภาษาลาติน หมายถึง “กินคอนกรีต” สิ่งมีชีวิตนี้ถูกรู้จักในห้องทดลองซึ่งสามารถเติบโตได้ดีในสารละลายกรดซัลฟิวริก 7 % pH ประมาณ 0.5

กรดซัลฟิวริกทำลายคอนกรีต ซึ่งมีองค์ประกอบของแคลเซียมซิลิเกต ไฮเดรตเจล (calcium silicate hydrate gel, CSHG) แคลเซียมคาร์บอเนตจากหินบดละเอียดที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา กระบวนการทั่วไปอธิบายโดยปฏิกิริยาต่อไปนี้



ผลผลิตแรกที่ได้จากการสลายตัวของคอนกรีตโดยกรดซัลฟิวริก คือ แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ชื่อทั่วไปที่รู้จักกันคือ ยิปซัม จากการทดลองพบว่า แคลเซียมซัลเฟตเป็นวัสดุที่ไม่คุ้มค่าโครงสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปียกชื้น แคลเซียมซัลเฟตมักถูกพบเสมอในท่อน้ำเสียและโครงสร้างมีลักษณะคล้ายแปรงเปียกอยู่บนผิวหน้าของคอนกรีตเหนือทางไหลของน้ำ (water line) ในพื้นที่เขตร้อนหรือมีอัตราการไหลไม่สม่ำเสมอสูง ผงของคอนกรีตถูกขับออกไปอย่างรวดเร็ว ยิปซัมเป็นสิ่งเคลือบผิวซึ่งสามารถป้องกันคอนกรีตได้โดยเป็น buffer zone ซึ่งกรดซัลฟิวริกที่ถูกผลิตขึ้นใหม่ ๆ ต้องแทรกซึมเข้าไป เพราะว่าแบคทีเรียไทโอแบซิลลัสเป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต แม้ว่าพวกมันสามารถอยู่ได้เพียงบนผิวหน้าบาง ๆ ด้านนอกเท่านั้น หมายความว่า กรดที่ถูกผลิตบนผิวต้องเคลื่อนย้ายทะลุผ่านยิปซัมที่เคลือบอยู่ไป

จนถึงคอนกรีต เมื่อยิปซัมถูกล้างให้ออกจากผิวหน้าคอนกรีตทำให้กรดสัมผัสเข้าทำลาย และเร่งการกัดกร่อน

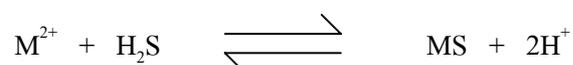
สีจากการกัดกร่อนผิวหน้าคอนกรีตมีมากมายแต่จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลือง สาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นธาตุซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พบเมื่อมีความเข้มข้นออกซิเจนสูง หรือมีตัวออกซิไดส์ (oxidants) อื่น ๆ ส่วนบนของช่องสำหรับตรวจซ่อมแซมและกล่องที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงมักพบสีเหลือง เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนสูง ปรากฏการณ์เช่นเดียวกันนี้พบได้รอบ ๆ ทางระบายกลิ่น (outlets of odor scrubbers) ซึ่งใช้สารละลายไฮโปคลอไรท์ ในการจัดการก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสูง

ผลจากการทำลายอื่นๆ ของการกัดกร่อนคอนกรีตโดยกรดซัลฟิวริก คือ การเกิดแร่ธาตุที่เรียกว่า “ettringite” ชื่อเคมีคือ แคลเซียมซัลเฟตฟัลบูมินไฮเดรต (calcium sulfbaluminate hydrate) ซึ่งถูกผลิตขึ้นโดยปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมซัลเฟตกับอลูมินา มักพบได้ในซีเมนต์บริสุทธิ์ ettringite ก่อตัวขึ้นที่เส้นขอบเขตระหว่างชั้นแคลเซียมซัลเฟตกับช่องแคบ ๆ ที่ผิวคอนกรีต ettringite เข้าทำลายคอนกรีตเพราะว่ามันเป็นองค์ประกอบซึ่งกัดกร่อนคอนกรีตจากช่องคอนกรีตและเป็นสาเหตุการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว โดยมีการสัมผัสผิวหน้าใหม่อย่างต่อเนื่องของกรดที่เข้าสู่โคม แม้ว่าอัตราของการสูญเสียคอนกรีตขึ้นอยู่กับจำนวนปีจวบยวมถึงการเกิด ettringite ซึ่งไม่ใช่เรื่องปกติที่พบคอนกรีตหายไป 1 นิ้วต่อปี ในสิ่งแวดล้อมของท่อที่มีซัลไฟด์มาก

4.2.6 การกัดกร่อนโลหะ

คอนกรีตไม่ใช่วัสดุเพียงชนิดเดียวที่สามารถเกิดปฏิกิริยากัดกร่อนโดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โลหะจำนวนมากรวมถึงสแตนเลสสตีลสามารถถูกโจมตีและเข้าทำลายได้โดยการสัมผัสกับกรดแก่ เช่น กรดซัลฟิวริก โลหะสามารถถูกกัดกร่อนได้ 2 สาเหตุ คือ การสลายตัวของกรด โดยเมื่อสัมผัสกับกรดซัลฟิวริกที่ถูกผลิตโดยแบคทีเรียไทโอแบซิลลัส และการเข้าทำลายที่โมเลกุลโดยตรง โลหะอิสระส่วนใหญ่เป็น bi-valent cation ซึ่งหมายความว่า โลหะอิสระมีประจุบวก 2 และเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาโดยการได้รับอิเล็กตรอนวงนอก 2 ตัว ซัลไฟด์ที่เป็นองค์

ประกอบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้อิเล็กตรอน 2 ตัว เป็นผลให้ได้โลหะซัลไฟด์ และไฮโดรเจนไอออนอิสระ 2 ตัว ดังสมการ



โลหะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับซัลไฟด์มากกว่าไฮโดรเจน เพราะว่าการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนอิสระ 2 ตัว วิธีการกระทำที่เกิดขึ้นนี้โลหะถูกเปลี่ยนกลับจากพันธะโลหะที่แข็งแรงไปเป็นผลผลิตโลหะซัลไฟด์ที่มีพันธะอ่อนแอกว่ามาก ในเวลาเดียวกันโลหะถูกสัมผัสกับกรดที่มีผลกระทบต่อไฮโดรเจนไอออนอิสระ สถานะเช่นนี้ทำให้ข้อต่อ และห่วงของท่อที่เป็นทองเหลือง และทองแดงถูกกัดกร่อนและอ่อนแอลงเปลี่ยนเป็นสีดำอมฟ้าของนิกเกิลซัลไฟด์ และคอปเปอร์ซัลไฟด์

5. สมการจลนศาสตร์เคมีที่ใช้ประเมินปริมาณซัลไฟด์

5.1 การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยใช้กฎอัตราอินทิเกรต

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยการนำกฎอัตราอินทิเกรต ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร ณ เวลาต่างๆ มาใช้ในการหาอันดับของปฏิกิริยาโดยการเขียนกราฟ (สุจิตและคณะ, 2547) ซึ่งหาได้ดังนี้

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เขียนกราฟระหว่าง natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ กับเวลา ถ้าได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ถ้าไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับอื่น โดยมีสมการของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งคือ $\ln [S^2]_t = -k_1t + \ln [S^2]_0$ ซึ่งมีรูปแบบของสมการเส้นตรง

ปฏิกิริยาอันดับสอง เขียนกราฟระหว่าง 1/ปริมาณซัลไฟด์ กับเวลา ถ้าได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง ถ้าไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับอื่น โดยมีสมการของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งคือ $1/[S^2]_t = k_2t + 1/[S^2]_0$ ซึ่งมีรูปแบบของสมการเส้นตรง

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เขียนกราฟระหว่าง ปริมาณซัลไฟด์ กับเวลา ถ้าได้เส้นตรง แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ถ้าไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับอื่น โดยมีสมการของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งคือ $[S^2]_t = [S^2]_0 - k_0 t$ ซึ่งมีรูปแบบของสมการเส้นตรง

5.2 การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยใช้สมการ empirical model

ซัลไฟด์ละลายมีวิธีการคาดคะเนโดยใช้การวิเคราะห์ขนาดเล็ก เพื่อคาดคะเนจำนวนซัลไฟด์ละลาย ซึ่งถูกผลิตโดยน้ำเสียภายใต้ความหลากหลายของแรงโน้มถ่วงและการกักร่อน ซึ่งเป็นผลจากการปลดปล่อยของซัลไฟด์ละลายไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ วิธีการนี้ใช้สมการการเกิดซัลไฟด์ละลายของ Pomeroy and Parkhurst (1985) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการเกิดซัลไฟด์ละลาย วิธีการนี้ใช้กับท่อที่วางให้น้ำไหลได้เองตามแรงโน้มถ่วงของโลก มีผนังท่อเป็ยกชั้น และมีช่องที่ปลายน้ำของท่อ

การพัฒนาแบบจำลองซัลไฟด์ โดยใช้ค่า BOD และอุณหภูมิ ซึ่งมีผลกระทบต่อ การเกิดซัลไฟด์ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย และการผลิตซัลไฟด์ในเทอมของ “effective BOD” ถูกนำมาใช้ เพื่อเชื่อมโยงกับผลของอุณหภูมิและBOD ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$(EBOD) = (BOD) \times (1.07)^{(T-20)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ	EBOD	=	effective BOD, มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD	=	standard BOD ₅ , มิลลิกรัม/ลิตร
	T	=	อุณหภูมิของน้ำเสีย, °C
	1.07	=	empirical factor

สมการที่ 1 นำมาใช้ในการทำนายการเกิดซัลไฟด์ละลาย ซึ่งอธิบายปัจจัยหลายตัวที่มีผลต่อการเกิดซัลไฟด์ ในการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียชุมชน รูปทั่ว ๆ ไปของสมการเสนอตามสมการที่ 2 [เมื่อ D/4 แทน รัศมีชลศาสตร์ (hydraulic radius)]

$$S_2 = S_1 + (M) (t) [EBOD (D/4 + 1.57)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ S_2	=	ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่ทำนายที่เวลา t_2 , มิลลิกรัม/ลิตร
S_1	=	ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่เวลา t_1 , มิลลิกรัม/ลิตร
t	=	$t_2 - t_1$ = เวลาที่ไหลในท่อที่มีความชัน เส้นผ่านศูนย์กลาง และ อัตราเร็วคงที่, ชั่วโมง
M	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์เฉพาะ (specific sulfide flux coefficient), เมตร/ชั่วโมง
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, ฟุต

M factor มีค่าเท่ากับ 1×10^{-3} เมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าทั่วไปสำหรับกรณีที่มีน้ำเสียอยู่เต็มท่อ และ M factor จะมีค่าเท่ากับ 3×10^{-4} เมตร/ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีน้ำเสียไม่เต็มท่อ

6. จุลชีววิทยาทางน้ำ

6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

กรรณิการ์ (2543) กล่าวว่า การที่จุลินทรีย์จะเจริญและเพิ่มจำนวนได้ในสิ่งแวดล้อมได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

6.1.1 สารอาหาร

สารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการ ได้แก่ สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เกลือแร่ วิตามิน และปัจจัยการเจริญเติบโตอื่น ๆ

6.1.2 อุณหภูมิ

จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญที่แตกต่างกัน จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 15-20 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 20-45 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิสูง (thermophiles) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 45-55 องศาเซลเซียส

6.1.3 ก๊าซ

ก) ก๊าซออกซิเจน จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน (aerobes) จะเจริญได้เฉพาะในที่ที่มีออกซิเจน facultative anaerobes เจริญได้ทั้งในที่ที่มีและไม่มีออกซิเจน ส่วนพวกจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobes) จะเจริญได้เฉพาะในที่ที่ไม่มีออกซิเจน

ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม autotrophs

ค) ก๊าซไฮโดรเจน จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม hydrogen bacteria และ methane forming bacteria

ง) ก๊าซไนโตรเจน จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์พวกที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้

6.1.4 ความชื้น

ระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น สาหร่ายและแอกติโนมัยซีทชอบเจริญในที่ที่มีความชื้นสูง ส่วนเชื้อราจะเจริญได้ดีในที่ที่มีความชื้นต่ำหรือค่อนข้างแห้ง

6.1.5 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น เชื้อราจะเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด ส่วนแอกติโนมัยซีทชอบเจริญในสภาพแวดล้อมที่เป็นด่าง

6.1.6 ความเข้มข้นของเกลือ

ระดับความเข้มข้นของเกลือ มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบเกลือ (halophilic) จะเจริญได้ดีในที่ที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง ในขณะที่จุลินทรีย์ทั่วไปจะไม่สามารถเจริญได้หรือเจริญได้ไม่ดี

6.1.7 แสงสว่าง

แสงสว่างมีความจำเป็นต่อการเจริญของพวก phototrophs

6.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ

นภาวรณ (2535) กล่าวถึง การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ มี 2 วิธี คือ

6.2.1 การย่อยสลายแบบต้องการออกซิเจน (aerobic decomposition)

ลักษณะของการย่อยสลายสรุปได้ดังนี้

ก) จุลินทรีย์จะปรับตัวให้เข้ากับสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่จะ predominate จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่มีอยู่มาก

ข) อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหาร อย่างอื่นที่มีอยู่ด้วย เช่น สัดส่วนของคาร์บอน (C) ต่อไนโตรเจน (N) ต่อฟอสฟอรัส (P) ใน เซลล์แบคทีเรียมีค่าประมาณ 100:10:1

ค) การย่อยสลายสารอินทรีย์จะดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าธาตุอาหารที่จำเป็น เริ่มขาดแคลน เช่น ธาตุไนโตรเจน การย่อยสลายจะหยุดเมื่อจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนจนอัตราส่วน C:N มีค่าใกล้เคียง 10

การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O)

6.2.2 การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition)

การเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเป็นไประยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ ปริมาณออกซิเจนลดน้อยลง และถ้าอัตราการสลายตัวยังคงมีอยู่สูง ปริมาณออกซิเจนจะลดลงจน

หมดทำให้กลายสภาพเป็นสภาวะขาดออกซิเจน ซึ่งทำให้แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobes) สามารถใช้สารอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนได้ อย่างไรก็ตามพลังงานที่ได้ในสภาวะขาดออกซิเจนจะน้อยกว่า ทำให้ปริมาณเซลล์แบคทีเรียน้อยกว่า รวมทั้งอัตราการย่อยสลายนั้นจะช้าและไม่สมบูรณ์

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้กรดอินทรีย์ (organic acid) ได้แก่ กรดแลคติก (lactic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) และเกิดก๊าซบางชนิด เช่น มีเทน (CH_4)

6.3 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในวัฏจักรซัลเฟอร์

มันสันและไพพรธ (2539) กล่าวว่าจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรซัลเฟอร์จำแนกออกเป็น 4 ประเภท คือ แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ซัลเฟอร์ (putrefying bacteria) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (sulfate reducing bacteria) แบคทีเรียออกซิไดส์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ชนิดไม่สังเคราะห์แสง (ไม่มีสี) และแบคทีเรียออกซิไดส์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ชนิดที่สังเคราะห์แสงได้ (มีสี) ในที่นี้จะกล่าวถึงแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเพียงชนิดเดียว เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องในการผลิตซัลไฟด์ในน้ำเสีย

แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียไร้ออกซิเจนชนิดเด็ขาด (strict anaerobe) ส่วนใหญ่เป็นเฮเทอโรโทรฟซึ่งต้องอาศัยอาหารจากภายนอก (ต้องการสารอินทรีย์คาร์บอน) ส่วนน้อยที่สามารถสังเคราะห์อาหารเองได้ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตอาจแบ่งออกเป็น 2 พวก ตามความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน กล่าวคือ ประเภทแรก สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างสมบูรณ์ ได้แก่ desulfovibrio และ desulfobulbus ประเภทที่สอง สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนให้เป็นอะซิเตต (acetate) เท่านั้น ได้แก่ desulfonema, desulfotomaculum และ desulfococcus แหล่งพักอาศัยสำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้ คือ ในดินตะกอน

ในช่วงปลายฤดูร้อนจะมีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ และมีแหล่งที่ขุดดินที่ขุดดินโดยเจตนาอย่างหนาแน่นเป็นผลให้ชั้นดินตะกอนได้น้ำอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนตลอดทั้งชั้น ชั้นน้ำที่อยู่ติดกับดินตะกอนที่ไม่มีออกซิเจนเช่นกัน sulfate reducing bacteria สามารถเจริญเติบโตขยายพันธุ์จากชั้นดินชั้นสู่ชั้นน้ำได้ ทำให้มีการกำจัดซัลเฟตในน้ำเกิดขึ้น

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศรีสุวรรณ (2542) ทำการศึกษาเรื่อง “การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำเสียจากเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี ที่ผ่านระบบบำบัดบริเวณแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี” ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในท่อระบายน้ำเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี คือ ฤดูกาล โดยฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงที่สุด รองลงมา คือ ฤดูฝนและฤดูหนาว

สิรินี (2527) ทำการศึกษาเรื่อง “การฟอกตัวเองของน้ำทางแบคทีเรียในห้วยแม่รำก บริเวณโครงการหลวงพัฒนาคั้นน้ำหน่วยที่ 1 (ทุ่งจ้อย) อำเภอมะแตง จังหวัดเชียงใหม่” ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาและอุณหภูมิ ในการเก็บตัวอย่างน้ำจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำ โดยที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ภายใน 24 ชั่วโมงแรกจะมีปริมาณแบคทีเรียค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นปริมาณจะลดลง ในขณะที่การรักษาตัวอย่างน้ำในอุณหภูมิห้องในระยะแรกปริมาณจะเพิ่มขึ้น แล้วจึงลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณแบคทีเรียที่มีอยู่เดิม ปริมาณอาหารในน้ำที่แบคทีเรียจะใช้ได้ เป็นต้น

สุปาณี (2527) ทำการศึกษาเรื่อง “การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในดิน น้ำ ดินตะกอนของลำธาร และการดูดซับซัลเฟตของดิน จากบริเวณทุ่งจ้อยและคอกขุขุย จังหวัดเชียงใหม่” ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณซัลเฟตในน้ำจากบริเวณพื้นที่ตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีค่าสูงสุด รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าปลูก พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าธรรมชาติ ตามลำดับ จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าธรรมชาติไปพัฒนาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มีผลกระทบต่อปริมาณซัลเฟตในน้ำ

สุมาลี (2537) ทำการศึกษาเรื่อง “คุณภาพน้ำ ชนิด และปริมาณเพอร์โฟตอนในน้ำทิ้งจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์” ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของน้ำจะสูงสุดในเดือนพฤษภาคม คือ 32 องศาเซลเซียส และต่ำสุดในเดือนธันวาคมคือ 22 องศาเซลเซียส และค่า BOD ในน้ำทิ้งจากห้องน้ำมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ โรงอาหาร และอาคารเรียน

อาภรณ์ (2539) ทำการศึกษาเรื่อง “การบำบัดบีโอดีและซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช” ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของน้ำเสีย

ก่อนการบำบัดมีค่า BOD สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่มีประชากรตั้งแต่ 2,500 คน ขึ้นไป และค่า BOD ของน้ำเสียมีความแปรปรวนมาก

Delgado *et al.* (1999) ทำการศึกษาเรื่อง “การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในท่อน้ำเสียชุมชน ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว กรณีศึกษา : เมือง Tenerife ประเทศสเปน” ทำการศึกษาในเดือน พฤศจิกายน ปี 1994 ถึงเดือนมิถุนายน 1995 โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดซัลไฟด์ และอินทรีย์วัตถุ ซึ่งถูกวัดในรูปของ COD เปรียบเทียบกับซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในท่อน้ำเสียที่ได้จากการคาดคะเนโดยสมการเอมพิริคัล (empirical) พบว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุต่อการเกิดซัลไฟด์จะไม่คั่นัก

Nielsen *et al.* (2003) ทำการศึกษาเรื่อง “การตรวจวัดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางจุลชีววิทยาของซัลไฟด์ในระบบท่อน้ำเสีย” ทำการตรวจวัดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางจุลชีววิทยาของซัลไฟด์ โดยใช้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำเสีย วิธีการถูกพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์กับปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมีของซัลไฟด์ในระบบท่อน้ำเสีย ที่มีความเข้มข้นออกซิเจนละลายต่ำ จากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำเสียจากแต่ละพื้นที่ พบว่า มีอัตราการออกซิเดชันอย่างช้า ๆ และวิธีการที่ใช้นี้สามารถวัดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางจุลชีววิทยาของซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นออกซิเจนละลายต่ำกว่า 1 กรัมออกซิเจนต่อลูกบาศก์เมตร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนขนาด 1,000 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ
2. ถังน้ำแข็ง
3. กระดาษฟลอยด์และปากกาสำหรับเขียนฉลากที่ขวดเก็บตัวอย่าง
4. ขวดอินคิวเบต (incubation bottles) หรือขวดปิโอติ ขนาด 300 มิลลิลิตร
5. อุปกรณ์เครื่องแก้วชนิดต่างๆ
6. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator)
7. เครื่องจ่ายลม
8. เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) ของ Thermo Orion รุ่น model 410
9. ชุดทดสอบซัลไฟด์ ของ Hanna รุ่น HI 3822
10. เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer)
11. กระดาษกรอง
12. ตู้อบ
13. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของ Cyberscan 200 รุ่น RS 232

วิธีการ

1. การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการใช้จุลนศาสตร์เคมีในการศึกษาการเกิดซัลไฟด์ในน้ำเสียนุมน เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี โดยเลือกเก็บตัวอย่างน้ำเสียในท่อรวบรวมน้ำเสียเส้นหลักของเทศบาลเมืองเพชรบุรี จำนวน 3 จุด ซึ่งมีสภาวะการไหลได้เองโดยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยระยะทางจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ถึงจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ห่างกัน 940 เมตร และระยะทางจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ถึงจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ห่างกัน 600 เมตร ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2 และเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง จำนวน 1 จุด ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3 ดังนี้

จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 เก็บบริเวณปากซอยเคโจ

จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 เก็บบริเวณแยกถนนสุรพันธ์

จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 เก็บบริเวณแยกถนนท่าหิน

จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 เก็บในบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง

2. การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำใช้วิธีการเก็บแบบจ้วงเก็บ (grab sampling) โดยเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำจุดเก็บตัวอย่างละ 2 ลิตร และทำการเก็บรักษาตัวอย่างตามวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์บีโอดี

3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ มีพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิ และปริมาณซัลไฟด์ ดังนี้

อุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer)

ปริมาณซัลไฟด์โดยใช้ชุดทดสอบซัลไฟด์

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าบีโอดี ปริมาณซัลเฟต ความเป็นกรดเป็นด่าง การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์ในน้ำเสีย และปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลง ณ เวลาต่างๆ ดังนี้

ค่าบีโอดีโดยใช้วิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (azide modification) ตามวิธีการของ Greenberg *et al.* (1992)

ปริมาณซัลเฟตโดยใช้วิธีการไตเตรต (titrimetric method) ตามวิธีการของ นิพนธ์ และคณะ (ม.ป.ป.)

ความเป็นกรดเป็นด่างโดยใช้เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

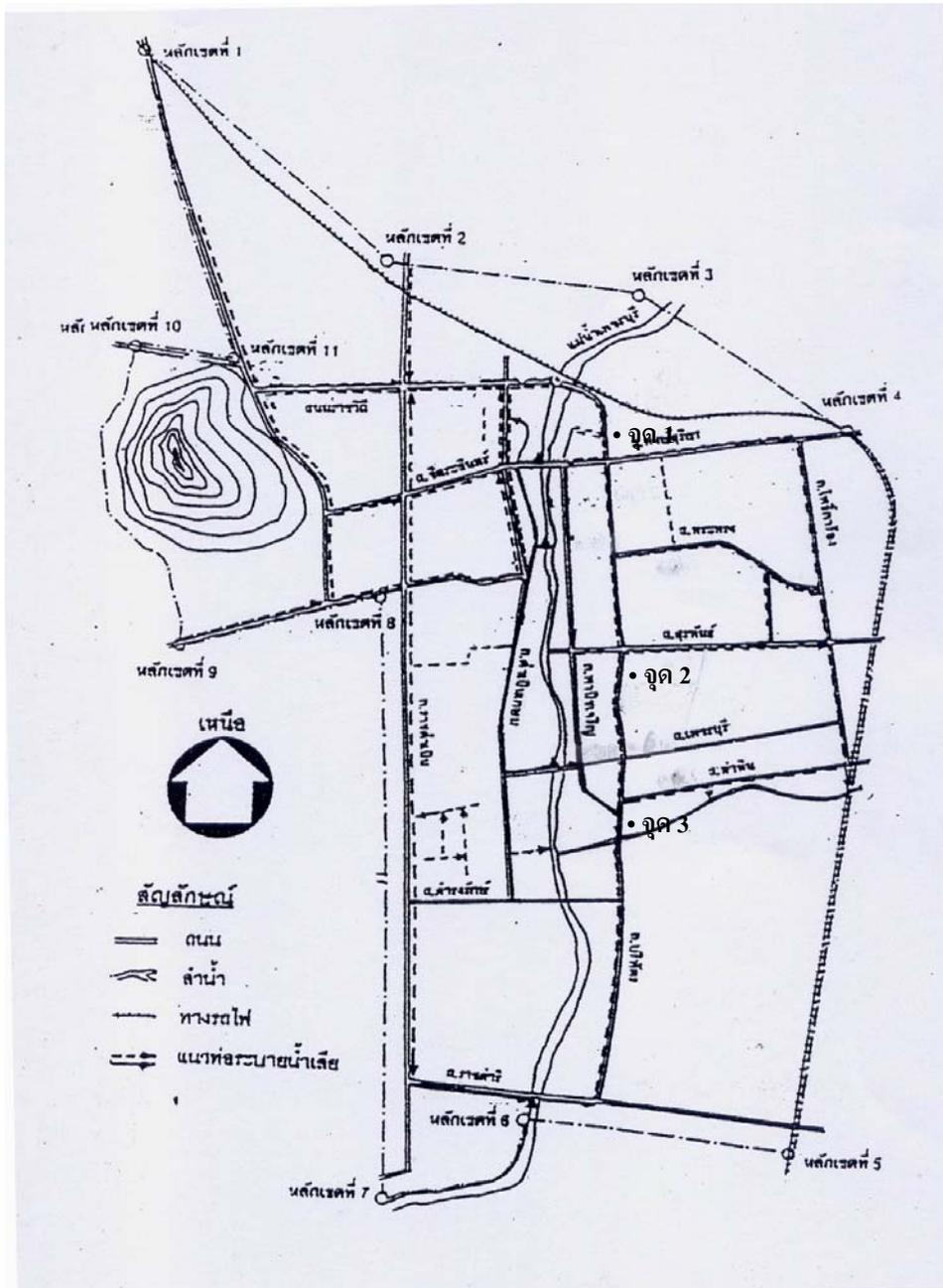
การนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

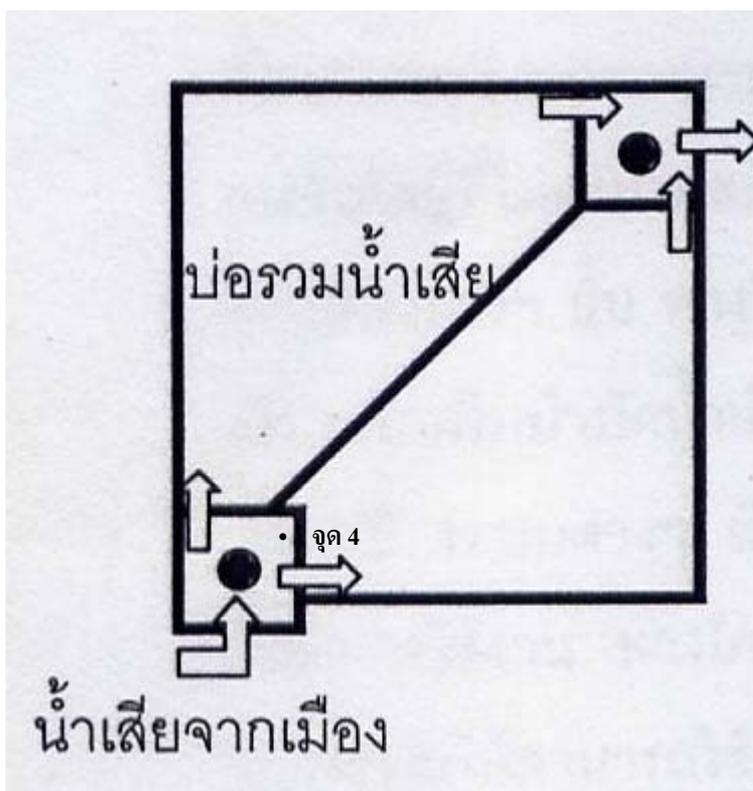
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดโดยวิธีการกรองด้วยกระดาษกรองแล้วชั่งน้ำหนัก ตามวิธีการของ Greenberg *et al.* (1992)

ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยวิธี dilution plate count ตามวิธีการของ Franson (1981)

ปริมาณซัลไฟด์ที่ลดลง ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ชุดทดสอบซัลไฟด์



ภาพที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3 ในที่รวบรวมน้ำเสียในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี
ที่มา : โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541)



ภาพที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ในบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง จังหวัดเพชรบุรี
ที่มา : โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2541)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำผลการศึกษามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดซัลไฟด์กับค่าบีโอดี วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดซัลไฟด์กับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ ณ เวลาต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการหาอันดับปฏิบัติกริยาโดยการเขียนกราฟ และเปรียบเทียบปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นระหว่างซัลไฟด์ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับซัลไฟด์ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ โดยใช้วิธีทางสถิติ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ทางจลนศาสตร์เคมี

5. สถานที่ทำการทดลอง

ท่อรวบรวมน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี บ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง จังหวัดเพชรบุรี และห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มศึกษาและเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียในท่อรวบรวมน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี และบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยาง จังหวัดเพชรบุรี ในวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2548 วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2548 และวันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548

ผลและการวิจารณ์

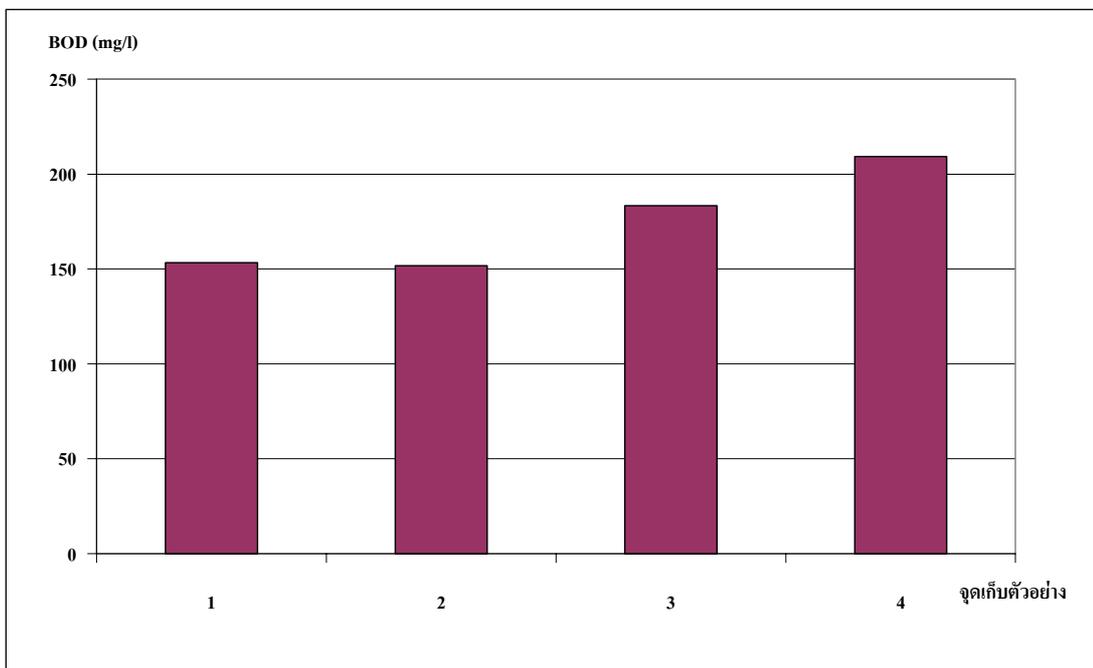
การศึกษาการใช้จลนศาสตร์เคมีในการศึกษาการเกิดซัลไฟด์ในน้ำเสียชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ผลการศึกษาที่ได้มีดังนี้

1. การศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดซัลไฟด์กับค่าบีโอดี ในน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

1.1 ค่าบีโอดี

การศึกษาค่าบีโอดีของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ค่าบีโอดีที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 22.5-425.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าบีโอดีเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 151.7 และ 209.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4

ค่าบีโอดีในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 มีค่าสูงที่สุด เนื่องมาจากน้ำเสียจากทุกๆ แหล่งที่รวบรวมได้ของเทศบาลเมืองเพชรบุรีจะถูกส่งมารวมไว้ที่จุดนี้ก่อนที่จะถูกส่งไปบำบัดต่อที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ดังนั้นน้ำเสียในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 จึงมีความสกปรกสูงกว่าจุดอื่นๆ



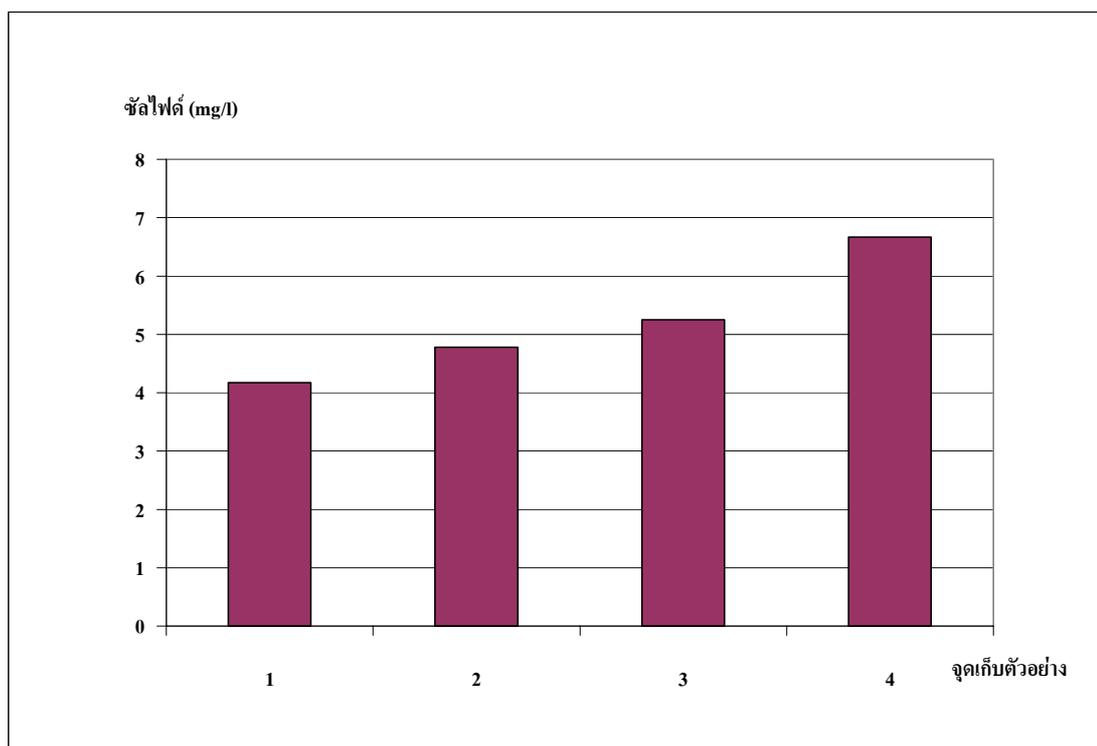
ภาพที่ 4 ค่าบีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

1.2 ปริมาณซัลไฟด์

การศึกษาปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วง 2.00-7.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 4.17 และ 6.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5

ปริมาณซัลไฟด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในการส่งน้ำเสียจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3 เนื่องจากซัลไฟด์ในท่อรวบรวมน้ำเสีย จะเกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศและมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในท่อนานๆ เมื่อน้ำเสียที่ถูกส่งไปตามเส้นท่อระยะเวลาเก็บกักจะนานขึ้นตามระยะทาง ซึ่งการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์ เมื่อเวลาผ่านไปทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง และเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะใช้ในตรทและซัลเฟตเป็นแหล่งออกซิเจนแทน ซึ่งได้ผลผลิตเป็นซัลไฟด์ในที่สุด ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 มีค่าของปริมาณซัลไฟด์สูงกว่าจุดอื่นๆ เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเป็นบ่อรวบรวมน้ำเสียทั้งหมดของประเทศ

บาลเมืองเพชรบุรี มีความลึกของบ่อประมาณ 4 เมตร ทำให้ภายในบ่อรวบรวมน้ำเสียเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้เฉพาะบริเวณผิวน้ำส่วนที่ออกซิเจนสามารถละลายลงไปได้เท่านั้น

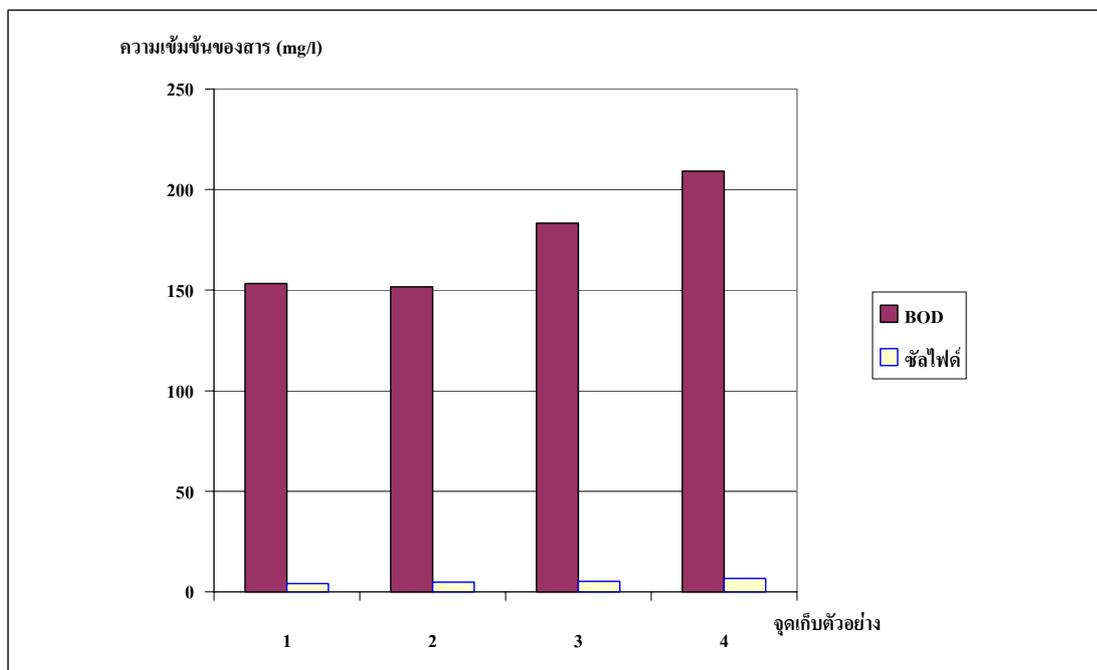


ภาพที่ 5 ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

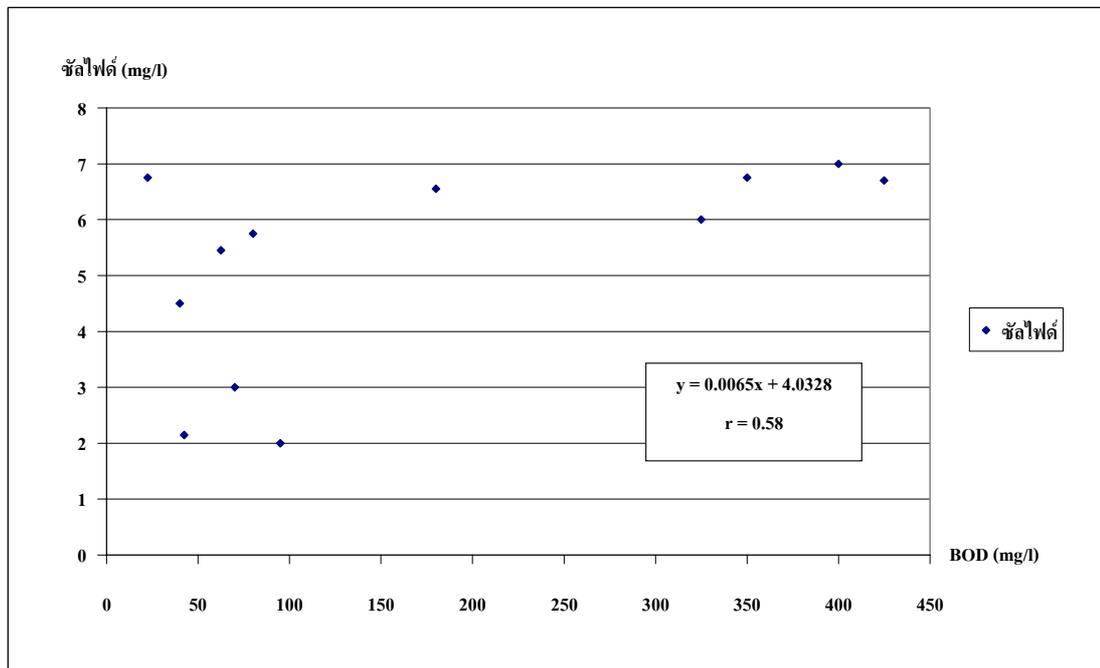
1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีกับซัลไฟด์

จากการศึกษาพบว่า เมื่อค่าบีโอดีเพิ่มขึ้นปริมาณซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งแสดงดังภาพที่ 6 เนื่องจากค่าบีโอดีที่เพิ่มขึ้นส่งเสริมให้น้ำเสียมีสภาวะไร้อากาศเร็วขึ้น (Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1995) และบ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียมีปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ Delgado *et al.* (1999) ซึ่งพบว่า ความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีความสำคัญต่อการเกิดซัลไฟด์ โดยเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ปริมาณการเกิดซัลไฟด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำค่าบีโอดีและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดง

ดังภาพที่ 7 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.58 ซึ่งหมายความว่าถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับปานกลาง



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยของบีโอดีและปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

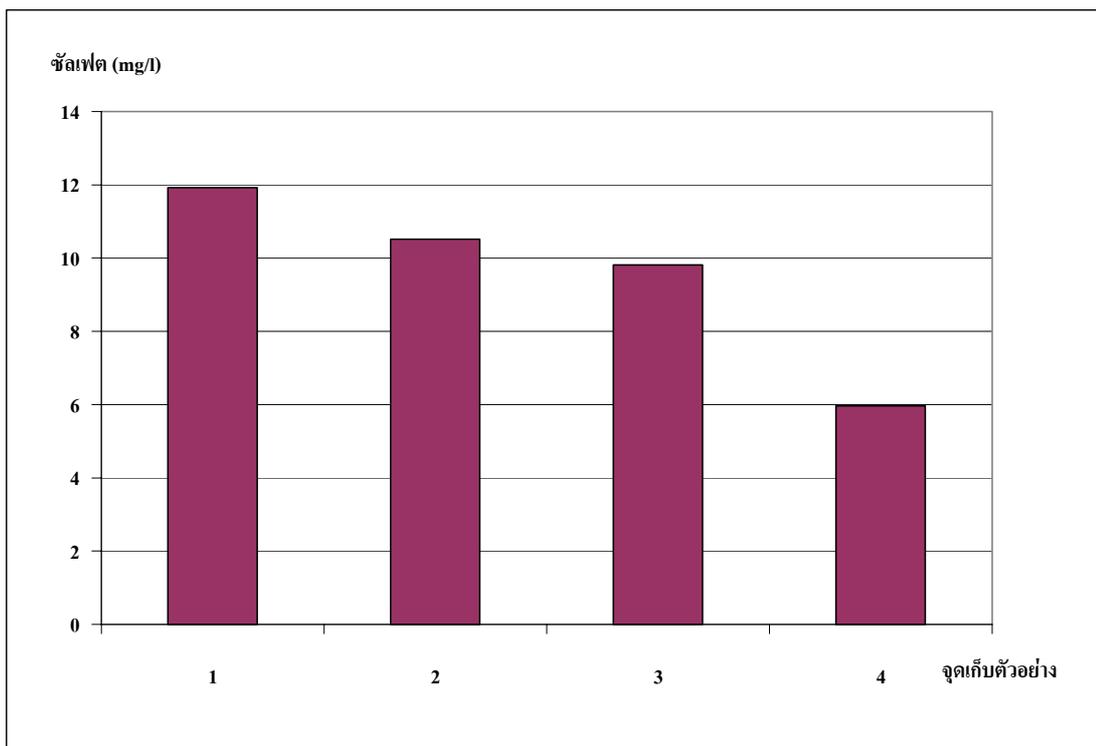


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดีกับปริมาณชีลไฟต์

2. การศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดชีลไฟต์กับพารามิเตอร์อื่นๆ ในน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

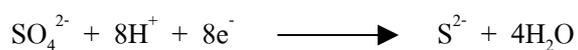
2.1 ปริมาณชีลเฟต

การศึกษาปริมาณชีลเฟตของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ปริมาณชีลเฟตที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 4.80-17.52 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาปริมาณชีลเฟตเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 5.97 และ 11.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่



ภาพที่ 8 ปริมาณซัลเฟตเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

ปริมาณซัลเฟตมีค่าลดลงตามระยะทางในการส่งน้ำเสีย เนื่องจากซัลเฟตในท่อรวบรวมน้ำเสียถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดซัลไฟด์ โดยปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตจะก่อให้เกิดซัลไฟด์ออกสู่น้ำเสีย ดังสมการ

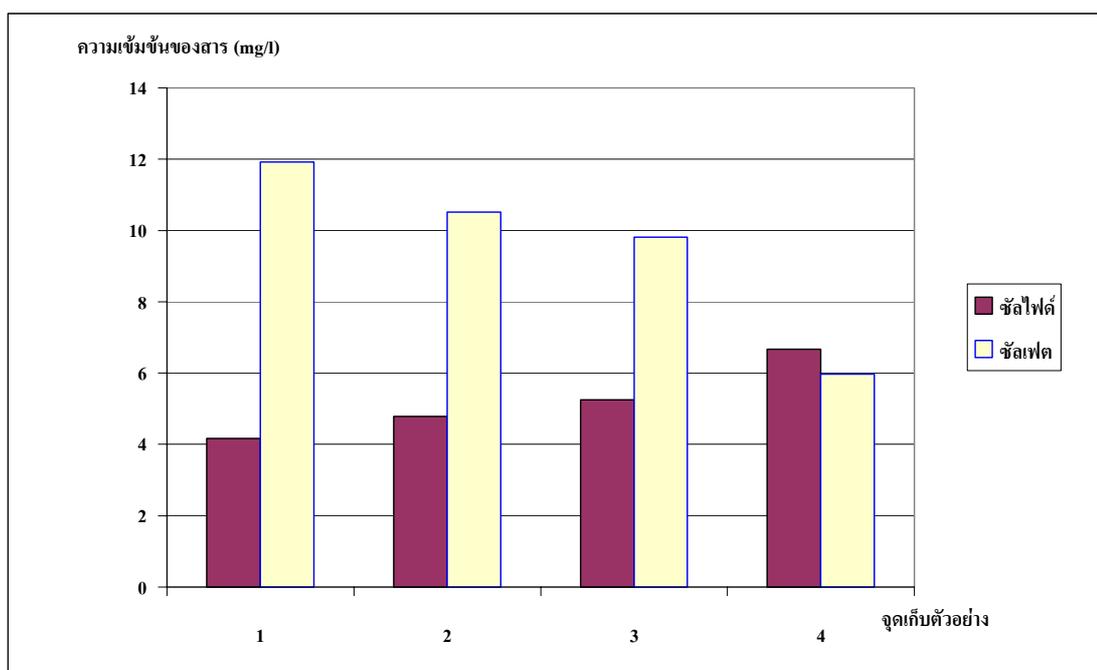


ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีบทบาทเกี่ยวข้องกับสมดุลเคมีของไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งอยู่ในน้ำ ดังสมการ

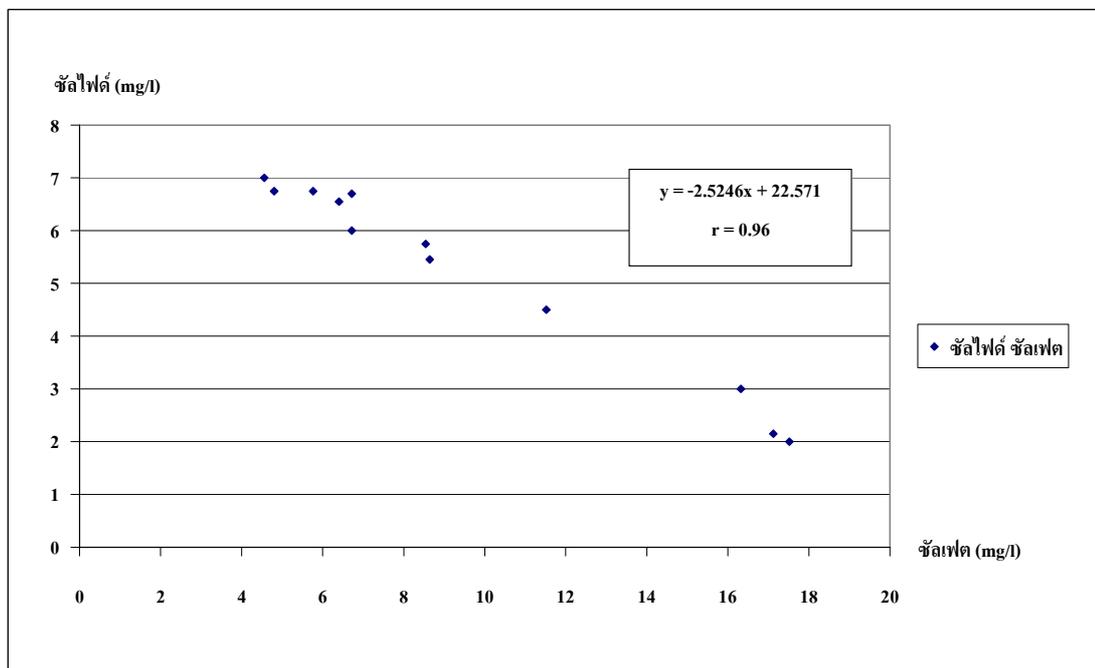


จากการศึกษาพบว่า ปริมาณซัลเฟตและปริมาณซัลไฟด์มีค่าแปรผกผันกัน โดยขณะที่ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียลดลง แต่ปริมาณซัลไฟด์กลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงดังภาพที่ 9 เมื่อนำค่า

ปริมาณซัลเฟตและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 10 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.96 ซึ่งหมายถึงความถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันมาก



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยของปริมาณซัลเฟตและปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี



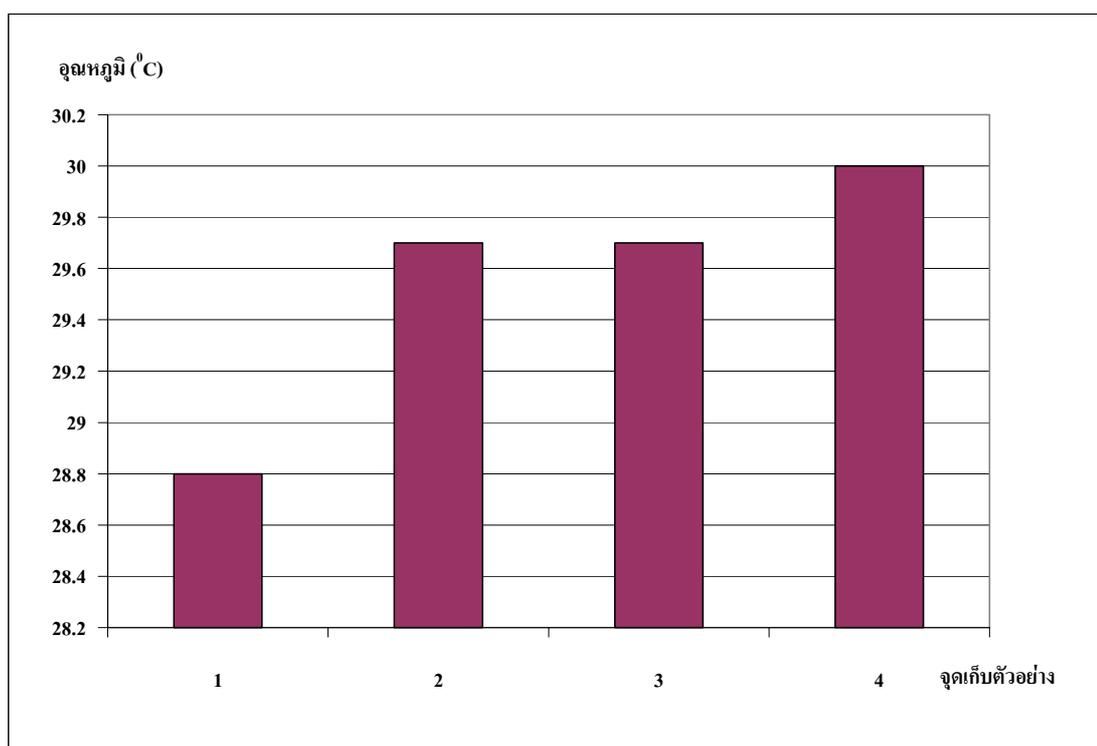
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับปริมาณคลอโรฟิลล์

2.2 อุณหภูมิ

การศึกษาอุณหภูมิของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.0-31.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่ามีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 28.8 และ 30.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 11

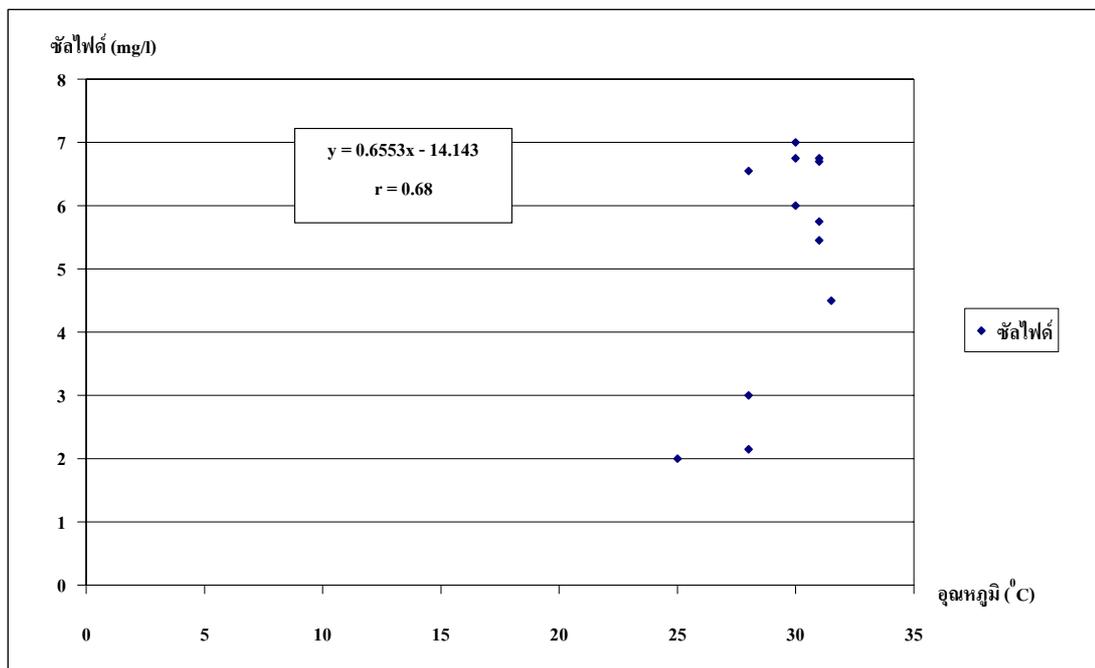
เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีก็เพิ่มขึ้น การละลายของก๊าซลดลง การละลายของแร่ธาตุเพิ่มขึ้น (นัทธีรา, 2541) ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราผกผันหรือตรงกันข้ามกับอุณหภูมิของน้ำ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528) ทำให้เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้น้อยลง ขณะที่มีการใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำเสียไม่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในน้ำ เกิดสภาวะไร้อากาศขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อการปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของก๊าซสู่บรรยากาศด้วย จากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นอุณหภูมิจึงมี

ผลส่งเสริมให้มีการผลิตซัลไฟด์ขึ้นในท่อรวบรวมน้ำเสีย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพรชัย (2531) ที่พบว่าในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำกว่าในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง



ภาพที่ 11 อุณหภูมิเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เมื่อนำอุณหภูมิและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 12 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.68 ซึ่งหมายความว่าถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์อยู่ที่ 31 องศาเซลเซียส (Maree and Wilma, 1987) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำเสียที่วัดได้ส่วนใหญ่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมนี้ จึงทำให้การเกิดซัลไฟด์ในน้ำเสียดำเนินไปอย่างไม่เต็มศักยภาพ



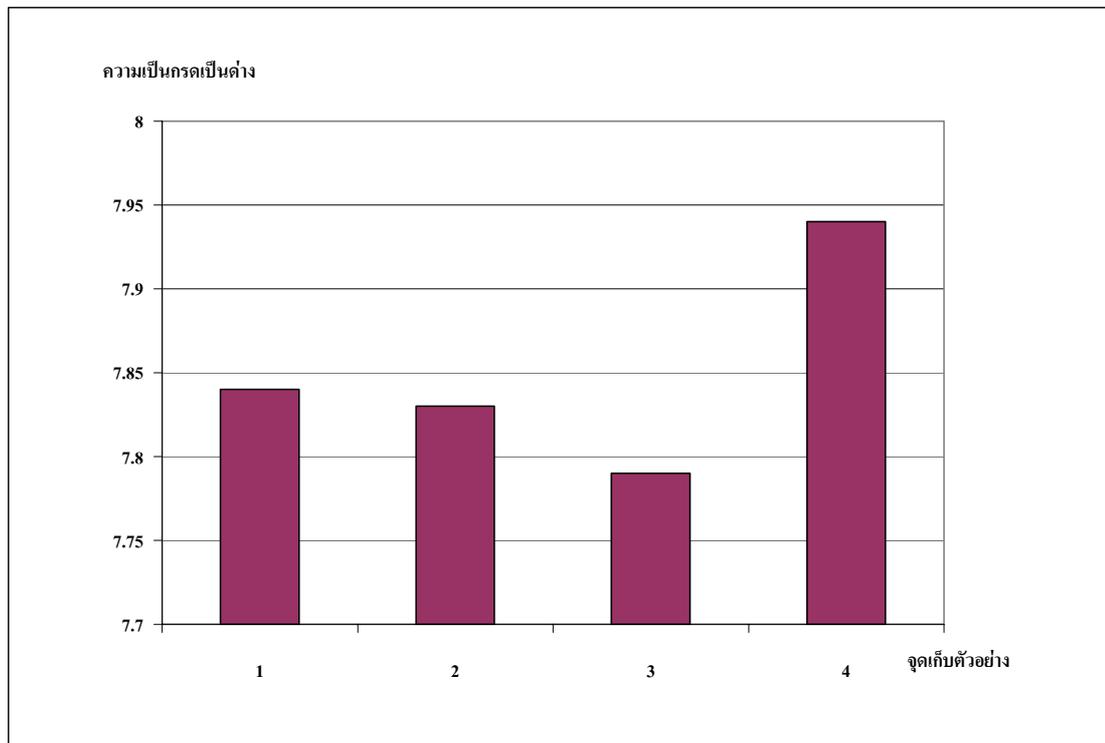
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณซัลไฟต์

2.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง

การศึกษาความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.32-8.73 ซึ่งอยู่ช่วงที่เกือบเป็นกลางแต่จะค่อนข้างด่างเล็กน้อย เมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 7.79 และ 7.94 ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 13

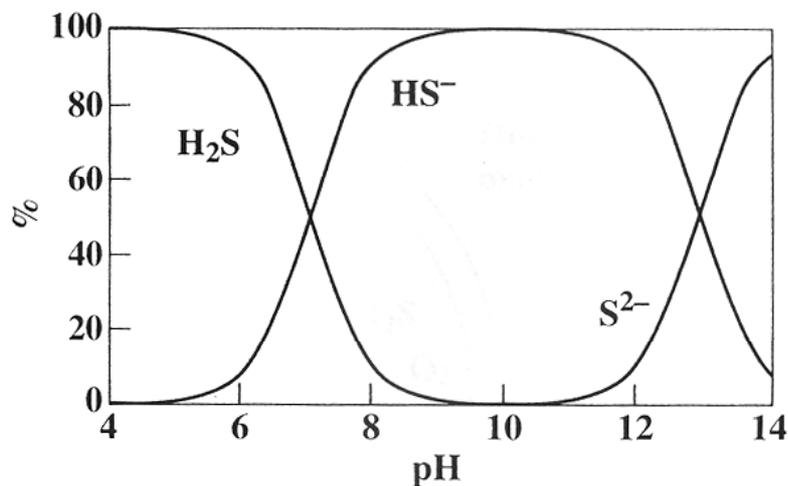
จากการศึกษาในท่อรวบรวมน้ำเสียในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3 พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยค่อยๆ ลดลงจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จนได้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ซึ่งในสภาวะท่อปิดที่มีการระบายอากาศไม่ดีพอ ประกอบกับในจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 นี้อยู่ปลายท่อ ทำให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียนาน ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลง เนื่องจากถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ผลผลิตตัวหนึ่งที่ได้จากการย่อยสลายนี้อคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Delgado *et al.* (1999) ที่พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างโดยเฉลี่ยค่อยๆ ลดลงตามระยะ

ทางของท่อที่เพิ่มขึ้น โดยช่วงความเป็นกรดเป็นด่างที่มีการสร้างซัลไฟด์มากที่สุดอยู่ในช่วง 7.5-8.0



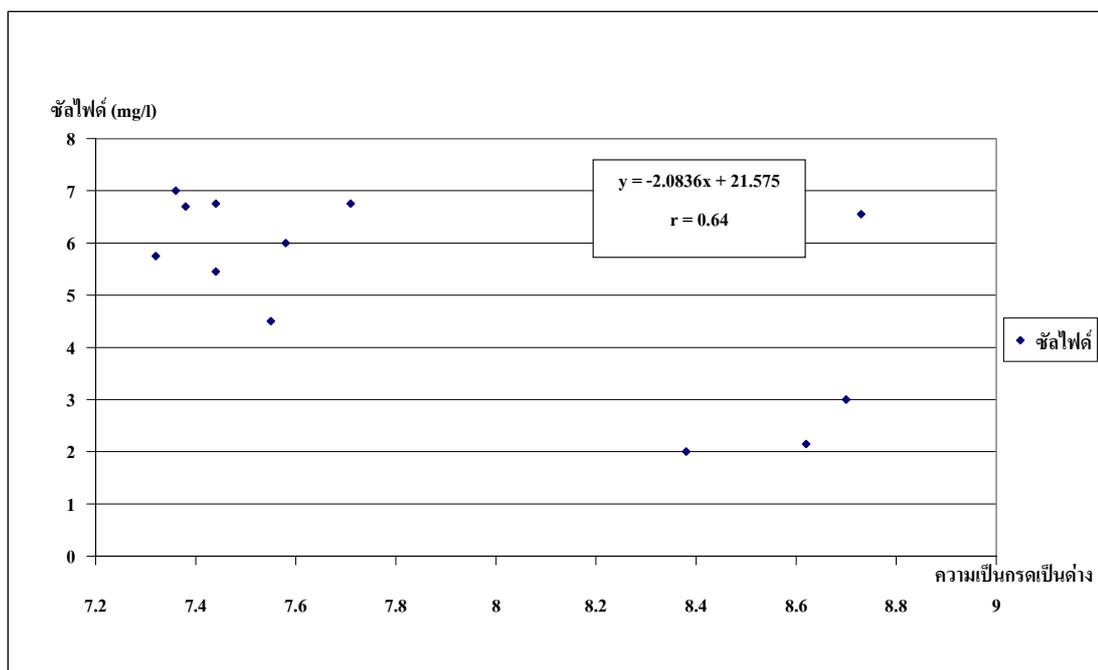
ภาพที่ 13 ความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

จากช่วงความเป็นกรดเป็นด่างที่วิเคราะห์ได้ คือ 7.32-8.73 ถือว่าบางค่าอยู่ในช่วงที่มีการสร้างซัลไฟด์มากที่สุดตามการทดลองของ Delgado *et al.* (1999) ซึ่งความเป็นกรดเป็นด่างในช่วงที่วิเคราะห์ได้นี้ส่วนใหญ่ซัลไฟด์จะอยู่ในรูปของไบซัลไฟด์ไอออน (HS⁻) ซึ่งเป็นซัลไฟด์ในรูปของไอออนที่ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น แม้ว่าบางส่วนจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งเมื่อถูกปลดปล่อยเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะก๊าซจะเป็นตัวก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งแสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ผลกระทบของความเป็นกรดเป็นด่างต่อการกระจายตัวของซัลไฟด์แต่ละสปีชีส์ในน้ำ
ที่มา : Clair *et al.* (2003)

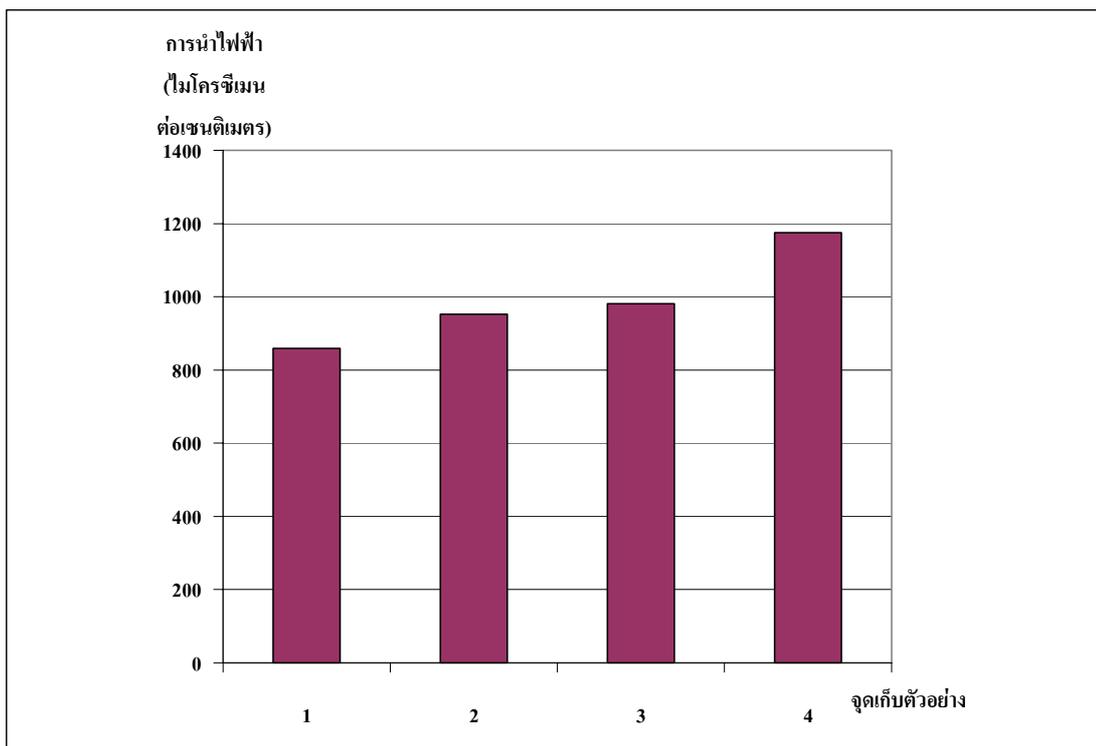
เมื่อนำความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 15 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.64 ซึ่งหมายความว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างกับปริมาณซัลไฟด์

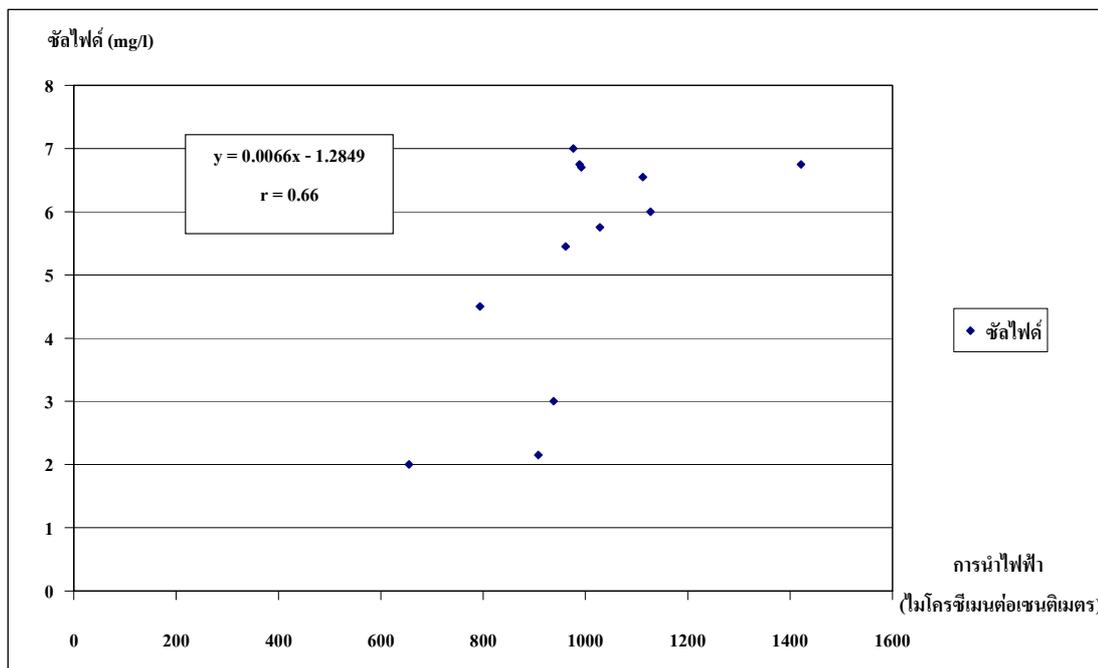
2.4 การนำไฟฟ้า

การศึกษากำหนดนำไฟฟ้าของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 655-1421 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 858.7 และ 1175.0 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 16 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำใช้บ่งบอกถึงปริมาณสารละลายในน้ำ หากในน้ำมีปริมาณสารละลายมากจะมีประจุซึ่งสามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าได้มาก (พลาวุธ, 2543)



ภาพที่ 16 การนำไฟฟ้าเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

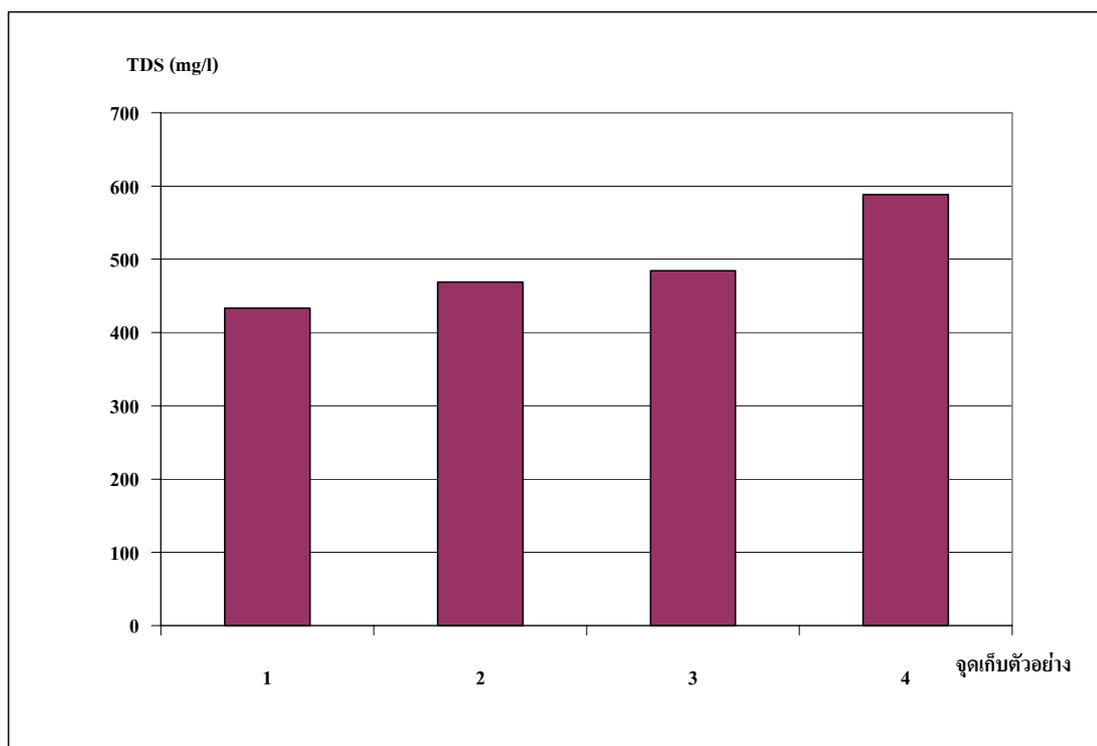
เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 17 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.66 ซึ่งหมายความว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้ากับปริมาณซัลไฟต์

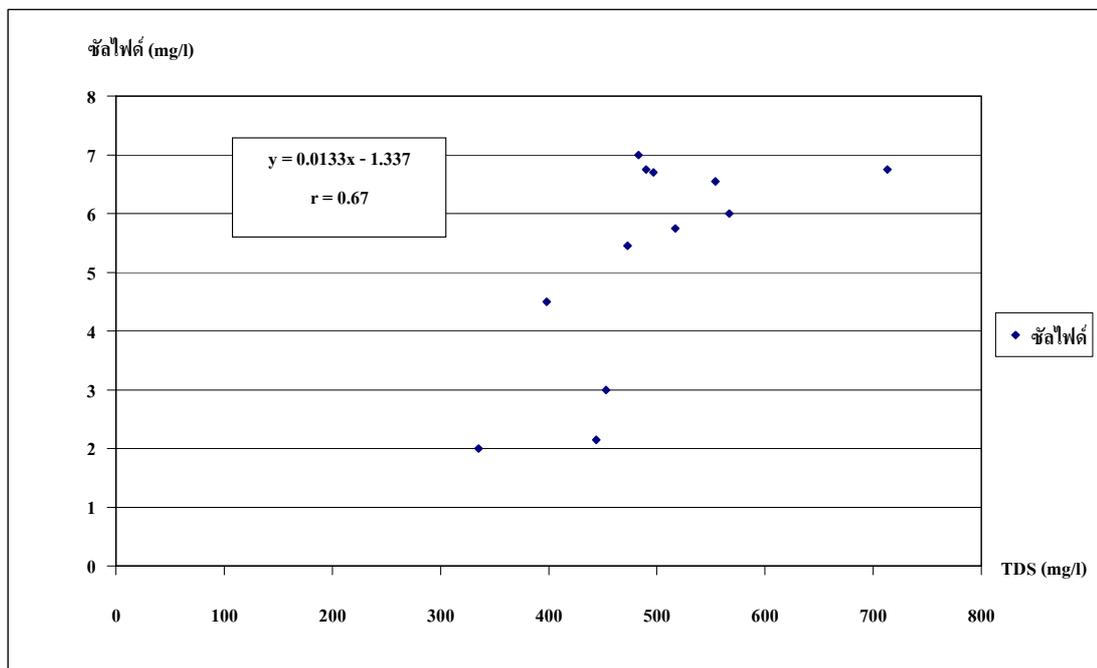
2.5 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

การศึกษาปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ในช่วง 335-713 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 433.3 และ 588.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 18 จากการศึกษาพบว่า ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระยะทางในการส่งน้ำเสีย



ภาพที่ 18 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เมื่อนำปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 19 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.67 ซึ่งหมายความว่าความถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

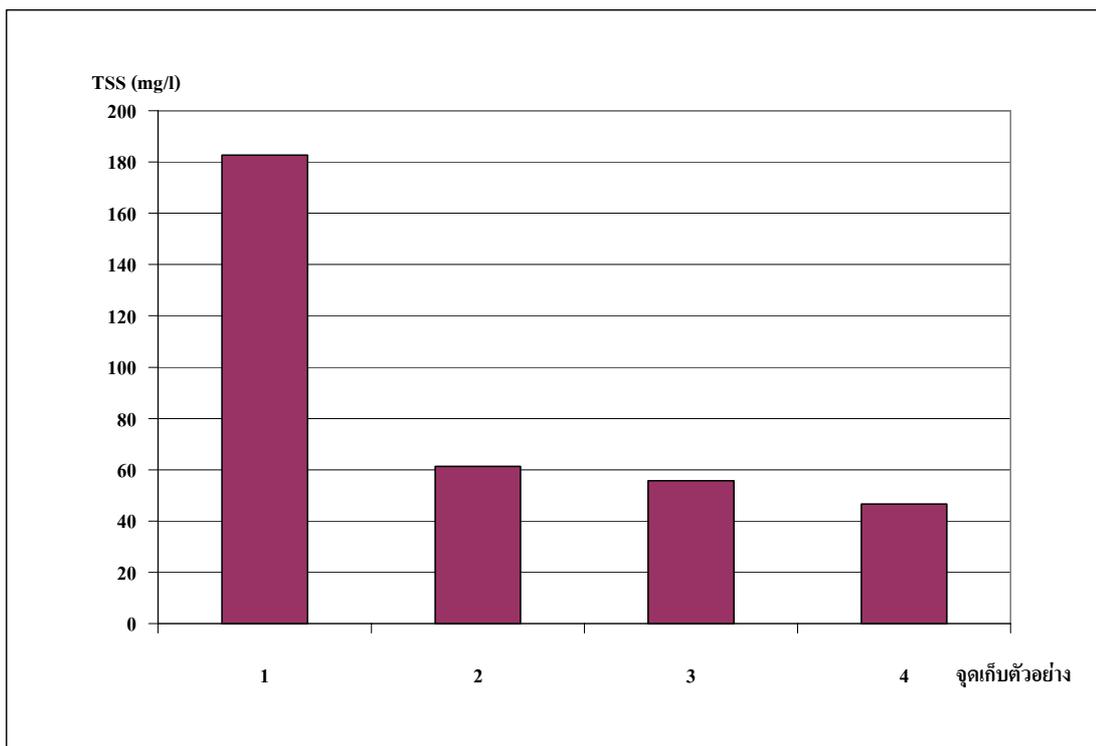


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาณคลอไรด์

2.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

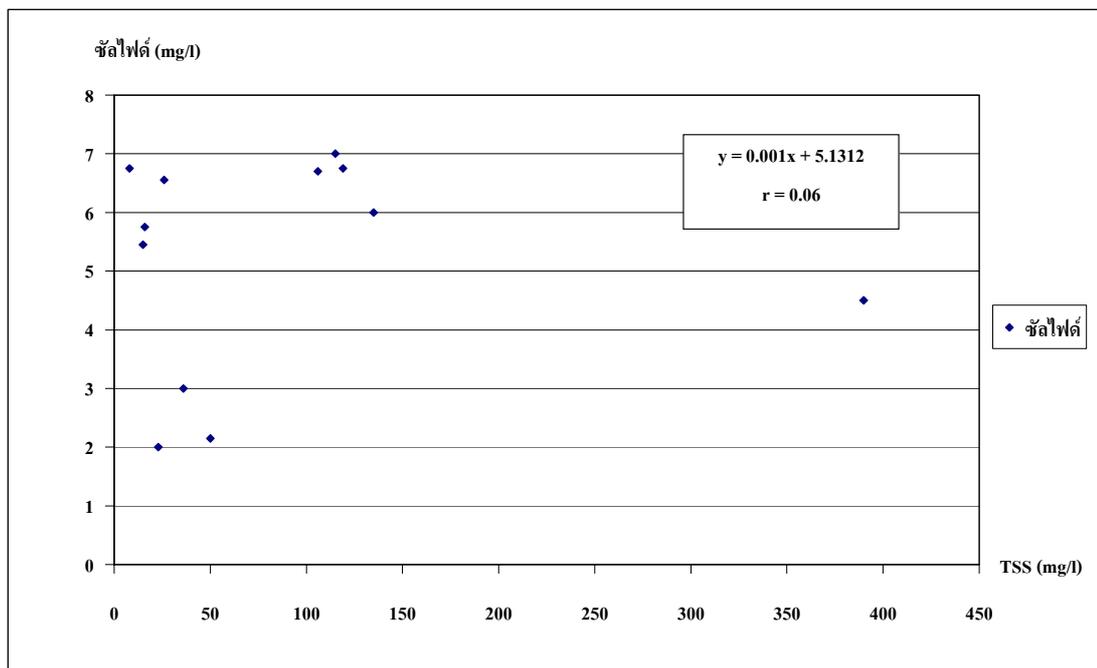
การศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 8-390 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 46.7 และ 182.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 20

จากการศึกษาพบว่า ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลงตามระยะทางในการส่งน้ำเสีย ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ของแข็งแขวนลอยในน้ำค่อนข้าง ตกตะกอนลงสู่ก้นท่อ เกิดการสะสมตะกอนก้นท่อซึ่งภายใต้ตะกอนจะเกิดสภาวะไร้ออกาศขึ้น จึงทำให้มีการปลดปล่อยคลอไรด์จากตะกอนก้นท่อน้ำเสียได้ และหากการไหลในท่อรวบรวมน้ำเสียมีอัตราการไหลต่ำจนไม่สามารถเกิดการล้างตัวเองได้ จะยิ่งทำให้เกิดการสะสมของตะกอนก้นท่อมากขึ้น



ภาพที่ 20 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เมื่อนำปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 21 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.06 ซึ่งหมายความว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

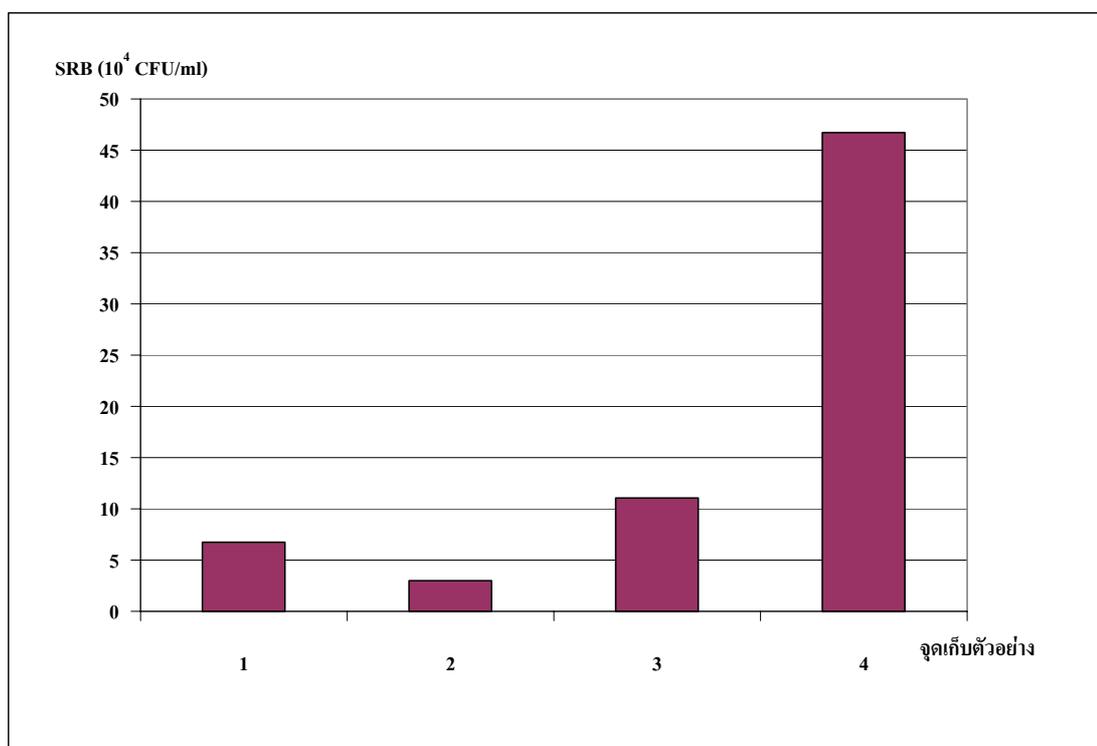


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดกับปริมาณชัลไฟด์

2.7 ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตชัลไฟด์ในน้ำเสีย

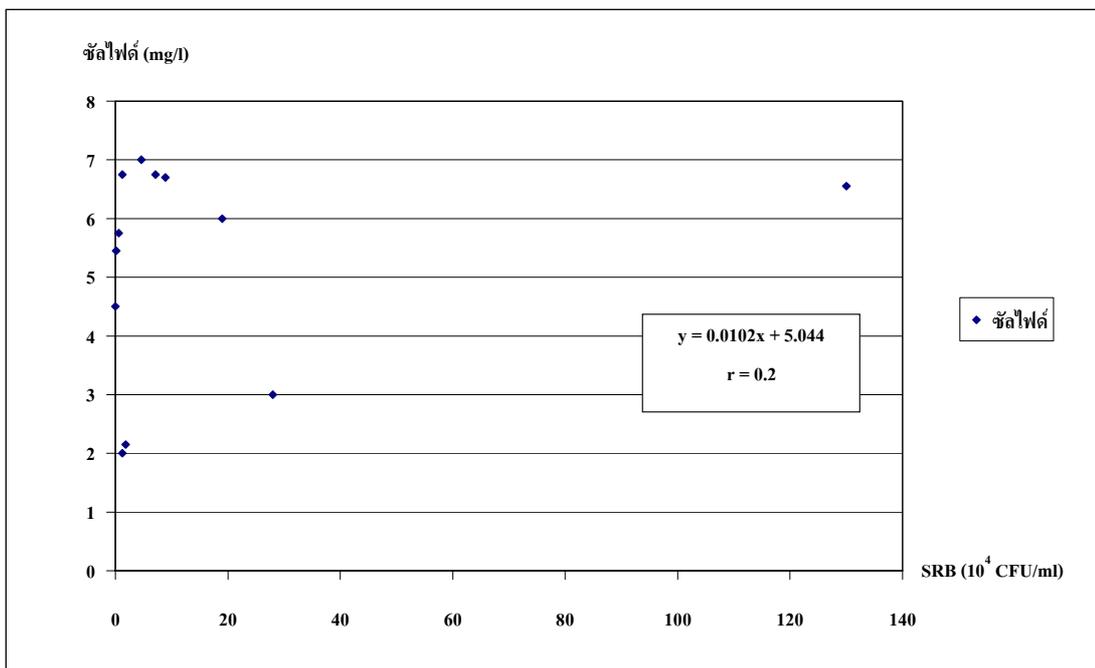
การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตชัลไฟด์ในน้ำเสียทั้ง 4 จุด พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตชัลไฟด์ของน้ำเสียในช่วงตั้งแต่ ไม่สามารถตรวจวัดได้จนถึง 130×10^4 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ซึ่งเมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ครั้ง มาหาปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตชัลไฟด์เฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่า มีค่าต่ำที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และมีค่าสูงที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 3.01×10^4 และ 46.70×10^4 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 22

จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตชัลไฟด์ในน้ำเสียมีค่าที่ไม่แน่นอน โดยการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ไม่สามารถตรวจพบจุลินทรีย์ที่ผลิตชัลไฟด์ในน้ำเสีย แต่ยังสามารถวัดค่าชัลไฟด์ในน้ำเสียได้ อาจเป็นเพราะว่าชัลไฟด์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ถูกผลิตออกมาโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในชั้นเมือกที่ผนังท่อและในตะกอนก้นท่อแล้วจึงถูกปลดปล่อยออกสู่น้ำเสีย ซึ่งจากการศึกษาของ Novazhilova and Berezina (1966) พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการรีดิวซ์ซัลเฟอร์นั้นจะมีอยู่ในน้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับในตะกอนดินโคลน



ภาพที่ 22 ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์เจลลี่ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

เมื่อนำปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์และปริมาณซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 23 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.2 ซึ่งหมายความว่าถึงความถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์กับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันน้อย แสดงว่า ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์ที่เก็บตัวอย่างมาจากในน้ำเสียนั้นมีผลต่อการเกิดซัลไฟด์น้อย เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อการผลิตซัลไฟด์ในน้ำเสียนั้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในชั้นเมือกตามผนังของท่อระบายน้ำและในตะกอนก้นท่อ ซึ่งจะอยู่ในสภาวะไร้อากาศที่ส่งเสริมให้เกิดซัลไฟด์ขึ้น



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์กับปริมาณซัลไฟด์

จากการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสี้ยวชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ได้แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไว้ในตารางที่ 1

3. การศึกษาการประยุกต์ใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ทางจลนศาสตร์เคมี ในน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

3.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยใช้กฎอัตราการอินทิเกรต

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยการนำกฎอัตราการอินทิเกรต ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร ณ เวลาต่างๆ มาใช้ในการหาอันดับของปฏิกิริยาโดยการเขียนกราฟ (สุคจิตและคณะ, 2547) ซึ่งหาได้ดังนี้

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เขียนกราฟระหว่าง natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ กับเวลา ถ้าได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ถ้าไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับอื่น

ปฏิกิริยาอันดับสอง เขียนกราฟระหว่าง $1/\text{ปริมาณซัลไฟด์}$ กับเวลา ถ้าได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง ถ้าไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับอื่น

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เขียนกราฟระหว่าง ปริมาณซัลไฟด์ กับเวลา ถ้าได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ถ้าไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับอื่น

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาในตารางที่ 2 และ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสียที่ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่า เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่าง natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์กับระยะเวลาแล้วได้เป็นกราฟเส้นตรง ในขณะที่ปฏิกิริยาอันดับอื่นๆ ไม่ได้กราฟเส้นตรง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง แสดงดังภาพที่ 24

ตารางที่ 2 ปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา

ครั้งที่ เก็บตัวอย่าง	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
		จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 1	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 2	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 3	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 4
1	0	6.0	6.75	7.0	6.7
	24	4.6	4.25	4.7	4.15
	27	4.45	4.0	4.55	3.8
	30	4.4	3.9	4.5	3.5
	48	2.675	2.75	4.25	2.65
	51	2.35	2.6	3.6	2.25
	54	2.2	2.5	3.4	2.075
	72	0.45	0.75	0.5	0.375
	75	0.4	0.55	0.35	0.25
2	0	4.5	5.45	5.75	6.75
	24	1.6	2.55	2.55	3.65
	27	1.5	2.3	2.3	3.5
	30	1.25	2.2	2.25	3.35
	48	0.7	1.0	1.75	0.65
	51	0.6	0.925	1.675	0.625
	54	0.55	0.85	1.5	0.55
	72	0.3	0.6	0.45	0.35
	75	0.25	0.4	0.4	0.25
3	0	2.0	2.15	3.0	6.55
	24	1.4	2.05	2.7	6.45
	27	1.25	2.0	2.65	6.4
	30	1.2	1.7	2.4	6.35
	48	1.1	1.4	1.35	6.3
	51	1.05	1.2	1.325	6.25
	54	1.0	1.1	1.275	6.15
	72	0.88	1.05	1.0	2.75
	75	0.85	0.95	0.95	2.5

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา

ครั้งที่ เก็บตัวอย่าง	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				เฉลี่ย
		จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 1	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 2	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 3	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 4	
เฉลี่ยทุกจุดเก็บ	0	4.17	4.78	5.25	6.67	5.22
	24	2.53	2.95	3.32	4.75	3.39
	27	2.4	2.77	3.17	4.57	3.23
	30	2.28	2.6	3.05	4.4	3.08
	48	1.49	1.72	2.45	3.2	2.22
	51	1.33	1.58	2.2	3.04	2.04
	54	1.25	1.48	2.06	2.93	1.93
	72	0.54	0.8	0.65	1.16	0.79
	75	0.5	0.63	0.57	1.0	0.68

ตารางที่ 3 ค่า natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา

ครั้งที่ เก็บตัวอย่าง	เวลา (ชั่วโมง)	ln ของปริมาณซัลไฟด์			
		จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 1	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 2	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 3	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 4
1	0	1.792	1.910	1.946	1.902
	24	1.526	1.447	1.548	1.423
	27	1.493	1.386	1.515	1.335
	30	1.482	1.361	1.504	1.253
	48	0.984	1.012	1.447	0.975
	51	0.854	0.956	1.281	0.811
	54	0.788	0.916	1.224	0.730
	72	-0.799	-0.288	-0.693	-0.981
	75	-0.916	-0.598	-1.05	-1.386
2	0	1.504	1.696	1.749	1.902
	24	0.47	0.936	0.936	1.295
	27	0.405	0.833	0.833	1.253
	30	0.223	0.788	0.811	1.209
	48	-0.357	0	0.56	-0.431
	51	-0.511	-0.078	0.516	-0.47
	54	-0.598	-0.163	0.405	-0.598
	72	-1.204	-0.511	-0.799	-1.050
	75	-1.386	-0.916	-0.916	-1.386
3	0	0.693	0.765	1.099	1.879
	24	0.336	0.718	0.993	1.864
	27	0.223	0.693	0.975	1.856
	30	0.182	0.531	0.875	1.848
	48	0.095	0.336	0.3	1.841
	51	0.049	0.182	0.281	1.833
	54	0	0.095	0.243	1.816
	72	-0.128	0.049	0	1.012
	75	-0.163	-0.051	-0.051	0.916

ตารางที่ 3 (ต่อ) ค่า natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา

ครั้งที่ เก็บตัวอย่าง	เวลา (ชั่วโมง)	ln ของปริมาณซัลไฟด์			
		จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 1	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 2	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 3	จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 4
เฉลี่ยทุกจุดเก็บ	0	1.428	1.564	1.658	1.898
	24	0.928	1.082	1.2	1.558
	27	0.875	1.019	1.154	1.52
	30	0.824	0.955	1.115	1.482
	48	0.399	0.542	0.896	1.163
	51	0.285	0.457	0.788	1.111
	54	0.223	0.392	0.723	1.075
	72	-0.616	-0.223	-0.431	0.148
	75	-0.693	-0.462	-0.562	0

จากสมการของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งคือ $\ln [S^2]_t = -k_1t + \ln [S^2]_0$ ซึ่งมีรูปแบบของสมการเส้นตรง (สุตจิตและคณะ, 2547) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา ดังภาพที่ 24 ดังนี้

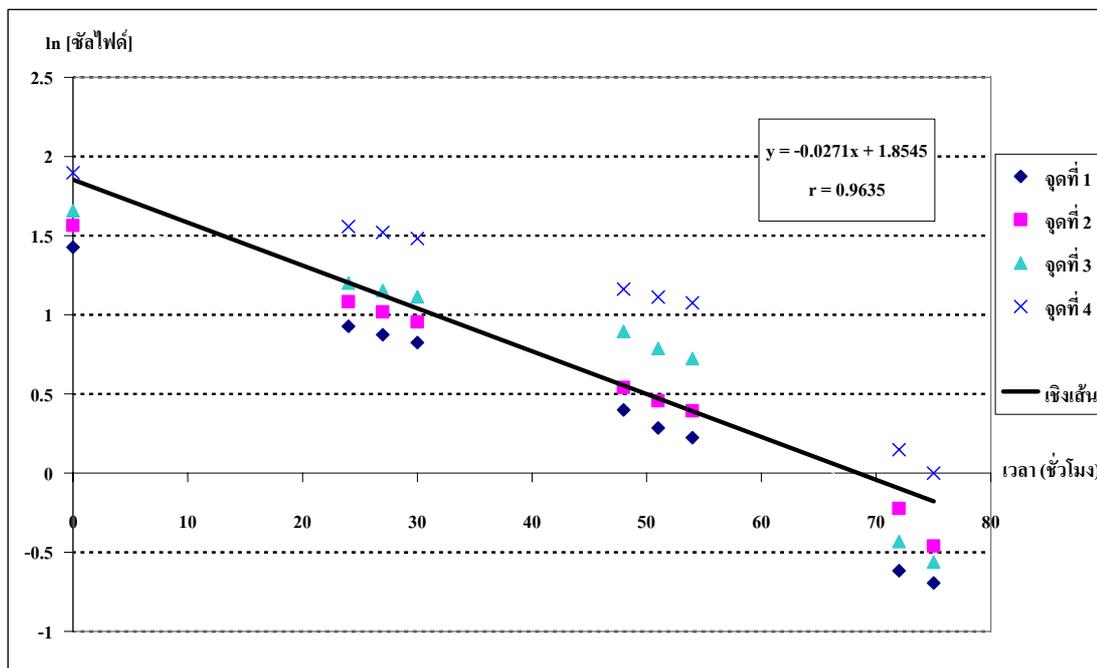
$$y = -0.0271x + 1.8545$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) = 0.9635}$$

โดย x = ระยะเวลา (ชั่วโมง)

$$y = \text{ค่า natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลง}$$

เมื่อเทียบสมการของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งกับสมการเส้นตรงในภาพที่ 24 จะได้ค่าคงที่อัตรา (k) เท่ากับ 0.0271 ชั่วโมง⁻¹ ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงของซัลไฟด์ในน้ำเสียที่เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงที่ลดลงนี้อาจเปลี่ยนให้ซัลไฟด์ไปอยู่ในรูปอื่น เช่น การปลดปล่อยไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 24 ค่า natural logarithms ของปริมาณซัลไฟด์ที่เปลี่ยนแปลงกับระยะเวลา

3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยใช้สมการ empirical model

การศึกษาการประยุกต์ใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์โดยใช้สมการ empirical model ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณซัลไฟด์ที่สะสมอยู่ในท่อรวบรวมน้ำเสีย จะต้องมีการใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในท่อรวบรวมน้ำเสียชุมชน (จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3) เพื่อนำมาคำนวณ ตามสมการของ Pomeroy and Parkhurst (1985) ดังต่อไปนี้

$$(EBOD) = (BOD) \times (1.07)^{(T-20)}$$

เมื่อ	EBOD =	effective BOD, มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD =	standard BOD ₅ , มิลลิกรัม/ลิตร
	T =	อุณหภูมิของน้ำเสีย, °C
	1.07 =	empirical factor

$$S_2 = S_1 + (M) (t) [\text{EBOD} (D/4 + 1.57)]$$

เมื่อ	S_2	=	ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่ทำนายที่เวลา t_2 , มิลลิกรัม/ลิตร
	S_1	=	ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่เวลา t_1 , มิลลิกรัม/ลิตร
	t	=	$t_2 - t_1$ = เวลาที่ไหลในท่อที่มีความชัน เส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง และอัตราเร็วคงที่, ชั่วโมง
	M	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์เฉพาะ (specific sulfide flux coefficient), เมตร/ชั่วโมง
	D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, ฟุต

M factor มีค่าเท่ากับ 1×10^{-3} เมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าทั่วไปสำหรับกรณีที่มีน้ำเสียอยู่เต็มท่อ และ M factor จะมีค่าเท่ากับ 3×10^{-4} เมตร/ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีน้ำเสียไม่เต็มท่อ

ตารางที่ 4 ค่าที่ได้จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์โดยใช้สมการ empirical model

ครั้งที่ เก็บ	จุดเก็บ ตัวอย่าง ที่	BOD ₅	EBOD	ปริมาณ ซัลไฟด์จาก การคำนวณ	ปริมาณ ซัลไฟด์จาก การตรวจวัด	t_{cal}	$t_{ตารางค่า t}$
	1	325	639.32				
1	2	350	688.50	6.2004	6.75		
	3	400	786.86	6.6120	7.00		
2	1	40	87.09				
	2	62.5	131.55	4.5273	5.45		
	3	80	168.39	5.4764	5.75		
3	1	95	133.24				
	2	42.5	73.02	2.0418	2.15		
	3	70	120.27	2.1646	3.00		
เฉลี่ย	2			4.26	4.78	- 0.431	4.303
	3			4.75	5.25	- 0.375	4.303

ผลจากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 4 โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณซัลไฟด์ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับปริมาณซัลไฟด์ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้วิธีทางสถิติ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ที่จุดเก็บตัวอย่างที่สองมีค่า $t_{cal, .05} = -0.431$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 และปริมาณซัลไฟด์ที่จุดเก็บตัวอย่างที่สามมีค่า $t_{cal, .05} = -0.375$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 ดังนั้นจึงสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์โดยใช้สมการ empirical model โดยใช้ข้อมูลเพื่อมาคำนวณหาปริมาณซัลไฟด์ในท่อรวบรวมน้ำเสียที่จุดอื่นๆ ได้

การเปลี่ยนแปลงของซัลไฟด์ในน้ำเสีย ทั้งการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงและเพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของซัลเฟต ออกซิเจนละลาย ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ความเร็วในการไหลของน้ำ พื้นที่ผิว และระยะเวลา เก็บกัก

สรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดซัลไฟด์กับค่าบีโอดี ในน้ำเสียชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรี ที่รวบรวมมาบำบัดที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย ซึ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ทาง จลนศาสตร์เคมี โดยเปรียบเทียบปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จากการตรวจวัดจริงกับปริมาณ ซัลไฟด์ที่ประเมินด้วยสมการจลนศาสตร์เคมีของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งจากผลการ ศึกษาพบว่า

1. การศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดซัลไฟด์กับค่าบีโอดี ในน้ำเสียชุมชนของเทศบาล เมืองเพชรบุรี พบว่า มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 22.5-425.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซัลไฟด์อยู่ในช่วง 2.00-7.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าบีโอดีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณซัลไฟด์เพิ่มขึ้น โดยมีความ สัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ในระดับปานกลาง

2. การศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดซัลไฟด์กับพารามิเตอร์อื่นๆ ในน้ำเสียชุมชนของ เทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า มีปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วง 4.80-17.52 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 25.0-31.5 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.32-8.73 การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 655-1421 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ใน ช่วง 335-713 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 8-390 มิลลิกรัม ต่อลิตร ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์ในน้ำเสียอยู่ในช่วงตั้งแต่ ไม่สามารถตรวจวัดได้จนถึง 130×10^4 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตกับปริมาณซัลไฟด์อยู่ใน ระดับที่มีความสัมพันธ์กันมาก ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง การนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาณซัลไฟด์ อยู่ในระดับที่มีความ สัมพันธ์ปานกลาง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณเชื้อจุลินทรี ที่ผลิตซัลไฟด์กับปริมาณซัลไฟด์ อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์น้อย

3. การศึกษาการประยุกต์ใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ทางจลนศาสตร์เคมี ในน้ำเสีย ชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยใช้กฎอัตราการอิน ทิเกรตเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และมีค่าคงที่อัตรา (k) เท่ากับ $0.0271 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ ซึ่งสามารถนำมา ใช้ทำนายว่ามีสารเริ่มต้นเหลือหรือมีสารผลิตผลเกิดขึ้นปริมาณเท่าใดที่เวลาหนึ่ง ส่วนการเปลี่ยน

แปลงซัลไฟด์ในน้ำเสียโดยใช้สมการ empirical model เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซัลไฟด์จากการตรวจวัดจริงกับปริมาณซัลไฟด์จากการคำนวณด้วยสมการ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์จากสมการ empirical model คำนวณหาปริมาณซัลไฟด์ที่สะสมอยู่ในท่อรวบรวมน้ำเสียที่จุดอื่นๆได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเกิดซัลไฟด์ในช่วงฤดูกาลอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อพิจารณาความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ที่อาจจะเกิดจากปัจจัยของฤดูกาล
2. ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดซัลไฟด์เพิ่มเติม เช่น ปริมาณออกซิเจนละลาย ระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียในท่อรวบรวมน้ำเสีย ค่าศักย์ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP)
3. ควรมีการศึกษาการเกิดซัลไฟด์ในท่อรวบรวมน้ำเสียกับพื้นที่อื่นๆ โดยทดลองนำสมการการเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์ของเทศบาลเมืองเพชรบุรีไปประยุกต์ใช้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรรมการ ชูเกียรติวัฒนา. 2543. จุลชีวีตยาสีงแวดลอม. พิมพ์ครั้งที่ 1. โคราชออฟเซ็ท
การพิมพ์, นครราชสีมา.

กรรมการ สิริสิงห. 2544. เคมี่ของน้ำ น้ำใสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3.
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดลอมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2541.
รายงานสรุปผลการวิจัย 5 ปี โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดลอมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. 2525. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. สถาบันวิจัยสภาวะแวดลอม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ดวงพร คันชโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,
กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. สมาคม
สิ่งแวดลอมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

นถาวรณ นพรัตน์ราภรณ์. 2535. จุลชีวีตยาสีงของภาวะมลพิษ. ภาควิชาจุลชีวีตยาสีง
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นัทธีรา สรรมณี. 2541. เคมี่สิ่งแวดลอม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดลอม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

นิพนธ์ ตั้งคณาภรณ์, อรอนงค์ ผิวนิล, กฤตภาส ฐัฏระภูถ และสตรีไทย พุ่มไม้. ม.ป.ป.

คู่มือปฏิบัติการวิชา 591531. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

ปราณี พันธุมสินชัย. 2537. คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาครัฐบาล

องค์การบริหารและสุขภาพ. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ มานะเสวด. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ.

_____. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ.

พรชัย สิงหนุญ. 2531. ผลกระทบของไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปลาช่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลารุช น้อยเคียง. 2543. การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออก
ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2538. จุลชีววิทยาปฏิบัติการ.
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนตรี จุฬาวัฒนพล, ยงยุทธ ยุทธวงศ์, ชัยณัฐสร สวัสดิวัฒน์, ประหยัด โกมารทัต,
ประพนธ์ วิไลรัตน์, สกล พันธุ์ยิ้ม และภิญโญ พานิชพันธ์. 2530. ชีวเคมี. ภาควิชา
ชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- _____. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสีย ในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัย ทางประมง. ฝ่ายวิจัยสัตว์น้ำ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์. 2542. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำเสีย จากเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่ผ่านระบบบำบัดบริเวณแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิรินี ทิพพากร. 2527. การฟอกตัวเองของน้ำทางแบคทีเรียในห้วยแม่ราก บริเวณโครงการหลวง พัฒนาต้นน้ำหน่วยที่ 1 (ทุ่งจ้อ) อำเภอมะแตง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- สุดจิต สงวนเรือง, จุนเจือ โล่ห์สุวรรณ และนัทธมน คุณแสง. 2547. เคมี่ทั่วไป เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก. วี. เจ. พรินติ้ง, กรุงเทพฯ.
- สุปราณี วิชญานันต์. 2527. การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในดิน น้ำ ดินตะกอนของลำธาร และการดูดซับซัลเฟตของดิน จากบริเวณทุ่งจ้อและดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุมาลี ผิวพอใช้. 2537. คุณภาพน้ำ ชนิด และปริมาณของเพอร์ฟิฟตอนในน้ำทิ้งจากมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรัสวดี บุปพะเรณู. 2542. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี และซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยวิธีหลั่งกรองน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อาภรณ์ ชัยขง. 2539. การบำบัดบีโอดีและซีโอดี ในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Babbit, H.E. 1950. **Sewerage and Sewage Treatment**. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Boyd, E.C. 1982. **Water Quality Management for Pond Fish Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., New York.

Clair, N.S., P.L.McCarty and G.F.Parkin. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. Fifth edition. McGraw-Hill Higher Education, Singapore.

Delgado, S., M. Alvarez, L.E. Rodriguez-Gomez and E. Aguiar. 1999. H₂S Generation in A Reclaimed Urban Wastewater Pipe. Case Study : Tenerife(Spain). **Wat. Res.** 33 (2) : 539-547.

Franson, M.A.H. 1981. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Fifteenth edition. American Public Health Association, Washington DC.

Funchel, T. and T.H. Blackburn. 1979. **Bacteria and Mineral Cycling**. Academic press, London.

Greenberg, A.E., L.S. Clesceri and A.D. Eaton. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18th edition. Victor Graphics, Inc., Maryland.

- Hammer, M.J. 1975. **Water and Wastewater Technology**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Maree, J.P. and F.S. Wilma. 1987. Biological Sulfate Removal from Industrial Effluent in an Upflow Packed Bed Reactor. **Water Res.** 21 : 141-146.
- Nielsen, A.H., J. Vollertsen and H. Jacobsen. 2003. Determination of Kinetics and Stoichiometry of Chemical Sulfide Oxidation in Wastewater of Sewer Networks. **Environ. Sci. Technol.** 37 : 3853-3858.
- Novazhilova, M.I. and E.S. Berezina. 1966. Character of the Distribution of Sulfate Reducing and Sulfur Bacteria in the Sediments of Lake Balkhash. **Microbiol.** 34 : 436-440.
- Pomeroy, R.D. and J.D. Parkhurst. 1985. **Hydrogen Sulfide and Sulfuric Acid Estimation Techniques**. Available Source: <http://www.epa.gov/ednrmrl/repository/epa-600-r-98-157/chapter4.pdf>, March 2, 2004.
- Ramalho, R.S. 1977. **Introduction to Wastewater Treatment Processes**. Academic Press, Inc., New York.
- Warren, C.E. 1971. **Biological and Water Pollution Control**. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers. 1995. **Odor Control in Wastewater Treatment Plants**. Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, New York.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าบีโอดีในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	325.0	350.0	400.0	425.0
2	40.0	62.5	80.0	22.5
3	95.0	42.5	70.0	180.0
เฉลี่ย	153.3	151.7	183.3	209.2

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณซัลไฟด์ในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

(mg/l)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	6.00	6.75	7.00	6.70
2	4.50	5.45	5.75	6.75
3	2.00	2.15	3.00	6.55
เฉลี่ย	4.17	4.78	5.25	6.67

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณซัลเฟตในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

(mg/l)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	6.72	5.76	4.56	6.72
2	11.52	8.64	8.54	4.80
3	17.52	17.12	16.32	6.40
เฉลี่ย	11.92	10.51	9.81	5.97

ตารางผนวกที่ 4 อุณหภูมิในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

(°C)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	30.0	30.0	30.0	31.0
2	31.5	31.0	31.0	31.0
3	25.0	28.0	28.0	28.0
เฉลี่ย	28.8	29.7	29.7	30.0

ตารางผนวกที่ 5 ความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	7.58	7.44	7.36	7.38
2	7.55	7.44	7.32	7.71
3	8.38	8.62	8.70	8.73
เฉลี่ย	7.84	7.83	7.79	7.94

ตารางผนวกที่ 6 การนำไฟฟ้าในน้ำเสี้ยวของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

(µS/cm)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	1127	988	976	992
2	794	961	1028	1421
3	655	908	938	1112
เฉลี่ย	858.7	952.3	980.7	1175

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

(mg/l)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	567	490	483	497
2	398	473	517	713
3	335	444	453	554
เฉลี่ย	433.3	469	484.3	588

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

(mg/l)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	135	119	115	106
2	390	15	16	8
3	23	50	36	26
เฉลี่ย	182.7	61.3	55.7	46.7

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี (10^4 CFU/ml)

การทดลอง ครั้งที่	จุดเก็บตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
1	19.00	7.10	4.60	8.90
2	nd	0.14	0.59	1.20
3	1.20	1.80	28.00	130.00
เฉลี่ย	6.73	3.01	11.06	46.70

หมายเหตุ : nd หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

การตรวจวิเคราะห์ออกซิเจนละลายโดยวิธีเฮไลต์แบบปรับปรุง

วิธีวิเคราะห์

1. เติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ลงในขวดบีโอดีให้เต็มระวังอย่าให้มีฟองอากาศ
2. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของตัวอย่างน้ำในขวดบีโอดี
3. ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลปัดอยู่ใต้ก้นขวด (ถ้าเกิดตะกอนสีขาวแสดงว่าตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนละลาย)
4. เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปตามข้างๆ กอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำปิดจุก เขย่าให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนนำไปไตเตรต สารละลายนี้จะเก็บไว้ได้ 2 ชั่วโมง
5. คำนวณปริมาตรของตัวอย่างที่จะใช้ในการไตเตรต โดยยึดถือปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง 200 มิลลิลิตรเป็นหลัก โดยถ้าขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร และเติมแมงกานีสซัลเฟต และสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ อย่างละ 1.5 มิลลิลิตร รวมเป็น 3 มิลลิลิตร ปริมาตรที่จะต้องนำมาไตเตรตจะเป็น $(200 \times 300) / (300 - 3) = 202$ มิลลิลิตร ดังนั้นจึงต้องตวงสารละลายตัวอย่าง 202 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวยเพื่อนำไปไตเตรต
6. ไตเตรตสารละลายตัวอย่างด้วย โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลง (สีฟางข้าว) เติมน้ำแข็ง 1 มิลลิลิตร จะได้สีน้ำเงิน ไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป ปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นค่า DO ของน้ำนั้น

การตรวจวิเคราะห์บีโอดีโดยวิธีเจือจาง

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมน้ำเจือจางโดยนำน้ำกลั่นมาทำให้มีออกซิเจนละลายอยู่มากหรือเกือบอิ่มตัว ซึ่งทำได้โดยการพ่นอากาศเข้าไปในน้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2. เลือกปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ ตามตารางผนวกที่ 10 ปิดตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้ ลงในขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิกรัม อย่างละ 2 ขวด เติมน้ำสำหรับใช้เจือจางจนเต็มขวดบีโอดี ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ ปิดฝาให้แน่น นำขวดบีโอดีขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลายที่มีเริ่มต้นสมมติเป็น DO₀ ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน

ตารางผนวกที่ 10 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่างๆ

ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ช่วงบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราเจือจาง
0.02	30,000-105,000	15,000
0.05	12,000-42,000	6,000
0.10	6,000-21,000	3,000
0.20	3,000-10,500	1,500
0.50	1,200-4,200	600
1.0	600-2,100	300
2.0	300-1,050	150
5.0	120-420	60
10.0	60-210	30
20.0	30-105	15
50.0	12-42	6
100	6-21	3
300	0-7	1

ที่มา : มั่นสิน (2540)

3. เมื่อครบ 5 วัน นำขวดบีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่ สมมติเป็น DO_5

วิธีการคำนวณ

ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $(DO_0 - DO_5) \times$ อัตราส่วนเจือจาง

DO_0 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไตเตรตได้ในวันแรก

DO_5 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไตเตรตในวันที่ 5

อัตราส่วนเจือจาง = $\frac{\text{ปริมาตรน้ำเจือจาง}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วทำสารละลายให้เจือจางเป็น 50 มิลลิลิตร
2. ปรับความเป็นกรดเป็นด่างโดยเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ต้มสารละลายจนเกือบเดือด
3. เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ร้อน 15 มิลลิลิตร ลงไปอย่างรวดเร็วและคนอย่างแรง ทำสารละลายให้ร้อนบนหม้ออังไอน้ำอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองตะกอนที่ได้และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น
5. ถ่ายตะกอนจากกระดาษกรองลงในบีกเกอร์ใบเดิมให้หมด แล้วเติมสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 35 มิลลิลิตร และสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร ต้มสารละลายจนเดือดเป็นเวลา 15-20 นาที เพื่อช่วยในการละลายตะกอน

6. ทำสารละลายให้เย็นลง และเติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 ลงไป 10 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T ลงไป 2-3 หยด

7. ไทเทรต EDTA ที่มากเกินไป ด้วยสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมคลอไรด์ จนกระทั่งได้สารละลายสีแดงอ่อน

วิธีการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซัลเฟต} = \frac{\text{น้ำหนักซัลเฟต (กรัม)} \times 100}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักซัลเฟต (กรัม)} &= \text{จำนวนสูตรซัลเฟต} \times \text{น้ำหนักสูตรซัลเฟต (กรัม/สูตร)} \\ &= \text{จำนวนสูตรเบเรียม} \times \text{น้ำหนักสูตรซัลเฟต} \end{aligned}$$

$$\text{จำนวนสูตรเบเรียม} = \text{จำนวนสูตร EDTA} - \text{จำนวนสูตรแมกนีเซียม}$$

$$\text{จำนวนสูตร EDTA} = (1/1000) \times (\text{ปริมาตร EDTA} \times \text{ความเข้มข้น EDTA})$$

$$\text{จำนวนสูตรแมกนีเซียม} = (1/1000) \times (\text{ปริมาตรแมกนีเซียม} \times \text{ความเข้มข้นแมกนีเซียม})$$

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมแผ่นกระดาษกรอง GF/C ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมติเป็น A มิลลิกรัม

2. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร

3. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกและให้ถูกดูดติดกับกรวยบุคเนอร์
4. กรองตัวอย่างน้ำโดยอาศัยแรงดูดช่วย เมื่อกรองเสร็จแล้วใช้น้ำกลั่นล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด และรองจนกว่าจะแห้ง
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C จนกว่าจะแห้ง ใช้เวลา 1 ชั่วโมง
6. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองใหม่ สมมติเป็น B มิลลิกรัม

วิธีการคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย} = \frac{(B-A) \times 1,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ}}$$

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมอาหาร

1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ตามสูตรอาหาร ดังต่อไปนี้

Sodium lactate	3.5	กรัม
Beef extract	1.0	กรัม
Peptone	2.0	กรัม
Magnesium sulfate (MgSO ₄ •7H ₂ O)	2.0	กรัม
Sodium sulfate (Na ₂ SO ₄)	1.5	กรัม
Dipotassium phosphate (K ₂ HPO ₄)	0.5	กรัม

Ferrous ammonium sulfate ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0.392	กรัม
Calcium chloride (CaCl_2)	0.10	กรัม
Sodium ascorbate	0.10	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

1.2 แยกเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต และ โซเดียมแอสคอร์เบตออกไว้ก่อน โดยละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 3.92 กรัมต่อน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และโซเดียมแอสคอร์เบต 1.0 กรัมต่อน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วฝาเกลียว แล้วละลายส่วนประกอบต่างๆ ที่เหลือในน้ำกลั่น คนด้วยแท่งแก้วให้ส่วนประกอบของอาหารละลายโดยใช้ความร้อนช่วย ปรับปริมาตรให้ครบตามสูตร

1.3 วัดความเป็นกรดเป็นด่างด้วยกระดาษวัดพีเอช โดยความเป็นกรดเป็นด่างควรเป็น 7.5 ± 0.3 เมื่ออาหารเป็นกรดเป็นด่างมากเกินไปให้ปรับด้วย 0.1 นอร์มัล NaOH หรือ 0.1 นอร์มัล HCl

1.4 ในกรณีที่อาหารยังคงมีตะกอนหรือเศษผง นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง

1.5 กรอกใส่ขวดแก้ว นำอาหารที่เตรียมไว้แล้วทั้งหมดไปกำจัดเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ

1.6 ผสมอาหารส่วนที่แยกไว้เข้าด้วยกันกับอาหารส่วนอื่นๆ

2. การเจือจางตัวอย่าง

2.1 ปิเปตตัวอย่างน้ำ 11 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดเชื้อแล้ว 99 มิลลิลิตร จะให้ความเจือจาง 1:10 เขย่าให้เข้ากันดีประมาณ 25 ครั้ง

2.2 ใช้ปิเปตดูดเชื้อที่ทำเจือจาง 1:10 เพื่อทำความเจือจางที่จะนำมาใช้ กรณีการนับจำนวนแบคทีเรียมักใช้ความเจือจาง $1:10^4$, $1:10^5$, $1:10^6$ ตามลำดับ โดยปฏิบัติดังนี้

2.2.1 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10$ จำนวน 1 มิลลิกรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดเชื้อแล้ว 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^3$ เขย่าให้เข้ากันดี

2.2.2 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^3$ จำนวน 11 มิลลิกรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดเชื้อแล้ว 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^4$ เขย่าให้เข้ากันดี

2.2.3 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^3$ จำนวน 1 มิลลิกรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดเชื้อแล้ว 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^5$ เขย่าให้เข้ากันดี

2.2.4 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^4$ จำนวน 1 มิลลิกรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดเชื้อแล้ว 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^6$ เขย่าให้เข้ากันดี

3. การเทอาหารและผสมเชื้อในจานเพาะเชื้อ

3.1 หลอมอาหารแล้วทิ้งให้เย็นลงประมาณ 45 องศาเซลเซียส

3.2 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^4$, $1:10^5$ และ $1:10^6$ ความเจือจางละ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อความเจือจางละ 2 จาน

3.3 เทอาหารลงในจานเพาะเชื้อทั้งหมด แล้วหมุนจานตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนจานขึ้นลง 5 ครั้ง และเคลื่อนจานไปซ้ายขวาอีก 5 ครั้ง (shake plate) เพื่อให้เชื้อผสมและกระจายทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ วางไว้จนอาหารเย็นและอุ่นแข็งตัว

3.4 นำไปบ่มใน anaerobic jar โดยการกลับด้านล่างจานเพาะเชื้อไว้ข้างบน เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

4. การตรวจผล

การนับจำนวนโคโลนี ให้เลือกชุดจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีเจริญอยู่ประมาณ 30-300 โคโลนี จากความเจือจางเดียวทั้ง 2 จาน แล้วรวมจำนวนโคโลนีของทั้ง 2 จาน แล้วหารด้วย 2 จะเท่ากับจำนวนเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ต่อ 1 ความเจือจางต่อจาน

วิธีการคำนวณ

ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผลิตซัลไฟด์ = จำนวนเฉลี่ยของโคโลนี × ความเจือจาง

ตัวอย่างการคำนวณ

1.1 การคำนวณปริมาณซัลไฟด์ด้วยสมการ empirical model ในน้ำเสียชุมชนของการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 1

$$\begin{aligned}(\text{EBOD}) &= (\text{BOD}) \times 1.07^{(T-20)} \\ &= 325 \times 1.07^{(30-20)} \\ &= 639.32 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

เมื่อ	EBOD	=	effective BOD, มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD	=	standard BOD _s , มิลลิกรัม/ลิตร
	T	=	อุณหภูมิของน้ำเสีย, °C
	1.07	=	empirical factor

$$\begin{aligned}S_2 &= S_1 + (M) (t) [\text{EBOD} (D/4 + 1.57)] \\ &= 6 + (3 \times 10^{-4}) (0.435) [639.32 (3.33/4 + 1.57)] \\ &= 6 + 0.2004 \\ &= 6.2004 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

เมื่อ	S ₂	=	ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่ทำนายที่เวลา t ₂ , มิลลิกรัม/ลิตร
-------	----------------	---	---

- S_1 = ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่เวลา t_1 , มิลลิกรัม/ลิตร
 t = $t_2 - t_1$ = เวลาที่ไหลในท่อที่มีความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง และอัตราเร็วคงที่, ชั่วโมง
 M = ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงซัลไฟด์เฉพาะ (specific sulfide flux coefficient), เมตร/ชั่วโมง
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, ฟุต

M factor มีค่าเท่ากับ 1×10^{-3} เมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าทั่วไปสำหรับกรณีที่มีน้ำเสียอยู่เต็มท่อ และ M factor จะมีค่าเท่ากับ 3×10^{-4} เมตร/ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีน้ำเสียไม่เต็มท่อ

1.2 การทดสอบทางสถิติโดยใช้ t-test ของปริมาณซัลไฟด์ในจุดเก็บตัวอย่างที่ 2

1.2.1 ตั้งสมมติฐาน

$$H_0 : \mu = 4.78$$

$$H_1 : \mu \neq 4.78$$

1.2.2 ที่ระดับนัยสำคัญ .05

$$1.2.3 \text{ degree of freedom} = n-1 = 3-1 = 2$$

1.2.4 เปิดตาราง Student's t distribution ค่า $t_{\text{table}} = 4.303$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง } (\bar{X}) = 4.26$$

$$\text{ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง } (S) = 2.09$$

$$t_{\text{cal}} = -0.431$$

เนื่องจากค่า t_{cal} ตกอยู่ในช่วงที่ยอมรับสมมติฐาน H_0

ดังนั้นค่าที่ได้จากการคำนวณปริมาณซัลไฟด์ด้วยสมการจลนศาสตร์เคมีไม่แตกต่างกับค่าที่ได้จากการทดลองที่ระดับนัยสำคัญเป็น .05