



รายงานการวิจัย

การบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

Wastewater Treatment from Environmental Laboratory
by Fenton's Reaction

นุชนาฏ นิลออ Nutchanat Ninlaor
กนกรัตน์ รัตน์พันธุ์ Kanokrat Rattanapan

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทผลิตภัณฑ์อาหารกว้างไพศาล จำกัด มหาชน ที่ให้ความอนุเคราะห์
น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เพื่อใช้เป็นน้ำเสียสำหรับทำการศึกษาวิจัย
ขอขอบคุณนางสาวปริญฉัตร นิมลี และนางสาวเยาวลักษณ์ นกฐ์รัก ที่ช่วย เตรียมอุปกรณ์และทำ
การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้สนับสนุน
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2561 เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

นุชนาฏ นิลออ
กนกรัตน์ รัตนพันธุ์
กรกฎาคม 2562



การบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

นุชนาฏ นิลออ¹ และ กนกรัตน์ รัตนพันธุ์¹

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ทำการศึกษาโดยปรับพีเอช (pH) น้ำเสียให้มีค่าเท่ากับ 2 ใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต ที่ 1:1 2:1 3:1 4:1 และ 5:1 ที่เวลาการกวนผสม 10 20 30 40 50 และ 60 นาที จากนั้นเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดไปใช้ในการศึกษาน้ำเสียที่มีค่า พีเอชเท่ากับ 3 และ 4 ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย คือพีเอช (pH) เท่ากับ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 และเวลาในการกวนผสมที่ 20 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) เท่ากับร้อยละ 94.05 46.03 และ 10.28 ตามลำดับ โดยการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟนตัน จะทำให้เกิดการแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\cdot\text{OH}$) ซึ่งจะไปช่วยเหนี่ยวนำในการกำจัดสารอินทรีย์ส่งผลให้สามารถบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการได้

คำสำคัญ : น้ำเสีย ห้องปฏิบัติการ ปฏิกิริยาเฟนตัน ไฮดรอกซิลเรดิคัล

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง

Wastewater Treatment from Environmental Laboratory by Fenton's Reaction

Nutchanat Ninlaor¹ and Kanokrat Rattanapan¹

ABSTRACT

The aims of this research was to study the efficiency of wastewater treatment from environmental laboratory by the Fenton method. The pH of wastewater was adjusted to 2 and the molar ratio of H_2O_2 : FeSO_4 was 1:1 2:1 3:1 4:1 and 5:1. The reaction time was 10 20 30 40 50 and 60 minutes. The suitable selected optimum condition were chose to further study of wastewater at pH 3 and 4. The results showed that the optimum condition of pH for wastewater treatment was 2 at the molar ratio of H_2O_2 : FeSO_4 was 3:1 as well as the optimal reaction time was 20 minutes. The removal efficiencies of COD, TSS and TDS were 94.05% 46.03% and 10.28%, respectively. It is indicated that hydroxyl radicals are occurred by Fenton's reactions and they are induced the removal of organic substances resulting in the treatment of wastewater from laboratory.

Keywords : Wastewater, Laboratory, Fenton's Reaction, Hydroxyl free radical

¹Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology
Srivijaya, Sikao, Trang.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	19
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	23
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	34
บรรณานุกรม.....	36
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟนตัน.....	39
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	50
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการศึกษา.....	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 : มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข.....	15
ตารางที่ 2.1 : อัตราส่วน และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสมในการบำบัดน้ำเสียด้วย กระบวนการเฟ้นต้น.....	21
ตารางที่ 2.2 : พารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	21
ตารางที่ 3.1 : คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม.....	23
ตารางที่ 4.1 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS).....	34
ตารางผนวกที่ ก1 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 10 นาที.....	40
ตารางผนวกที่ ก2 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 20 นาที.....	40
ตารางผนวกที่ ก3 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 30 นาที.....	41
ตารางผนวกที่ ก4 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 40 นาที.....	41
ตารางผนวกที่ ก5 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 50 นาที.....	42
ตารางผนวกที่ ก6 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 60 นาที.....	42
ตารางผนวกที่ ก7 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 10 นาที.....	43
ตารางผนวกที่ ก8 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 20 นาที.....	43
ตารางผนวกที่ ก9 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 30 นาที.....	44
ตารางผนวกที่ ก10: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 40 นาที.....	44
ตารางผนวกที่ ก11: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 50 นาที.....	45
ตารางผนวกที่ ก12: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 60 นาที.....	45
ตารางผนวกที่ ก13: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา 10 นาที.....	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางผนวกที่ ก14: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา 20 นาที.....	46
ตารางผนวกที่ ก15: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา 30 นาที.....	47
ตารางผนวกที่ ก16: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา 40 นาที.....	47
ตารางผนวกที่ ก17: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา 50 นาที.....	48
ตารางผนวกที่ ก18: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา 60 นาที.....	48
ตารางผนวกที่ ก19: ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่พีเอช (pH) ต่างๆ เวลา 20 นาที	49
ตารางผนวกที่ ก20: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่พีเอช (pH) ต่างๆ เวลา 20 นาที	49
ตารางผนวกที่ ก21: ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่พีเอช (pH) ต่างๆ เวลา 20 นาที	49
ตารางผนวกที่ ข1 : ขนาดตัวอย่างและอัตราการเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD).....	56
ตารางผนวกที่ ข2 : ขนาดหลอดแก้ว ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีที่เหมาะสม.....	56

สารบัญญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 : การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่แตกต่างกัน.....	24
ภาพที่ 3.2 : ลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน.....	24
ภาพที่ 3.3 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน.....	25
ภาพที่ 3.4 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงสุดที่แต่ละเวลาการกวนผสม.....	27
ภาพที่ 3.5 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตและเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน.....	28
ภาพที่ 3.6 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) สูงสุดที่แต่ละเวลาการกวนผสม.....	29
ภาพที่ 3.7 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตและเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน.....	31
ภาพที่ 3.8 : ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) สูงสุดที่แต่ละเวลาการกวนผสม.....	32
ภาพที่ 3.9 : ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 2 3 และ 4.....	33
ภาพผนวกที่ ค1 : ตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ.....	59
ภาพผนวกที่ ค2 : ลักษณะของน้ำเสีย.....	59
ภาพผนวกที่ ค3 : การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 2.....	60
ภาพผนวกที่ ค4 : การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 3.....	60
ภาพผนวกที่ ค5 : การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 4.....	61
ภาพผนวกที่ ค6 : การวิเคราะห์ซีโอดี (COD).....	61
ภาพผนวกที่ ค7 : การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS).....	62
ภาพผนวกที่ ค8 : การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS).....	62

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง สาเหตุเกิดจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวของชุมชนเมือง และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ปัญหาเหล่านี้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในด้านมลพิษทางน้ำที่เกิดจากแหล่งชุมชน โดยมาจากกิจกรรมสำหรับการดำรงชีวิต เช่น อาคารบ้านเรือน ตลาดสด โรงพยาบาล น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงาน การล้างอุปกรณ์เครื่องมือรวมทั้งน้ำหล่อเย็นที่มีความร้อนสูง และน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมจำพวกสารเคมีที่เป็นพิษและโลหะหนักต่างๆ (สำนักงานสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม, 2553) ด้านเกษตรกรรมจะเกิดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด การเพาะปลูก น้ำเสียจากเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ยที่นำมาใช้ โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากแหล่งต่างๆ มักจะไม่มี การบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง ซึ่งทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศที่ดำรงชีวิตอยู่ในแหล่งน้ำ

ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการทดสอบโดยใช้สารเคมีต่างๆ การล้างเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งน้ำที่ใช้ในการเจือจางสารเคมีที่เหลือใช้ซึ่งถูกทิ้งลงในท่อระบายน้ำ ทำให้น้ำที่ออกจากห้องปฏิบัติการมีการปนเปื้อนของสารเคมีจำนวนมาก ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) เอทานอล (Ethanol) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เช่น โทลูอิน (Toluene) สารกลุ่มแอลกอฮอล์ (Alcohol) และฟีนอล (Phenol) เป็นต้น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะมีความเป็นพิษในลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของความเข้มข้นของสารและการสัมผัสสาร ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่มตัวทำละลายอินทรีย์จะออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลาง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะมีฤทธิ์กดประสาทส่วนกลาง ทำให้ปวดศีรษะอย่างรุนแรง สารกลุ่มแอลกอฮอล์และฟีนอลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และสารโลหะหนักเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและสัตว์ ทำให้เจ็บป่วยและตายได้ หากได้รับสารเหล่านั้นในปริมาณที่มากพอ จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโครโมโซม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (เฉลิม และคณะ, 2555) ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมซึ่งมีการปนเปื้อนของสารเคมี จึงควรมีการบำบัดเบื้องต้นก่อนปล่อยออกสู่ภายนอกเพื่อลดความเข้มข้นของสารเคมีให้น้อยลง

การบำบัดน้ำเสีย เป็นการกำจัดหรือทำลายสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียให้น้อยลงหรือหมดไปโดยมี 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งกระบวนการเฟ้นต้น เป็นการบำบัดน้ำเสียวิธีหนึ่งโดยใช้กระบวนการทางเคมี เป็นกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Process) ในสถานะที่เป็นกรดซึ่งประกอบด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+})

ผสมกัน และให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\cdot\text{OH}$) ซึ่งข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน คือ มีความสามารถในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ไม่เฉพาะเจาะจง และสามารถลดความเป็นพิษของสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาเรื่องการบำบัดน้ำเสียของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ด้วยกระบวนการเฟนตัน โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะบำบัดซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ผลจากการศึกษาในครั้งนี้คาดว่า สามารถลดความเป็นพิษของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้กับห้องปฏิบัติการอื่นๆ ได้อีกด้วย

1.2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ ตัวอย่างเช่น การใช้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ได้แก่ การอุปโภคและบริโภค การประกอบอาหาร การชำระล้างร่างกาย การใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ การล้างวัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ การหล่อเย็น ซึ่งทำให้น้ำดังกล่าวมีลักษณะสมบัติต่างไปจากเดิมเนื่องจากการปนเปื้อนสิ่งสกปรก และชนิดของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากน้ำนั้น (สันทนต์, 2549)

1.2.2 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ สามารถแบ่งออกได้ 6 ประเภท ดังนี้

1.2.2.1 แหล่งชุมชน ได้แก่ บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน สำนักงาน และมหาวิทยาลัย น้ำทิ้งจากสถานที่ดังกล่าวจะมีสารมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นเศษอาหาร ของเสีย สารที่ใช้ซักฟอกปะปนมา โดยเฉพาะน้ำเสียที่มาจากมหาวิทยาลัยจะเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารเคมีโดยตรง ที่เกิดจากการล้างอุปกรณ์เครื่องแก้ว สารเคมีที่เหลือจากการทดลอง

1.2.2.2 แหล่งอุตสาหกรรม เช่น โรงน้ำปลา โรงน้ำตาล โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานกระดาษ โรงงานผลิตสี โรงงานฟอกหนัง และเหมืองแร่ แหล่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ ก่อให้เกิดน้ำเน่า นอกจากนี้ยังอาจปล่อยโลหะเป็นพิษและสารประกอบที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่วปรอท สารหนู แคดเมียม และไซยาไนด์ลงน้ำอีกด้วย

1.2.2.3 แหล่งเกษตรกรรม เนื่องจากเกษตรกรใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืชมากขึ้นเป็นลำดับ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชรวมทั้งมูลสัตว์ จะถูกชะไหลลงสู่แหล่งน้ำ จึงเกิดการสะสมสารดังกล่าวในแหล่งน้ำมากขึ้น ในที่สุดจะเกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ขึ้น และเกิดการสะสมสารพิษที่เป็นโลหะหนักในแหล่งน้ำ จึงเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ในน้ำ

1.2.2.4 น้ำเสียจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากการที่มีการนำขยะมูลฝอยไปกองทิ้งอย่างไม่ถูกวิธี ทำให้เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่สำคัญอีกแห่งหนึ่ง เนื่องจากขยะมูลฝอยประกอบด้วยเศษอาหารและของเน่าเสีย เมื่อฝนตกชะลงมาทำให้น้ำเสียไหลปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้ด้วย

1.2.2.5 แหล่งคมนาควทางเรือ เป็นแหล่งมลพิษทางน้ำที่สำคัญแห่งหนึ่งแต่ มักจะถูกมองข้ามไป สารมลพิษจากแหล่งนี้ คือ น้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักรกลของเรือจะเล็ดลอดลงในน้ำ เมื่อเรือขนส่งกระจายเข้าไปอยู่ในแหล่งน้ำ เกิดคราบน้ำมันปกคลุมผิวน้ำเป็นบริเวณกว้างมาก คลื่นจะซัดคราบน้ำมันเข้าหาฝั่งทะเล ก่อความสกปรกและการขาดออกซิเจนในบริเวณนั้น ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตล้มตาย

1.2.2.6 น้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำเสียที่เกิดจากขบวนการคมนาควขนส่ง การบริการ การก่อสร้างและการรื้อถอน การพาณิชย์ การล้างถนน อาคาร รถยนต์ และน้ำเสียจากกิจกรรมประมง เป็นต้น (ภิญโญ, 2560)

1.2.3 ลักษณะของน้ำเสีย

1.2.3.1 ลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics of Wastewater)

ลักษณะทางกายภาพ หมายถึง ลักษณะของมลพิษทางน้ำที่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้ามีดัชนีบ่งบอกลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่

1) อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงและโดยอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่นและสภาพแวดล้อมทั่วไปของแหล่งน้ำ สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิจะแปรผันในช่วง 20-30 องศาเซลเซียส การปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงลงสู่แหล่งน้ำหรือน้ำจากระบบหล่อเย็นจะทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงกว่าระดับปกติตามธรรมชาติ ซึ่งมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำและระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้ อุณหภูมิของน้ำยังมีผลต่อสภาพแวดล้อมทางเคมี เช่น ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ในน้ำลดลง ในขณะที่เดียวกันกระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism) และการทำงานของพวกจุลินทรีย์ต่างๆ ในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความต้องการปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูงขึ้น จึงอาจเกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบทางอ้อม เช่น อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นจะทำให้พิษของสารพิษต่าง ๆ มีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยเร่งการดูดซึมการแพร่กระจายของพิษสู่ร่างกายได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามสารพิษบางชนิดจะมีพิษลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิไปทำปฏิกิริยาย่อยสลายและกำจัดสารพิษออกนอก

ร่างกายได้เร็วกว่าปกติ นอกจากนี้ยังทำให้ความต้านทานโรคของสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงไป เชื้อโรคบางชนิดสามารถแพร่กระจายได้ดีในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

2) สี (Color) โรงงานหลายแห่งมักปล่อยน้ำเสียที่มีสีออกจากกระบวนการผลิต สีเหล่านี้บางชนิดเป็นพิษ จึงเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม จำแนกได้ 2 ประเภท

(ก) สีจริง (True Color) เป็นสีของน้ำที่เกิดจากสารละลายชนิดต่าง ๆ อาจจะเป็นสารละลายจากพวกอนินทรีย์สาร หรือพวกอินทรีย์สารซึ่งทำให้เกิดสีของน้ำสีจริง ไม่สามารถแยกออกได้โดยการตกตะกอนและการกรอง

(ข) สีปรากฏ (Apparent Color) เป็นสีของน้ำที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน ส่วนใหญ่เกิดจากตะกอนของน้ำ สารแขวนลอย เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมในน้ำก็เป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดสีของน้ำได้

3) ปริมาณของแข็ง (Solids) จะประกอบด้วย ของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) และของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Undissolved Solids) ซึ่งของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ จะแบ่งเป็นของแข็งที่แขวนลอย (Suspended Solids) และของแข็งที่จมตัว (Settleable Solids) ซึ่งตะกอนจะเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้แสงส่องลงไปใต้น้ำไม่ได้ และตะกอนยังทับถมที่ก้นน้ำอาจเกิดสันดอน

4) ความร้อน (Heat) น้ำร้อนเมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการแบ่งชั้นของน้ำ ปลาหรือสัตว์น้ำต่างๆ ซึ่งมีความไวต่ออุณหภูมิของน้ำจะหนีลงสู่ด้านล่าง ซึ่งพบว่าออกซิเจนละลายน้ำจะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น และการละลายของออกซิเจนจะลดลงเมื่อระดับน้ำลึกมากขึ้น ทำให้ปลาหายใจไม่ออก ปลาจึงมีชีวิตรอดอยู่ไม่ได้

5) ความขุ่น (Turbidity) ความขุ่นของน้ำแสดงให้เห็นว่ามีสารแขวนลอยอยู่มากน้อยเพียงใด สารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น ดินละเอียด อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แผลงก่ตอน และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ สารเหล่านี้จะกระจายและขัดขวางไม่ให้แสงส่องลงไปใต้ลึก โดยสารเหล่านี้จะดูดซับแสงไว้

6) กลิ่น (Odor) กลิ่นจากน้ำเสียส่วนมากมาจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก๊าซส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน

7) รส (Flavor) น้ำสะอาดตามธรรมชาติจะไม่มีรส การที่น้ำมีรสผิดไปเนื่องจากมีสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ปะปนอยู่ เช่น น้ำที่มีรสกร่อย ทั้งนี้เนื่องจากมีเกลือคลอไรด์ละลายอยู่ในน้ำนั้นในปริมาณสูง

1.2.3.2 ลักษณะทางเคมี (Chemical Characteristics of Wastewater)

ลักษณะทางเคมี หมายถึง ลักษณะของมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการที่น้ำมีสารเคมีเจือปนจนทำให้เกิดสภาวะทางเคมีขึ้นในน้ำ มีดัชนีบ่งบอกลักษณะทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่

1) การนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นลักษณะของน้ำที่บ่งบอกถึงความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่มีประจุไฟฟ้าในน้ำ การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายน้ำเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีสารที่แตกตัวในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง การนำไฟฟ้านิยามวัดออกมาในรูปอัตราส่วนของความต้านทาน โดยหน่วยเป็น Microsiemen อุณหภูมิจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออน อุณหภูมิสูง ค่าการแตกตัวจะมากขึ้น การนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ น้ำที่มีสภาพเป็นกรดจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 7 และน้ำที่เป็นด่างจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 7 น้ำตามธรรมชาติจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.5 - 8.5 ซึ่งความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่าง ขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะของพื้นดินและหิน ปริมาณน้ำฝนตลอดจนการใช้ที่ดินในบริเวณแหล่งน้ำ ระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่างของดินด้วย นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์ และแพลงก์ตอนพืช ก็สามารถทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย

3) ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งออกซิเจนจะมีความสำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของน้ำและความกดดันของบรรยากาศในฤดูร้อนปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลงเพราะว่าอุณหภูมิสูง ขณะเดียวกันการย่อยสลายและปฏิกิริยาต่าง ๆ จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการของออกซิเจนเพื่อไปใช้กิจกรรมเหล่านั้นสูงไปด้วย ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีออกซิเจนละลายอยู่ระหว่าง 5 - 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่นิยมใช้กันมากในการแสดงถึงความสกปรกมากน้อยเพียงใดของน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานต่างๆ สามารถใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์และใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย การวัดค่าของบีโอดี สามารถใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำในแม่น้ำลำคลองอีกด้วย

5) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำ โดยใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์ได้สูง เช่น โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในสภาพสารละลายที่เป็นกรด สารอินทรีย์ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้หรือไม่ได้จะถูกออกซิไดซ์หมด ค่าซีโอดีมักจะมากกว่าค่าบีโอดีอยู่เสมอ สำหรับข้อดีของการหาค่าซีโอดี คือใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย สามารถหาค่าได้เลยในห้องปฏิบัติการ แต่สำหรับค่าบีโอดีต้องใช้เวลาถึง 5 วัน จึงจะทราบผล

1.2.3.3 ลักษณะทางชีววิทยา (Biological Characteristics of Wastewater)

คือ ลักษณะของมลพิษทางน้ำที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งปะปนในน้ำ และเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์น้ำได้ ดัชนีบ่งบอกลักษณะทางชีวภาพ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช-สัตว์ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคติดต่อทางน้ำและอาหาร เชื้อไวรัส เชื้อรา และจำพวกหนอนพยาธิต่าง ๆ น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากบางสถานที่อาจมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก เช่น โรงฆ่าสัตว์ โรงพยาบาล นาุ้ง มีทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และไม่ก่อให้เกิดโรคปะปน (สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน, 2541)

1.2.4 ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.4.1 กระทบต่อวงจรชีวิตของสัตว์น้ำ เช่น น้ำเสียที่เกิดจากสารพิษอาจทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตตายทันที ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง อาจทำลายพืชและสัตว์น้ำเล็กๆ ที่เป็นอาหารของปลา ทำให้ความอุดมสมบูรณ์หรือแหล่งอาหารของสัตว์น้ำลดลง

1.2.4.2 เป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อโรค เช่น อหิวาตกโรค บิด และท้องเสีย

1.2.4.3 มีผลกระทบต่อการเพาะปลูก เพราะน้ำเสียที่มีความเป็นกรดและด่างจะไม่เหมาะสมสำหรับการเกษตร

1.2.4.4 มีผลกระทบต่อทัศนียภาพ เพราะความสวยงามของแหล่งน้ำสามารถใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือจัดกิจกรรมทางน้ำเพื่อความบันเทิงได้

1.2.4.5 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ เช่น มีกลิ่นเหม็นจากน้ำเน่าเสีย (บริษัท ลูกซ์ รอยัล, 2558)

1.2.5 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น

ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ได้ดังนี้

1.2.5.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Process) คือ การบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณร้อยละ 50-60 และสามารถแยกความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (BOD_5) ประมาณร้อยละ 20-30 เท่านั้น สำหรับกระบวนการบำบัดทางกายภาพมีหลายวิธี ดังนี้

1) การดักด้วยตะแกรง (Screen) ตะแกรงมีไว้ใช้ในการดักเศษขยะต่างๆ จากน้ำเสีย เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ เศษพลาสติก ฯลฯ มีประโยชน์มากต่อการช่วยเสริมประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียและป้องกันการเสียหายที่มีต่อเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องเติมอากาศ เป็นต้น ตะแกรงมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด ซึ่งมีช่องว่างตั้งแต่ 25 มิลลิเมตร ขึ้นไป และมีอยู่ระหว่าง 2 ถึง 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2) การบดตัด (Comminution) เครื่องบดตัดมีหน้าที่บดตัดเศษขยะที่ไหลมากับน้ำเสีย เพื่อให้เศษขยะมีขนาดเล็ก ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับฟันของคนที่ทำการบดเคี้ยวอาหารให้เล็กลง เพื่อช่วยในการย่อยอาหารได้ง่ายขึ้น

3) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) ตะกอนหนัก คือ พวกกรวด หินทราย หรือตะกอนต่าง ๆ ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ตะกอนหนักดังกล่าวนี้จำเป็นต้องถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ และการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

4) การกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease Removal) น้ำมันและไขมันจะพบมากในน้ำทิ้งจากร้านอาหารทั่วไป สถานีจำหน่ายน้ำมัน อู่ซ่อมรถยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่มีไขมัน สำหรับระบบกำจัดไขมันหรือน้ำมันแบบที่นิยมใช้เป็นถังที่มีแผ่นขวางอยู่ในบ่อเพื่อดักไขมันไว้ให้ได้ปริมาณมาก หลักการออกแบบถังดักไขมัน คือ ต้องมีขนาดพื้นที่ผิวของถังเพียงพอกับปริมาณไขมันที่จะลอยขึ้นมา ความเร็วของน้ำไหลภายในถังต้องต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทางออกต้องไม่ทำให้พวกไขมันหลุดลอยออกไปได้ และถ้าเป็นถังดักไขมันที่ใช้คนเก็บกวาดขึ้นมาต้องหมั่นคอยเก็บขึ้นมาให้หมดทุกวัน

1.2.5.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical Process) เป็นวิธีการที่มีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด-ด่างสูงที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปเพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ

1) การทำให้เกิดตะกอน (Precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนลอยจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน โดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่างๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) เกลือเหล็ก ($FeCl_3$, $FeSO_4$) และเกลือของแคลเซียม ($Ca(OH)_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นเป็นสารประกอบของกลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes

2) การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) อาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอมให้แก่สารเคมีที่เติมลงไป ในน้ำเสีย โดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe^{2+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe^{3+} ซึ่งมีพิษน้อย ด้วยคลอรีน ดังสมการที่ 1



3) การเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical Reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษมากไปเป็นสารพิษที่มีอันตรายน้อยลง อะตอมหรือไอออนของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+} ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ในสภาพที่เป็นกรด ดังสมการที่ 2



4) การสะเทิน (Neutralization) เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH = 7) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (pH < 7) ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียมีฤทธิ์เป็นด่าง (pH > 7) ให้มีค่า pH ต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

1.2.5.3 กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Biodegradable Organic Compound) โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและสารตั้งต้นในกระบวนการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ (New Cell) และได้ผลผลิตเป็น

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำ (H₂O) และสารตกค้างซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Non Biodegradable Residual) (ปราโมช และคณะ, 2548) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Biological Treatment System) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องอาศัยออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) หรือออกซิเจนอิสระในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่

(ก) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

(ข) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางลักษณะทรงกระบอกซึ่งวางจุ่มอยู่ในถังบำบัด ตัวกลางทรงกระบอกนี้จะหมุนอย่างช้าๆ เมื่อหมุนขึ้นพ้นน้ำและสัมผัสอากาศ จุลินทรีย์ที่อาศัยติดอยู่กับตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สัมผัสตัวกลางขึ้นมา และเมื่อหมุนจมลงก็จะนำน้ำเสียขึ้นมาบำบัดใหม่ สลับกันเช่นนี้ตลอดเวลา

(ค) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่บนผิวตัวกลาง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านชั้นของตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่บนตัวกลางจะใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำที่ผ่านระบบจะถูกส่งไปเข้าถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อแยกสลัดจ์ (Sludge) ออกให้ได้น้ำทิ้งที่สามารถระบายทิ้งได้ องค์ประกอบที่สำคัญของระบบโปรยกรอง คือ ระบบกระจายน้ำเข้า (Distribution System) ตัวกรอง (Filter Media) และระบบระบายน้ำทิ้ง (Underdrain System) โดยที่ระบบกระจายน้ำเข้า มีหน้าที่ทำให้พื้นที่ภาคตัดขวางของฟิลเตอร์ (Filter) ได้รับความเสียเท่ากันทุกส่วน วัสดุตัวกลางซึ่งอาจเป็นหิน หรือพลาสติกจะใช้เป็นที่เจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ระบบระบายน้ำซึ่งอยู่ตอนล่างของฟิลเตอร์ มีหน้าที่รับน้ำเสียที่ไหลผ่านวัสดุตัวกลาง และระบายอากาศให้กับฟิลเตอร์

2) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Biological Treatment System) ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic เป็นวิธีที่ไม่ต้องเติมออกซิเจนหรือนิยมเรียกว่าระบบไร้ออกซิเจนหรือถังหมัก ระบบนี้เริ่มนิยมใช้กันแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศและยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH₄) เมื่อ

สมัยก่อนเข้าใจกันว่าระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic จำเป็นต้องมีน้ำเสียที่สกปรกมาก (BOD สูง) แต่ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกริยาขึ้นมาเรื่อยๆ จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มี BOD ต่ำ เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2554)

(ก) บ่อหมัก (Cesspool) เป็นบ่อหมักไร้อากาศหรือบ่อบำบัดน้ำเสียที่เก่าแก่ที่สุดที่ใช้กันมากในชุมชน มีลักษณะเป็นบ่อขุดขนาดเล็กเพื่อให้น้ำเสียไหลไปอยู่ในบ่อ และกักเก็บไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของตะกอน และเกิดปฏิกริยาย่อยสลาย (Hydrolysis) สารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ๆ และสารอินทรีย์ที่เกิดการย่อยสลาย และละลายอยู่ในน้ำเสียซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กลงก็จะซึมผ่านผนังบ่อผ่านลงในดินรอบ ๆ ถังปฏิกริยา (สันทัด, 2549)

(ข) ถังเกรอะ (Septic Tank) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดอยู่กับที่ สำหรับบำบัดน้ำเสียจากอาคาร บ้านเรือน เป็นถังสี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอกสองถังติดกัน มีท่อเปิดที่ผนังส่วนที่ติดกันสำหรับให้น้ำเสียไหลผ่านจากถังหนึ่งไปยังอีกถังหนึ่งได้ ถังนี้จะถูกฝังอยู่ใต้ดิน ทำหน้าที่แยกของแข็งออกจากของเหลว สำหรับถังแรกทำหน้าที่คล้ายถังตกตะกอน ถังหมัก และถังเก็บกากตะกอน ส่วนถังที่สองทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอน โดยช่วยตกตะกอนส่วนที่เหลือจากถังแรก เพื่อไม่ให้ตะกอนส่วนที่เหลือไหลออกไปนอกถัง ถังเกรอะส่วนใหญ่จะออกแบบให้เก็บกักน้ำเสียได้นานประมาณ 24 ชั่วโมง ตะกอนที่ตกลงกันถึงจะถูกจุลินทรีย์ที่ปนมากับน้ำเสียย่อยสลายไปเรื่อยๆ เป็นปฏิกริยาย่อยสลายที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนทำให้ได้ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ถังเกรอะจึงต้องมีท่อระบายอากาศด้วย ส่วนน้ำเสียที่ผ่านถังเกรอะแล้วอาจยังมีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้ ไม่ควรปล่อยออกสู่ท่อระบายน้ำโดยตรง แต่ควรให้ซึมผ่านดินเอง ส่วนตะกอนที่ตกอยู่ในบ่อจะต้องสูบไปบำบัดต่อราว 2-3 ปีต่อครั้ง (บริษัท กรีน วอเตอร์ ทรีท จำกัด, 2560)

(ค) บ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Lagoon) เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบง่ายที่สุด อาศัยธรรมชาติมากที่สุด ไม่ได้อาศัยเครื่องจักร เทียบได้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งหรือบ่อเขียว (Oxidation Pond) ที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศ จะเป็นบ่อลึกและมีขนาดเล็กกว่าบ่อฝิ่ง 10 - 30 เท่า (สันทัด, 2549)

1.2.5.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physical-Chemical Process) เป็นกระบวนการที่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากกว่ากระบวนการที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการในขั้นตอนอื่นแล้ว เช่น

- 1) การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption) วิธีการนี้ใช้ผงถ่านหรือคาร์บอนเป็นตัวดูดซับสารเจือปนที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง
- 2) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) วิธีการนี้จะอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารปนเปื้อนในน้ำเสียกับตัวกลางที่บรรจุ ซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (ภิญโญ, 2560)

1.2.6 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

เป็นวิธีการที่ทำให้คุณภาพน้ำเสียดีขึ้นจนถึงระดับที่สามารถจะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำนั้น หรือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1.2.6.1 การบำบัดขั้นเตรียมการ (Preliminary Treatment) เป็นขั้นตอนการแยกสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่ ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำ เช่น การใช้ตะแกรง (Screens)

1.2.6.2 การบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) น้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนจากข้อที่ 1.2.6.1 แล้ว จะถูกนำมาตกตะกอนในถังตกตะกอน ซึ่งเรียกว่า Primary Sludge การบำบัดในขั้นนี้ จะลดค่าบีโอดี (BOD) ได้ประมาณร้อยละ 25-40 แล้วแต่คุณลักษณะของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของถังตกตะกอน

1.2.6.3 การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) น้ำเสียจากข้อ 1.2.6.2 จะถูกนำไปสู่ถังเติมอากาศซึ่งจะมีการเติมอากาศให้แก่แบคทีเรียโดยใช้เครื่องเติมอากาศ แบคทีเรียช่วยย่อยสลายและกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดี (BOD) ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์

1.2.6.4 การบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) หรือการบำบัดขั้นสูงสุด ส่วนใหญ่จะเป็นการตกตะกอนสารแขวนลอย โดยการสร้างรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation) หรือการตกตะกอนของแข็งที่ละลายน้ำ การดูดซับสารปนเปื้อนบางชนิด สี กลิ่น ด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) การแลกเปลี่ยนไอออนน้ำเสีย การกรองสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กด้วยการกรองขั้นสูง เป็นต้น (สันทัด, 2549)

1.2.7 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

ห้องปฏิบัติการเป็นสถานที่ที่มีสารเคมีและสารอันตรายอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น สารก่อมะเร็ง สารกัมมันตภาพรังสี และเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคลงสู่สิ่งแวดล้อม (บุษยา และ อมรรรัตน์, 2560) โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการมีสภาพความเป็นกรด-ด่าง และความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับกระบวนการสอนที่ใช้สารเคมีต่างๆ และการล้างอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ โดยในการทดลองแต่ละครั้งจะมีส่วนประกอบทั้งของแข็งและของเหลวที่มักปะปนอยู่กับน้ำเสีย ซึ่งของแข็งที่ได้จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ลักษณะของน้ำเสียที่มาจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม เช่น

1.2.7.1 สารละลาย เนื่องจากในห้องปฏิบัติการจะใช้สารเคมีในการทดลองปริมาณมาก เช่น กรดแก่ ด่างแก่ ตัวทำละลาย สารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ เป็นต้น รวมทั้งน้ำที่ใช้ล้างอุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ ซึ่งน้ำเสียที่เกิดจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ

1.2.7.2 ของแข็งแขวนลอย เกิดจากการตกตะกอนของสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำและเกิดจากของแข็งที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่าตะแกรงดักจับสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย

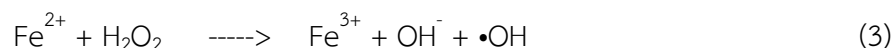
1.2.7.3 สีของน้ำ เกิดจากการปนเปื้อนของสารต่างๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ หรือเกิดจากการผสมสารเคมีในการทดลอง บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และการใช้อินดิเคเตอร์ (Indicator) ในการทดลอง

1.2.7.4 พิษของสารเคมี ความสามารถของสารเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายกับสิ่งมีชีวิตเมื่อได้รับสารเคมีที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีที่เป็นอันตราย มีปริมาณเพียงพอที่ก่อให้เกิดพิษ จากการได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลาที่เพียงพอต่อการเกิดพิษ และมีทางเข้าสู่ร่างกายแพร่ไปถึงอวัยวะ เนื้อเยื่อที่ไวต่อการเกิดพิษ และในการทดลองที่ใช้สารเคมีผู้ทำการทดลองจะมีโอกาสโดยตรงในการได้รับพิษต่างๆ ที่มาจากการทดลองและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีสารพิษปนเปื้อน เช่น สารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี โครเมียม นิเกิล แมงกานีส เป็นต้น (อาสา, 2547)

1.2.8 กระบวนการเฟนตัน

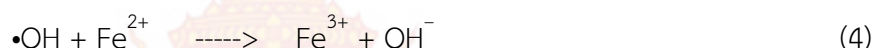
กระบวนการเฟนตันเป็นวิธีการหนึ่งของกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced Oxidation Processes, AOPs) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีที่มีสถานะเป็นกรด มีการบำบัดน้ำเสียในลักษณะของการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม เช่น ฟีนอล (Phenol) เฮกเซน (Hexane) เอทานอล (Ethanol) โดยเติมสารอินทรีย์ลงไปให้เกิดปฏิกิริยาของไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl Radical, $\bullet\text{OH}$) ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการเฟนตันถูกค้นพบโดย H.J.H. Fenton ในปี 1876 โดย Fenton พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มีลักษณะเฉพาะและสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสารเคมีที่เป็นพิษได้โดยการออกซิไดซ์ระหว่างเฟอร์รัสไอออนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไอออนบวกของเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยอาศัยอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($\bullet\text{OH}$) ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาเป็นตัวกลางสำคัญ กระบวนการนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารพิษประเภทสารประกอบอินทรีย์ปะปน เช่น ฟีนอล สารประกอบอะโรมาติกหรือสารเคมีที่มาจากวัสดุสีย้อม ยาฆ่าแมลง สารกันบูด พลาสติก ยาง เป็นต้น กระบวนการเฟนตันที่ประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย จะช่วยลดค่าบีโอดี ค่าซีโอดี กลิ่น สี รวมทั้งช่วยในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

1.2.8.1 ปฏิกริยาเฟนตัน เป็นปฏิกริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งจะสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl Radical, $\bullet\text{OH}$) ดังสมการที่ (3)



เมื่อปฏิกริยาที่ (3) เกิดขึ้นในน้ำเสีย ซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์หลายๆ ประเภท พลังงานของการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเริ่มแรกที่อนุมูลไฮดรอกซิล สามารถที่จะเหนี่ยวนำให้มีการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ได้

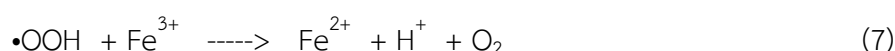
ปฏิกริยาต่อมาก็คืออนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกริยากับไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) แล้วให้ไอออนของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ดังสมการที่ (4)



หรือในเวลาเดียวกันอนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกริยาออกซิเดชันกับสารประกอบอินทรีย์ในสารละลาย ดังสมการที่ (5)



ต่อมาปฏิกริยาจะมีการทำซ้ำโดยไอออนเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะช่วยเร่งให้มีการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็นก๊าซออกซิเจน และอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิล โดยที่ความเข้มข้นของไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงเรื่อยๆ ดังสมการที่ (6) และ (7)



อนุมูลไฮดรอกซิลเป็นตัวออกซิไดส์ที่อ่อน (ระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเปอร์แมงกาเนต) แต่มีความสำคัญในกระบวนการเกิดไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) โดยเมื่อทำปฏิกริยา

กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้อนุมูลไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลไฮดรอกซิลจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์และให้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (จิราวรรณ, 2553)

1.2.8.2 การใช้ประโยชน์ของปฏิกิริยาเฟนตัน (Fenton's Reagent) คือ การสลายสารมลพิษด้วยการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl Radical) ซึ่งเป็นเรดิคัลที่แข็งแกร่ง เข้าทำปฏิกิริยากับสารเป้าหมายโดยไม่เลือกชนิดของสารเป้าหมาย ในการเข้าทำปฏิกิริยา โดยการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันออกซิเดชัน (Fenton Oxidation) จะดำเนินการร่วมกับปฏิกิริยาอื่นๆ อีกหลายปฏิกิริยา ซึ่งมีลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน คือ มีความสามารถในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ไม่เฉพาะเจาะจง ลดความเป็นพิษของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ (สุชนม์ และคณะ, 2554)

1.2.9 กฎหมายเกี่ยวกับการระบายน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งที่เกิดจากห้องปฏิบัติการภายในอาคารของสถาบันศึกษา เป็นน้ำทิ้งที่ต้องมีการบำบัดให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยกฎหมายที่ใช้ในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ดังนี้

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2535

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“อาคาร” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้น ไม่ว่าจะมึลักษณะเป็นอาคารหลังเดียว หรือเป็นกลุ่มของอาคารซึ่งตั้งอยู่ภายในพื้นที่ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกัน และไม่ว่าจะมีท่อระบายน้ำท่อเดียว หรือมีหลายท่อที่เชื่อมติดต่อกันระหว่างอาคารหรือไม่ก็ตาม

“น้ำทิ้ง” หมายความว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข.

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน
1) ค่าพีเอช (pH)	-	5 – 9
2) บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 30
3) ปริมาณของแข็ง		
- ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 40
- ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.5
- ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 500
4) ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
5) ไนโตรเจน (Nitrogen) ในรูป ทีเคเอ็น (TKN)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 35
6) น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 20

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2547)

อาคารประเภท ข. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

- (1) อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน
- (2) โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักอาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 60 ห้อง แต่ไม่ถึง 200 ห้อง
- (3) หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ห้องขึ้นไป
- (4) สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป
- (5) โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่ถึง 30 เตียง
- (6) อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

(7) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 55,000 ตารางเมตร

(8) อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

(9) ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

(10) ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1.2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรรณิการ์ และคณะ (2555) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยกระบวนการเพนตัน โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (SS) และ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) จากน้ำเสียโรงอาหาร ทำการทดลองหาค่าสภาวะที่เหมาะสม โดยศึกษาสภาวะการกวนด้วย เครื่องจาร์เทส (Jar test) ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที ศึกษาความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 300 400 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมถึงศึกษาค่า pH น้ำก่อนการบำบัดที่ (pHPre) pH3 pH5 pH7 และ pH9 จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดซีโอดี ที่ pH3 เวลา 30 นาที ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดได้ร้อยละ 83.29 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด SS ที่ pH5 เวลา 90 นาที ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดได้ร้อยละ 99.03 และสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด TDS ที่ pH5 เวลา 90 นาที ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดได้ร้อยละ 71.13

เฉลิม และคณะ (2555) ศึกษาการกำจัดสีและซีโอดี (COD) ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเพนตัน โดยการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ค่า pH อัตราส่วนโดยมวลของ H_2O_2 ต่อ Fe^{2+} และระยะเวลาที่เหมาะสม จากผลการศึกษา พบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเพนตัน คือ ที่ pH เท่ากับ 2 อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง H_2O_2 ต่อ Fe^{2+} เท่ากับ 15:1 ที่ความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง จากสภาวะที่เหมาะสมนี้สามารถกำจัดสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.15 เวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 60 นาที ในขณะที่การกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 63.90 เวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 30 นาที

นිරุช และคณะ (2557) ศึกษาการฟอกสีย้อมสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเพนตันและโฟโตเพนตัน (UV และแสงอาทิตย์) โดยมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการฟอกสี ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมสังเคราะห์ อัตราส่วนรวมของ Fe^{2+} และ H_2O_2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกสีย้อมสังเคราะห์ จากผลการทดลองพบว่าการใช้โฟโตเพนตันโดยใช้แสงอาทิตย์ให้ผลดีที่สุด และเมื่อใช้อัตราส่วนของ $Fe^{2+} : H_2O_2$ เท่ากับ 4:80 มิลลิโมลาร์ ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 เป็นเวลา 360 นาที มีประสิทธิภาพในการฟอกสีย้อมสังเคราะห์ทั้ง 3 สี (แดง เหลือง และน้ำเงิน) มากกว่าร้อยละ 80 นอกจากนี้เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการฟอกสีของน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอในจังหวัดลำพูนด้วยสภาวะที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการฟอกสีเท่ากับร้อยละ 76.62 ค่าซีไอลดลงร้อยละ 37 และค่าความขุ่นลดลงร้อยละ 46

นฤมล (2555) ศึกษาการบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีเพนตัน โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ค่า pH ของน้ำชะขยะ ความเข้มข้นเริ่มต้นของ H_2O_2 Fe^{2+} และความเข้มข้นเริ่มต้นซีไอของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะขยะซึ่งแสดงในรูปร้อยละการลดลงของค่าซีไอ จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะคือ ค่าพีเอช 3 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H_2O_2 ต่อ Fe^{2+} ต่อ ซีไอดี เท่ากับ 0.2 ต่อ 7 ต่อ 1 โดยสามารถลดค่าซีไอได้ถึงร้อยละ 70 ภายในเวลา 30 นาที

วีระนุช และคณะ (2553) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยกระบวนการเพนตัน และกระบวนการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ โดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเพนตัน ต้องใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 0.92 กรัมต่อลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6.38 กรัมต่อลิตร pH 3.4 และระยะเวลาที่เหมาะสม 150 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และซีไอดี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 97.85 52.83 และ 79.98 ตามลำดับ ส่วนการตกตะกอนพบว่าต้องใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต 2.56 กรัมต่อลิตร ค่า pH 7.20 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และซีไอดี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 94.02 76.28 และ 42.96 ตามลำดับ และใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 4.00 กรัมต่อลิตร pH 7.40 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และซีไอดี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 96.12 86.75 และ 54.18 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด พบว่าปฏิกิริยาเพนตันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด รองลงมาคือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมซัลเฟต ตามลำดับ

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเพนตัน

1.3.2 เพื่อลดค่าซีไอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งในแหล่งน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำข้อมูลเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียของห้องปฏิบัติการอื่นๆ

1.4.2 สามารถลดความเป็นพิษของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ
สิ่งแวดล้อม



บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่ทำการศึกษ

ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

2.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

- 2.2.1.1 เครื่องจารทดสอบ (Jar Test) ยี่ห้อ Twister JRD-Series รุ่น JR 6 D
- 2.2.1.2 กระดาษกรอง Glass Fiber Filter ขนาด 4.7 เซนติเมตร
- 2.2.1.3 ตู้ดูดความชื้นแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ AKARUI DIGI รุ่น E50D
- 2.2.1.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น AL204
- 2.2.1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)
- 2.2.1.6 เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI98130
- 2.2.1.7 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM300
- 2.2.1.8 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2.2.1.9 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.2.1.10 ปีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 2.2.1.11 ถังเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ขนาด 60 ลิตร
- 2.2.1.12 ถ้วยระเหย

2.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

- 2.2.2.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าซีโอดี
- 2.2.2.2 เฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 2.2.2.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
- 2.2.2.4 น้ำกลั่น

2.3 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

2.3.1 น้ำเสียจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

2.3.2 น้ำเสียจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ แผนกห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมสิ่งแวดล้อม บริษัท ผลิตภัณฑ์อาหารกว้างไพศาล จำกัด (มหาชน)

2.4 วิธีการดำเนินการศึกษา

2.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีการเก็บรวบรวมน้ำเสียจากการทำการทดลอง เพื่อให้น้ำเสียที่ได้มีสภาพของน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช (pH) ซีโอดี (COD) ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

2.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเพนตัน

2.4.2.1 ศึกษาอัตราส่วน และระยะเวลาในการกวนผสมที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

1) เตรียมน้ำเสียที่ได้จากข้อ 2.4.1 มาปรับพีเอช (pH) ให้เป็น 2 โดยแบ่งน้ำเสียออกเป็น 6 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองจะใช้ตัวอย่างน้ำเสียปริมาณ 300 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ทั้งหมด 6 ใบ เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสซัลเฟตตามอัตราส่วน และทำการกวนผสมด้วยเครื่องจาร์เทสต์ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

2) ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์ ตามพารามิเตอร์ในตารางที่ 2.2 จากการทดลองในขั้นตอนนี้ จะได้ระยะเวลาในการกวนและความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วน และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ
เฟนตัน

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ระยะเวลาในการกวน (นาที)
1	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	10
2	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	20
3	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	30
4	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	40
5	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	50
6	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	60

หมายเหตุ: แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ซีโอดี (COD)	Close Reflux – Titrimetric Method
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	Dried at 103 – 105 °C
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	Dried at 180°C
พีเอช (pH)	Electrometric Method

ที่มา : APHA, AWWA and WFF (2005)

2.4.2.2 ศึกษาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

ทำการทดลองอีกครั้ง โดยเปลี่ยนค่าพีเอช เป็น 3 และ 4 โดยใช้ระยะเวลาในการ
กวน และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ได้จากข้อ 2.4.2.1

2.4.2.3 หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการในแต่ละชุดการทดลอง
เพื่อหาอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต ระยะเวลา และค่าพีเอช (pH)
ที่เหมาะสม

จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้ก่อนการบำบัด} - \text{ค่าที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัด}}{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้ก่อนการบำบัด}} \times 100$$



บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต เท่ากับ 1:1 2:1 3:1 4:1 5:1 และระยะเวลาในการกวน 10 20 30 40 50 และ 60 นาที ผลการศึกษา ดังนี้

3.1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

ลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ บริษัท ผลิตภัณฑ์อาหารกว้างไพศาล จำกัด (มหาชน) จะเห็นว่า น้ำเสียมีลักษณะขุ่น เป็นสารละลายสีเหลือง และมีค่าความเป็นกรดสูง โดยน้ำเสียมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.1

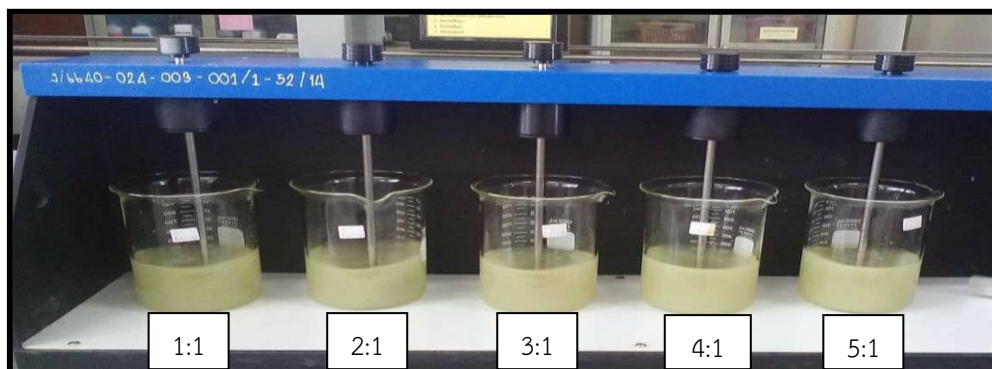
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

พารามิเตอร์	ค่าที่ตรวจวัดได้
พีเอช (pH)	0.30
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	120 – 350
ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3,000 – 4,000
ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	150,000 – 200,000

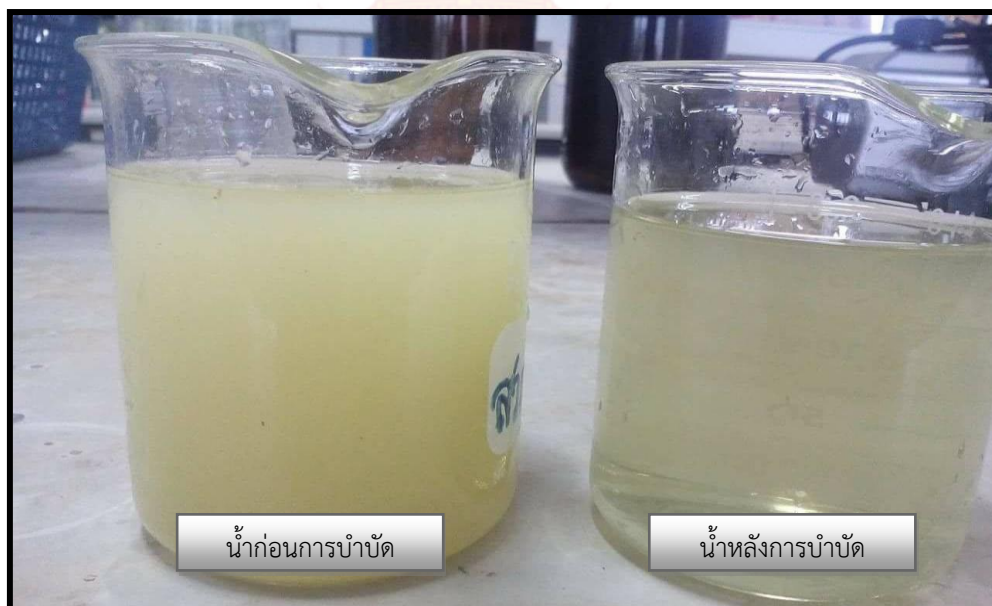
3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

3.2.1 ศึกษาอัตราส่วน และระยะเวลาที่เหมาะสมโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่แตกต่างกัน คือ 1:1 2:1 3:1 4:1 และ 5:1 โดยน้ำเสียมีค่าพีเอช (pH) เท่ากับ 2 และทำการกวนผสมในเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10 20 30 40 50 และ 60 นาที ผลการศึกษา ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2



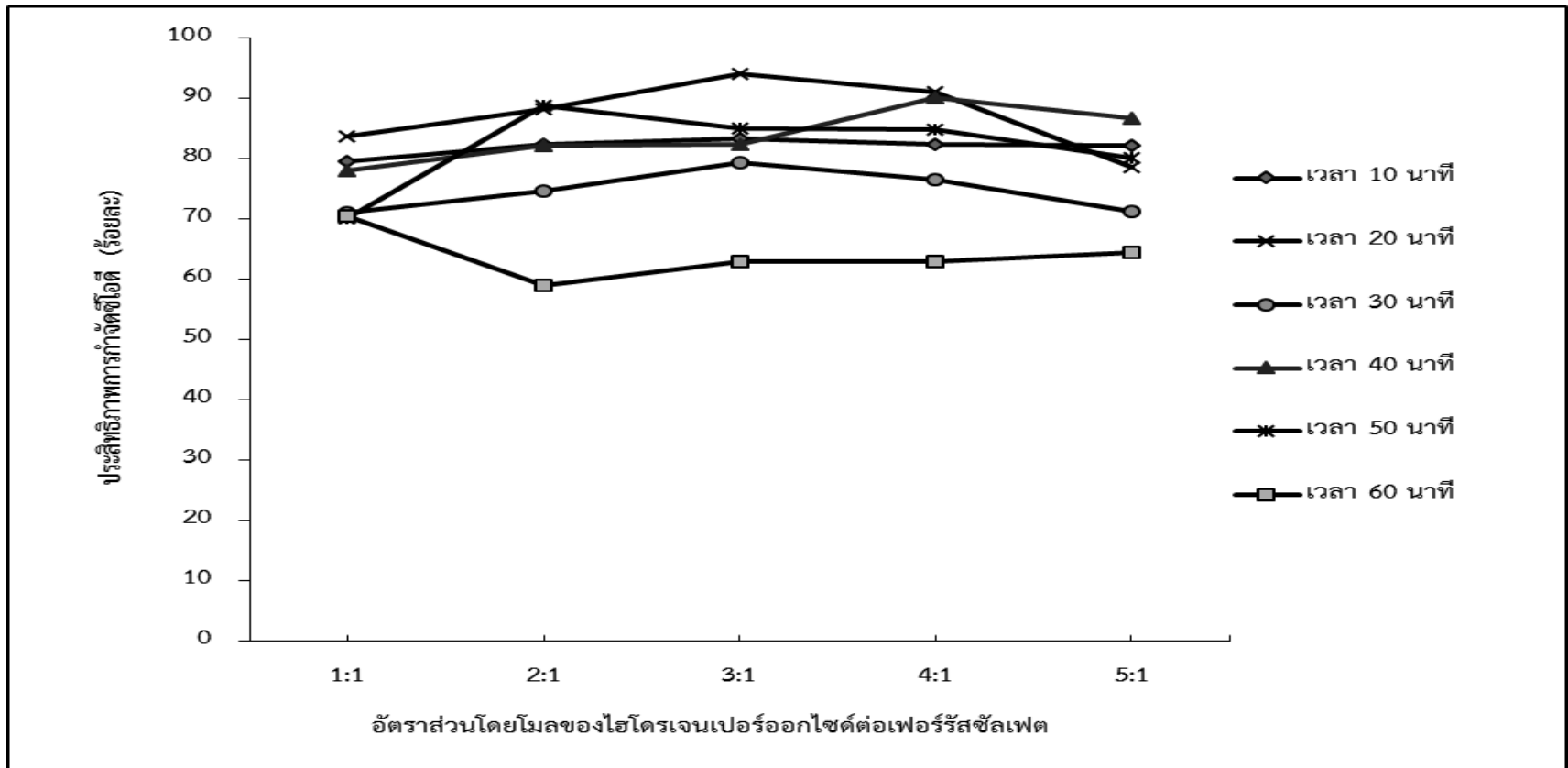
ภาพที่ 3.1 การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3.2 ลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

3.2.1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD)

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน

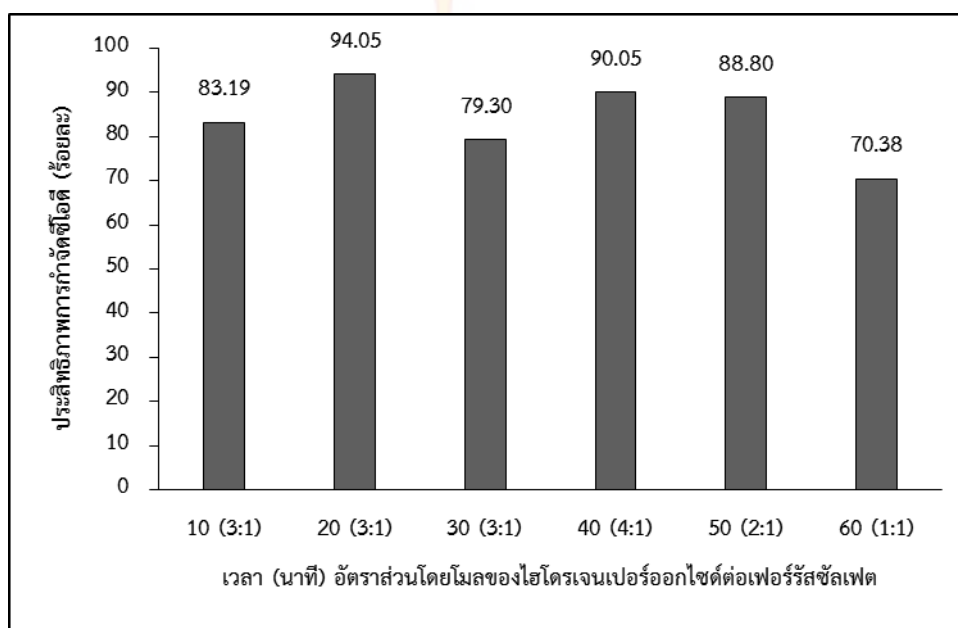
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อทำการกวนเป็นเวลา 20 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 94.05 เพราะว่า ในช่วงเวลา 20 นาที จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว โดยในช่วงนี้เกิดการลดลงของสารอินทรีย์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเฟนตันออกซิเดชันทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) ที่เหมาะสม ซึ่งไปกำจัดสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว (เฉลิม และคณะ, 2555)

เมื่อทำการกวน 10 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการกวนเป็นเวลา 10 นาที อาจทำให้สารเคมีและน้ำเสียยังทำปฏิกิริยากันได้ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาการกวนที่เวลา 30 40 50 และ 60 นาที จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) มีค่าต่ำกว่าที่เวลาการกวนผสม 10 นาที ทั้งนี้เกิดจากเมื่อเวลาการกวนผสมเพิ่มขึ้น จะมีผลต่อปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสซัลเฟต และแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) ที่ไม่เหมาะสม (เฉลิม และคณะ, 2555)

นอกจากนี้ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 4:1 และ 5:1 ที่เวลาการกวนผสม 20 30 40 และ 50 นาที พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ลดลง เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์จะลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไป ทำให้มีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงเหลือ และตกค้างส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของตะกอน ทำให้ตะกอนลอยขึ้นสู่ด้านบน (จันทิมา และคณะ, 2552)

จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงสุดของแต่ละเวลาการกวนผสมที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตแตกต่างกัน โดยที่เวลาการกวนผสม 20 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงสุด เท่ากับร้อยละ 94.05 เนื่องจากปริมาณสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนมีผลต่อการทำปฏิกิริยาเฟนตัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี และทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลอย่างเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งการกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา คือ 20 นาที หลังจากนั้นการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาต่อมา แต่จะลดลงไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยานั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัส และแตกตัวให้ไฮดรอกซิล

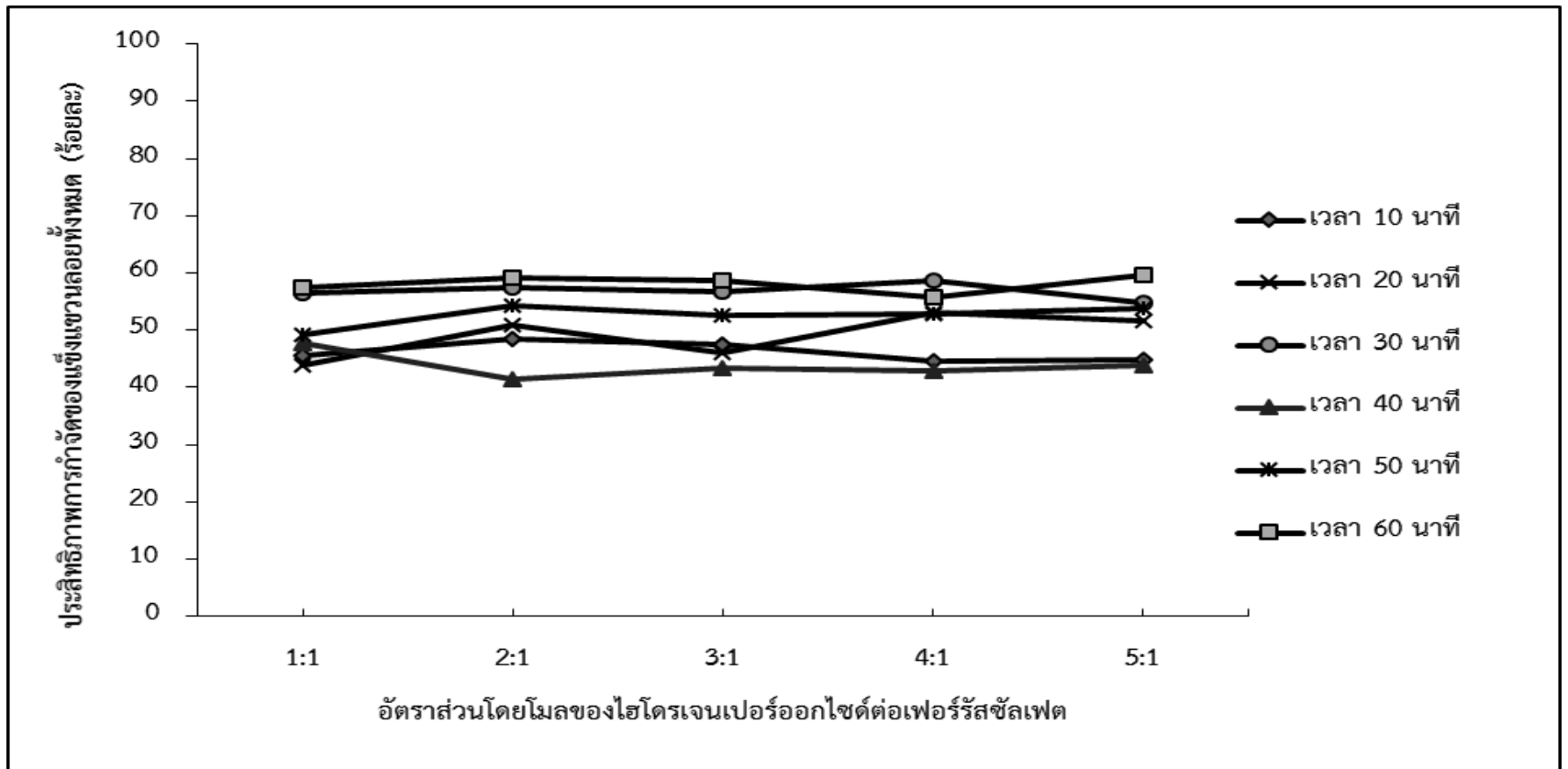
เรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) (เฉลี่ย, และคณะ 2555) และพบว่าที่เวลาการกวนผสม 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 1:1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 70.38 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาในการกวนผสมเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสซัลเฟต และแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) ที่ลดลง (เฉลี่ย และคณะ, 2555) ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงสุดที่แต่ละเวลาการกวนผสม

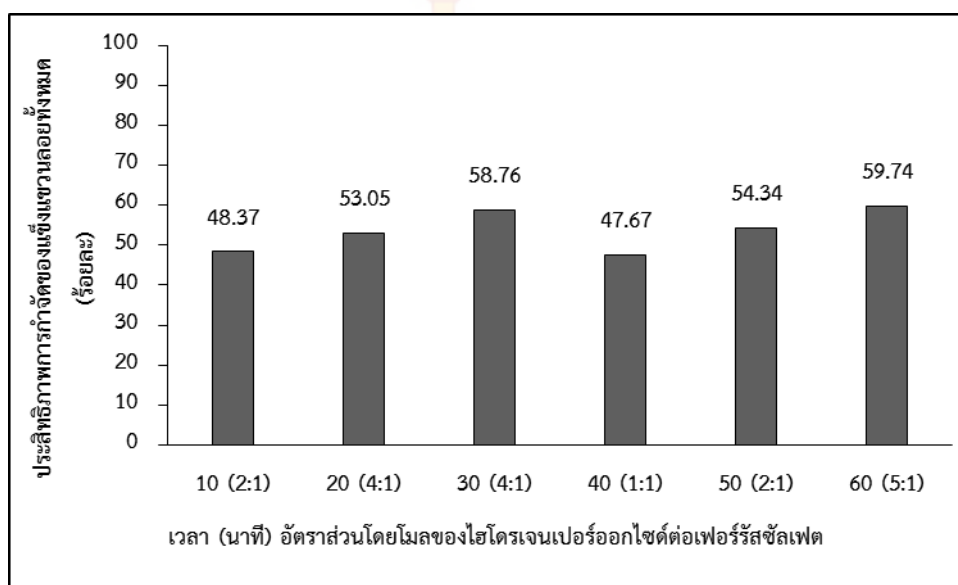
3.2.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน

ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนที่แตกต่างกัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่ลดลง เกิดจากปฏิกิริยาเฟนตัน ซึ่งมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของสารเคมี และเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) สามารถเหนี่ยวนำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์และเกิดการรวมตัวของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียให้มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้นจนตกลงไปด้านล่าง (จันทิมา และคณะ, 2552) และเกิดการตกตะกอน ส่งผลให้ค่าซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ลดลง ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) สูงสุดที่แต่ละเวลาการผสม

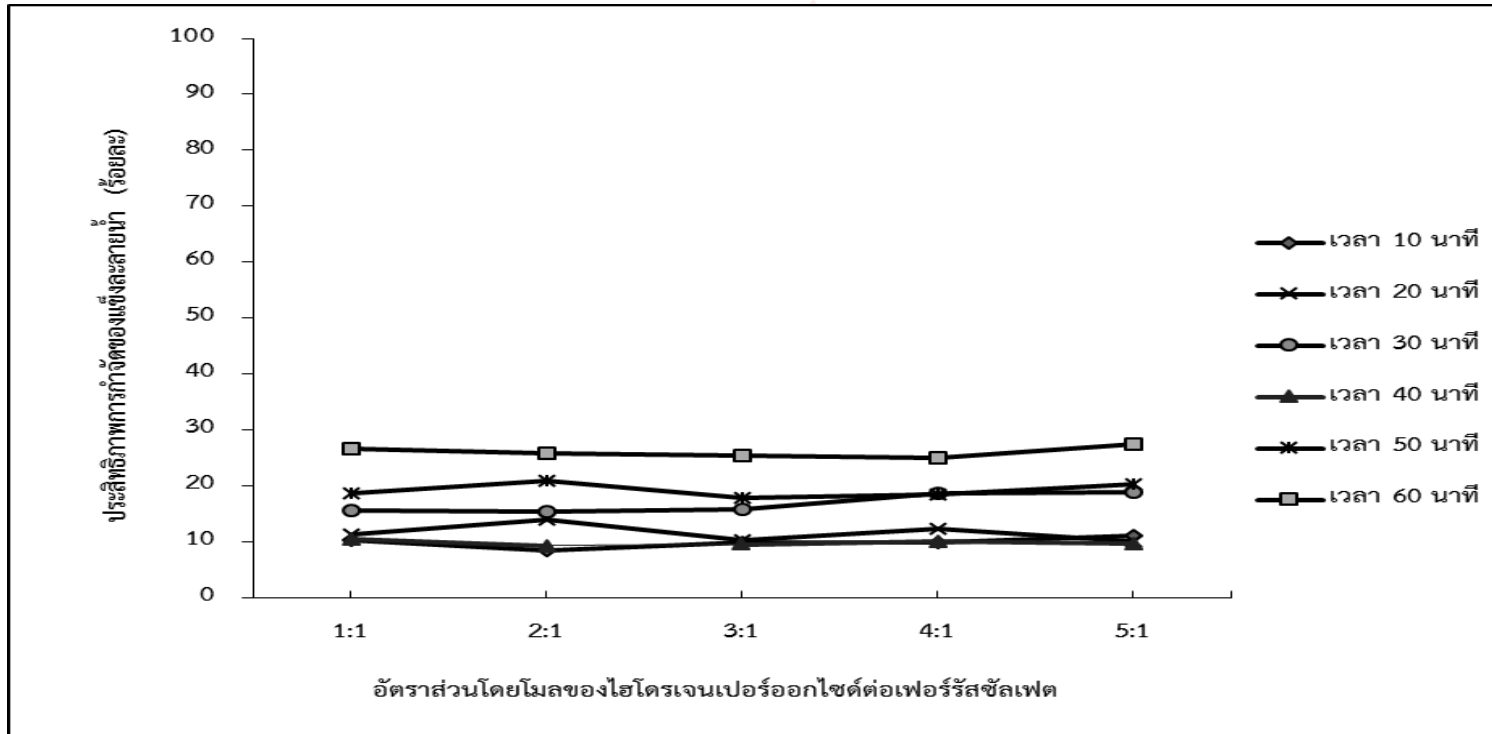
จากภาพที่ 3.6 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาในการกวนต่างๆ พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 5:1 และเวลาการกวน 60 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) สูงสุด เท่ากับร้อยละ 59.74 และพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 1:1 และเวลาการกวน 40 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 47.67

3.2.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

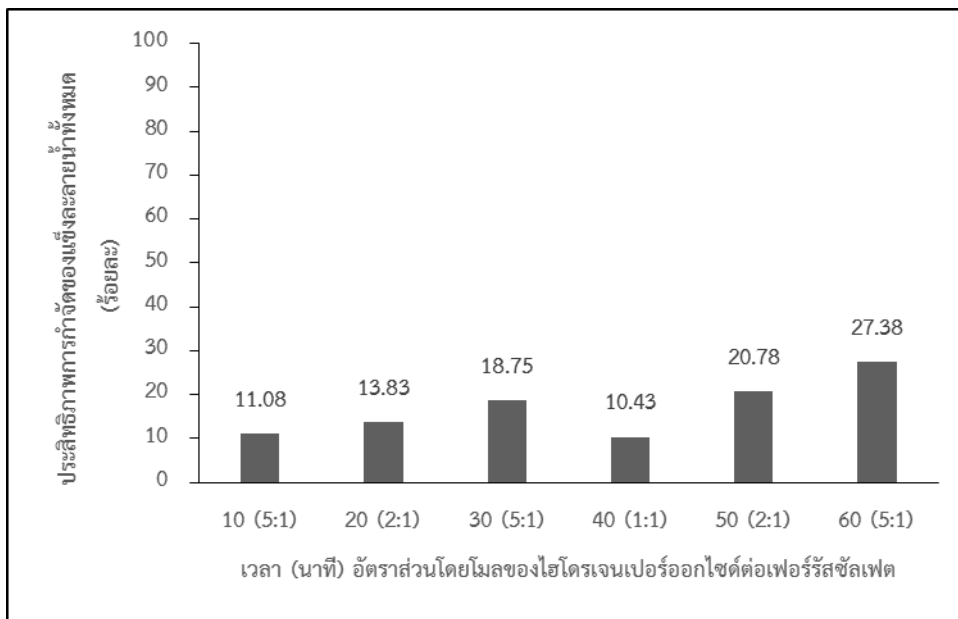
การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต ดังภาพที่ 3.7

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนที่แตกต่างกัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยปฏิกิริยาเฟนตันสามารถลดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 8.45-27.38 การลดลงของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา มาจากห้องปฏิบัติการที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ดังนั้นเมื่อเติมสารเคมีลงไป จะส่งผลให้สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน จึงทำให้ค่าซีโอดี (COD) รวมทั้งของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) มีค่าลดลง แต่ในน้ำเสียยังคงเหลือสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ จึงทำให้ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ยังมีค่าค่อนข้างสูง โดยจะเห็นได้จากภาพที่ 3.8 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนผสมต่างๆ พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 5:1 และเวลาการกวน 60 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) สูงสุด เท่ากับร้อยละ 27.38 และพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 1:1 ที่เวลา 40 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 10.43





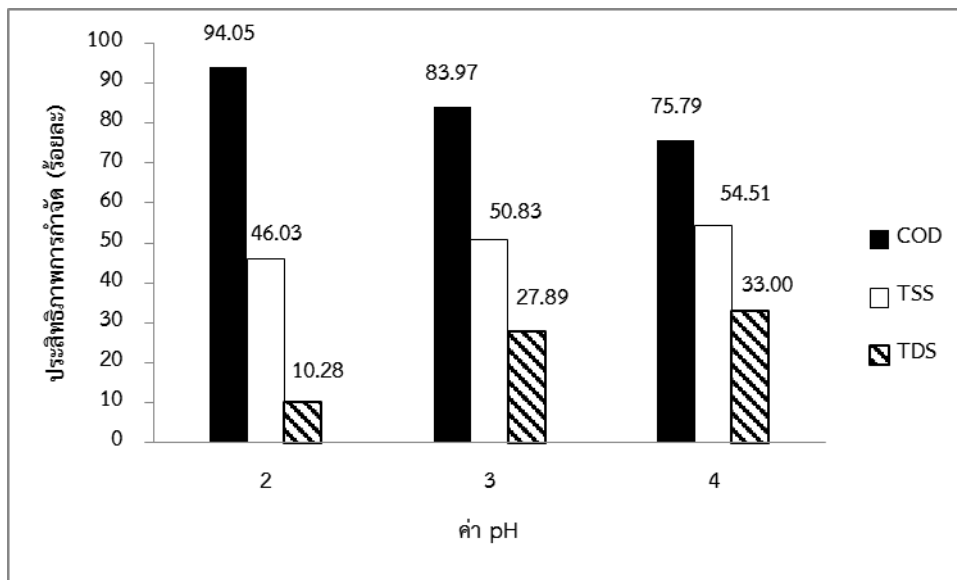
ภาพที่ 3.7 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน



ภาพที่ 3.8 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) สูงสุดที่แต่ละเวลาจนผสม

3.2.2 การหาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสม

ผลการศึกษาที่พีเอช (pH) 2 พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 ที่เวลา 20 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ได้สูงสุด จึงนำสภาวะนี้ไปทำการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ที่พีเอช (pH) 3 และ 4 ต่อไป ผลการศึกษาดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 2 3 และ 4

จากการศึกษาประสิทธิภาพค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียที่มีค่าพีเอช (pH) 2 3 และ 4 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) เท่ากับร้อยละ 94.05 83.97 และ 75.79 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เท่ากับร้อยละ 46.03 50.83 และ 54.51 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) เท่ากับร้อยละ 10.28 27.89 และ 33.00 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าที่พีเอช (pH) 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ได้สูงสุด เนื่องจากเมื่อค่าพีเอช (pH) สูงขึ้นความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะลดลง โดยเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) อยู่ในรูปที่ไม่เสถียรและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) โดยจะตกตะกอนลงมาอยู่ในรูป $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) นอกจากนี้ที่พีเอช (pH) สูงขึ้น ส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) อยู่ในรูปที่ไม่เสถียรเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดการสลายตัวให้ออกซิเจนและน้ำ ซึ่งไม่ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\cdot\text{OH}$) ในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน (เฉลิม และคณะ, 2555)

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

การบำบัดน้ำเสียจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม โดยใช้กระบวนการเฟนตันในการบำบัดน้ำเสีย สรุปผลการศึกษาได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

ค่า pH	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)		
	ซีโอดี (COD)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)
2	94.05	46.03	10.28
3	83.97	50.83	27.89
4	75.79	54.51	33.00

หมายเหตุ: อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 และเวลาการกวนผสม 20 นาที

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ คือ ที่พีเอช (pH) 2 เวลาที่ใช้ในการกวนผสม 20 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 ซึ่งสภาวะนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ได้สูงสุด และพบว่าที่พีเอช (pH) 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ได้สูงสุด

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยกระบวนการเฟนตัน

4.2.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช (pH) ที่มีผลต่อการตกตะกอนของน้ำเสียในกระบวนการเฟนตัน

4.2.3 ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน เช่น อุณหภูมิ

4.2.4 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และเวลาที่ใช้ในการกวนผสมของน้ำเสียที่พีเอชอื่นๆ



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ข. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html (29 มกราคม 2561).
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2554. การบำบัดทางเคมีและชีวภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/index.php/2014-10-09-08-12-02/article-1/101-2016-11-15-07-10-54> 2554 (4 พฤษภาคม 2561).
- กรรณิการ์ ดิษยวงศ์ และ ณัชชารีย์ ธนกรจิตติพัฒน์. 2555. การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยกระบวนการเฟนตัน. รายงานการประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 5 - 7 ธันวาคม 2555. 1944 - 1951 น.
- จันทิมา ชั่งศิริพร ณรงค์พล ทองสังข์ วุฒิไกร วงษ์มะยะธา และ จรรยา อินทมณี. 2552. การกำจัด COD และสีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน. รายงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7. 8 - 9 พฤษภาคม 2552.
- จิราวรรณ ศรีโยม. 2553. การบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอน : วิเคราะห์การลดลงของค่าซีโอดี และสารเคมีตกค้างในน้ำและตะกอน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553> (18 พฤษภาคม 2561).
- เฉลิม เรืองวิริยะชัย, นาด ภูวงศ์ผา และ สุนันทา เลาวัญศิริ. 2555. การกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 40 (4) : 1273 -1274 น.
- นฤมล ประดิษฐ์เสรี. 2555. การบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีเฟนตัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นිරนุช ไชยรังษี, มิกิ กัณณะ และ สายฝน มะโนคำ. 2557. การฟอกสีน้ำเสียจากโรงย้อมผ้าในจังหวัดลำพูนโดยกระบวนการโฟโตเฟนตันด้วยแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22 (5) : 629 - 640 น.
- บริษัท กรีน วอเตอร์ กรีท จำกัด. 2560. ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.greenwatertreat.com> (7 พฤษภาคม 2561).

- บริษัท ลู็กซ์ รอยัล (ประเทศไทย) จำกัด. 2558. สาเหตุและผลกระทบจากมลพิษทางน้ำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution (4 พฤษภาคม 2561).
- บุษยา รัตนสุภา และ อมรรัตน์ สุนทรพงศ์. 2560. อันตรายที่อาจเกิดขึ้นในท้องปฏิบัติการ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 60 (189) : 42-43 น.
- ปราโมช เขียวชาญ และ อิริรัตน์ สุวิณชัยเจริญ. 2548. ความหมายของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/6_2548/OccHealth.htm (7 พฤษภาคม 2561).
- ภิญโญ พานิชพันธ์. 2560. กำเนิดปัญหามลพิษทางน้ำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/ecology/chapter3/framechapter3_frame.htm (24 มีนาคม 2561).
- วีระนุช บุญรุ่ง และ สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2553. การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเฟ้นต้นและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม วิศวกรรมสาร มก. 23 (72) : 10 – 16 น.
- สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด. 648 น.
- สุชนม์ แก้วมาตย์ และ บุญสร้าง ดิเรกสถาพร. 2554. การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการเฟ้นต้นแบบฉายแสงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/2556/KC5011024.pdf> (11 พฤษภาคม 2561).
- สำนักงานส่งเสริมสังคมแห่งการเรียนรู้และคุณภาพเยาวชน. 2541. ลักษณะของมลพิษทางน้ำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/nankhanittha05141/bth-thi-2> (4 พฤษภาคม 2561).
- สำนักงานงานสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม. 2553. แหล่งที่มาของน้ำเสีย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://wastewatertreatments.wordpress.com> (24 มีนาคม 2561).
- อาสา ชุมรักษา. 2547. มารู้อัจฉริยความเป็นพิษของสารเคมี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://reo16.mnre.go.th/reo16/km/download/?file=files/com_knowledge/2014-10/20141002_lwjettxg.pdf&name.pdf&id=137 (7 พฤษภาคม 2561).
- APHA, AWWA and WFF. 2005. Standard Method for Examination of Water and Wastewater. 21st ed. American Public Health Association, Washington DC, USA.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟนตัน



ตารางผนวกที่ ก1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 10 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	129.64	199.33	200.53	193.67	
1 : 1	37.04	34.50	47.00	39.51	79.60
2 : 1	35.50	32.59	65.80	34.05	82.42
3 : 1	37.04	23.00	37.60	32.55	83.19
4 : 1	47.84	23.00	31.34	34.06	82.41
5 : 1	30.91	40.25	32.90	34.69	82.09

ตารางผนวกที่ ก2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 20 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	162.93	187.6	175.09	175.21	
1 : 1	32.90	25.01	28.14	28.68	83.63
2 : 1	18.8	25.01	18.76	20.86	88.09
3 : 1	9.4	12.51	9.38	10.43	94.05
4 : 1	18.8	12.51	15.63	15.65	91.07
5 : 1	37.60	46.90	37.52	37.56	78.56

ตารางผนวกที่ ก3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 30 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	264.55	250.67	263.20	259.47	
1 : 1	64.13	75.20	75.20	75.20	71.02
2 : 1	48.10	65.80	65.08	65.80	74.64
3 : 1	57.72	47.00	56.40	53.70	79.30
4 : 1	67.34	54.58	84.60	61.09	76.46
5 : 1	64.13	75.20	84.60	74.64	71.23

ตารางผนวกที่ ก4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 40 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	294.00	300.53	292.16	295.56	
1 : 1	65.30	63.70	66.40	65.13	77.96
2 : 1	52.25	19.60	53.12	52.69	82.17
3 : 1	65.30	52.27	39.84	52.47	82.25
4 : 1	29.40	29.40	49.80	29.40	90.05
5 : 1	39.20	39.20	49.80	39.20	86.74

ตารางผนวกที่ ก5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 50 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	278.88	252.32	268.92	266.71	
1 : 1	29.88	79.68	79.68	79.68	70.12
2 : 1	29.88	39.84	29.88	29.88	88.80
3 : 1	39.84	59.76	39.84	39.84	85.06
4 : 1	33.20	48.14	39.84	40.39	84.86
5 : 1	53.12	63.08	53.12	53.12	80.08

ตารางผนวกที่ ก6 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่เวลา 60 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	314.64	320.67	336.70	324.00	
1 : 1	95.76	144.30	96.20	95.98	70.38
2 : 1	68.40	137.89	128.27	133.08	58.93
3 : 1	54.72	125.06	115.44	120.25	62.89
4 : 1	54.72	125.06	115.44	120.25	62.89
5 : 1	82.08	115.44	115.44	115.44	64.37

ตารางผนวกที่ ก7 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา
10 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
	น้ำก่อนการบำบัด	3,270	3,454	3,953	
1 : 1	1,956	1,936	1,926	1,939	45.20
2 : 1	1,866	1,824	1,822	1,837	48.37
3 : 1	1,870	1,816	1,906	1,864	47.62
4 : 1	1,950	1,848	2,115	1,971	44.62
5 : 1	1,920	1,924	2,037	1,960	44.91

ตารางผนวกที่ ก8 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา
20 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
	น้ำก่อนการบำบัด	3,559	3,601	3,500	
1 : 1	2,174	2,011	1,793	1,992	43.92
2 : 1	1,582	1,856	1,793	1,743	50.93
3 : 1	1,945	1,884	1,924	1,917	46.03
4 : 1	1,658	1,653	1,694	1,668	53.05
5 : 1	1,750	1,715	1,681	1,715	51.73

ตารางผนวกที่ ก9 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 30 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	4,773	4,190	4,604	4,522	
1 : 1	1,971	1,971	2,162	1,971	56.42
2 : 1	1,967	1,976	1,844	1,929	57.34
3 : 1	2,051	1,986	1,822	1,953	56.81
4 : 1	2,025	1,692	1,878	1,865	58.76
5 : 1	2,219	1,770	2,153	2,047	54.73

ตารางผนวกที่ ก10 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 40 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	2,824	3,718	3,394	3,312	
1 : 1	1,718	1,694	1,788	1,733	47.67
2 : 1	1,737	2,109	1,971	1,939	41.46
3 : 1	1,967	2,096	1,570	1,877	43.31
4 : 1	1,908	2,037	1,739	1,894	42.79
5 : 1	1,980	1,789	1,814	1,861	43.81

ตารางผนวกที่ ก11 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 50 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	3,042	3,538	3,933	3,504	
1 : 1	1,827	1,783	1,730	1,780	49.21
2 : 1	1,600	1,600	1,693	1,600	54.34
3 : 1	1,623	1,627	1,731	1,660	52.62
4 : 1	1,573	1,662	1,711	1,648	52.95
5 : 1	1,597	1,526	1,733	1,618	53.81

ตารางผนวกที่ ก12 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่เวลา 60 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	3,538	3,323	3,759	3,540	
1 : 1	1,783	1,276	1,343	1,467	57.53
2 : 1	1,580	1,349	1,421	1,450	59.04
3 : 1	1,627	1,369	1,396	1,465	58.62
4 : 1	1,662	1,369	1,668	1,566	55.75
5 : 1	1,526	1,429	1,321	1,425	59.74

ตารางผนวกที่ ก13 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา
10 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
	น้ำก่อนการบำบัด	159,035	161,962	156,503	
1 : 1	149,948	138,534	140,091	142,857	10.25
2 : 1	147,079	144,215	145,858	145,717	8.45
3 : 1	147,459	136,514	147,126	143,699	9.72
4 : 1	146,067	140,936	143,686	143,563	9.80
5 : 1	141,757	140,138	142,686	141,527	11.08

ตารางผนวกที่ ก14 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา
20 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
	น้ำก่อนการบำบัด	166,878	160,491	154,430	
1 : 1	142,694	143,040	141,948	142,560	11.23
2 : 1	139,180	138,536	137,438	138,384	13.83
3 : 1	143,614	143,392	145,280	144,096	10.28
4 : 1	141,430	140,924	140,212	140,855	12.29
5 : 1	146,195	146,756	140,940	144,630	9.94

ตารางผนวกที่ ก15 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา
30 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	168,062	196,493	169,208	177,921	
1 : 1	149,698	150,394	150,756	150,283	15.53
2 : 1	150,461	152,490	148,956	150,636	15.34
3 : 1	151,057	150,420	148,148	149,875	15.76
4 : 1	144,512	144,422	145,340	144,758	18.64
5 : 1	149,384	149,854	150,236	149,825	18.75

ตารางผนวกที่ ก16 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา
40 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	163,525	171,220	160,086	164,943	
1 : 1	147,456	147,271	148,492	147,739	10.43
2 : 1	149,135	150,211	149,854	149,733	9.22
3 : 1	149,782	149,292	149,005	149,359	9.45
4 : 1	148,178	150,073	146,692	148,314	10.08
5 : 1	148,856	149,435	148,740	149,010	9.66

ตารางผนวกที่ ก17 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา
50 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	171,962	194,006	177,725	181,231	
1 : 1	141,800	146,964	145,018	147,594	18.56
2 : 1	145,328	137,126	148,254	143,569	20.78
3 : 1	144,604	145,593	156,904	149,033	17.77
4 : 1	146,880	146,472	150,264	147,872	18.41
5 : 1	144,588	128,062	144,779	144,683	20.17

ตารางผนวกที่ ก18 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่เวลา
60 นาที

อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
น้ำก่อนการบำบัด	195,120	194,387	195,782	195,096	
1 : 1	143,421	143,334	142,646	143,133	26.63
2 : 1	137,126	149,254	147,766	144,715	25.82
3 : 1	145,593	145,644	145,234	145,490	25.43
4 : 1	146,472	145,993	146,608	146,357	24.98
5 : 1	128,062	140,940	142,436	141,688	27.38

ตารางผนวกที่ ก19 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ในน้ำเสียที่พีเอช (pH) ต่างๆ เวลา 20 นาที

ค่า pH	อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
3	น้ำก่อนการบำบัด	423.28	410.45	426.49	420.07	83.97
	3:1	67.34	67.34	64.13	67.34	
4	น้ำก่อนการบำบัด	269.36	269.36	219.66	269.36	75.79
	3:1	75.36	38.48	81.77	65.20	

ตารางผนวกที่ ก20 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำเสียที่พีเอช (pH) ต่างๆ เวลา 20 นาที

ค่า pH	อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
3	น้ำก่อนการบำบัด	2,787	2,786	2,764	2,779	50.83
	3:1	1,362	1,382	1,355	1,366	
4	น้ำก่อนการบำบัด	2,764	2,766	2,782	2,770	54.51
	3:1	1,154	1,336	1,291	1,260	

ตารางผนวกที่ ก21 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ในน้ำเสียที่พีเอช (pH) ต่างๆ เวลา 20 นาที

ค่า pH	อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
3	น้ำก่อนการบำบัด	192,078	192,246	191,900	192,074	27.89
	3:1	140,964	131,474	143,078	138,505	
4	น้ำก่อนการบำบัด	206,390	205,018	200,564	203,990	33.00
	3:1	132,260	139,226	138,546	136,677	



ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. การวัดพีเอช (pH)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 ปีกเกอร์

1.1.2 กระดาษทิชชู

1.1.3 น้ำกลั่น

1.2 การตรวจวัดพีเอช (pH)

1.2.1 เปิดเครื่องพีเอช อย่างน้อย 15 นาที

1.2.2 ทำการ Standardize ให้ pH เท่ากับ 7

1.2.3 ใช้ Electrode จุ่มลงไปในตัวอย่งที่อยู่ในปีกเกอร์ 2,000 มิลลิลิตร
รอจนกระทั่ง pH ของน้ำตัวอย่างหยุดนิ่งทำการอ่านค่าพีเอช (pH) ทันที

1.2.4 ทำการวิเคราะห์ซ้ำอีก 2 ซ้ำ

1.2.5 เมื่อวัด pH ตัวอย่งถัดไป ให้ฉีดน้ำกลั่นล้าง Electrode ให้สะอาด และซับ
ให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู

2. การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) โดย วิธี Dried at 103-150 องศาเซลเซียส

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 เซนติเมตร

2.1.2 เครื่องดูดสุญญากาศ

2.1.3 ตู้อัดความชื้น

2.1.4 ตู้ออบ

2.1.5 ตาชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.1.6 ชุดกรอง

1) กรวยบุชเนอร์

2) ขวดสุญญากาศ ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.1.7 ปากคืบ

2.1.8 กระจบอกลง ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.1.9 Buchner funnel ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

2.2 สารเคมี

น้ำกลั่น

2.3 วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

2.3.1 นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น

2.3.2 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมุติน้ำหนัก A กรัม วางในอลูมิเนียมฟอยด์ ทำการอบและชั่งซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักครั้งก่อนหรือประมาณ 0.0005 กรัม บันทึก

2.3.3 ต่อชุดอุปกรณ์ ใช้ปากคีบหนีบกระดาษ GF/C ที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้ววางบน Buchner funnel เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดบนกระดาษกรองเล็กน้อยเพื่อให้เปียก

2.3.4 เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำที่จะใช้โดยพิจารณาจากลักษณะน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมีของแข็งแขวนลอยมาก ควรใช้ปริมาณน้อยๆ แต่ถ้าน้ำใสควรใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ควรเลือกให้มีค่าแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มิลลิกรัม และไม่ต่ำกว่า 2.5 มิลลิกรัม เนื่องจากถ้ามีของแข็งในปริมาณมากเกินไปอาจจะจับน้ำเอาไว้) เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากัน เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรลงกรองโดยค่อยๆ เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมด ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่าง เทลงกรอง และฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างของกรวยบุชเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกจนแห้ง ปิดเครื่องดูดสุญญากาศ

2.3.5 ใช้ปากคีบหนีบขอบกระดาษกรองขึ้นวางในอลูมิเนียมฟอยด์นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส อย่างน้อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้ดูดความชื้น แล้วปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมุติน้ำหนักให้เป็น B กรัม

2.4 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B-A) \times 10^6 \times \text{อัตราเจือจาง}}{C}$$

A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

3. การวิเคราะห์หาของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) โดย วิธี Dried at 180 องศาเซลเซียส

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 เซนติเมตร

3.1.2 เครื่องดูดสุญญากาศ

3.1.3 ตู้ดูดความชื้น

3.1.4 ตู้อบ

3.1.5 ตาชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.6 ชุดกรอง

1) กรวยบุชเนอร์

2) ขวดสุญญากาศ ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.1.7 ปากคืบ

3.1.8 กระจกบอทวง ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.1.9 Buchner funnel ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

3.1.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.1.11 ถ้วยระเหย

3.2 สารเคมี

น้ำกลั่น

3.3 วิธีวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

3.3.1 นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นให้เย็นในตู้ดูดความชื้น

3.3.2 นำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก สมมุติมีน้ำหนัก A กรัม ทำการอบแล้วชั่งน้ำหนัก จนได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักครั้งก่อน หรือประมาณ 0.00005 กรัม บันทึกน้ำหนัก

3.3.3 ต่อชุดกรองใช้ปากคืบหนีบกระดาษกรอง GF/C วางลงบน Buchner funnel เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ฉีดน้ำกลั่นลงบนกระดาษกรองประมาณ 20 มิลลิลิตร เพื่อให้กระดาษกรอง แนบติดกับถ้วย เหนือที่ล่างกระดาษกรองทิ้ง

3.3.4 เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันได้ดีแล้วเทตัวอย่างใส่กระจกบอทวง ทำการกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่เตรียมไว้โดยกรองให้มากกว่าปริมาณที่จะนำไประเหย

3.3.5 ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นรอจนกระดาษกรองแห้ง ปิดเครื่องดูดสุญญากาศ

3.3.6 ตวงน้ำส่วนที่กรองได้เทลงในถ้วยระเหยที่ชั่งน้ำหนักแล้ว นำไประเหยบนอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนน้ำแห้งหมด

3.3.7 นำถ้วยระเหยเข้าตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.8 นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก สมมุติมีน้ำหนัก B กรัม

3.4 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(B-A) \times 10^6 \times \text{อัตราเจือจาง}}{C}$$

A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

4. การวิเคราะห์หาซีไอที (COD) โดย วิธี Close Reflux

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 หลอดย่อย

4.1.2 ตู้อบความร้อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

4.1.3 บิวเรต

4.1.4 ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.5 ลูกยางดูด

4.1.6 ปีเปต

4.2 สารเคมี

4.2.1 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.01667 M ซึ่งโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งอบแห้งที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 4.903 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) 167 มิลลิลิตร เติมปรอทซัลเฟต ($HgSO_4$) 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

4.2.2 สารละลายกรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต ซึ่งซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน จนกว่าซิลเวอร์ซัลเฟตจะละลายหมด ก่อนนำไปใช้ต่อ

4.2.3 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ความเข้มข้น 0.05 M ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] 19.6 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

4.2.4 สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรีนโมโนไฮเดรต (1,10-phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เมื่อนำไปใช้

ทำการเจือจางอีก 5 เท่า โดยการดูดสารละลายนี้ 20 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

4.2.5 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต (KHP) บด KHP เพื่อลดขนาดลงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วละลาย KHP 0.425 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางให้เต็ม 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีค่าซีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิลิตร กรัม / ลิตร เก็บรักษาไว้ในตู้เย็น

4.3 วิธีการหาค่าซีโอดี

4.3.1 ล้างหลอดแก้วและปิดฝาด้วยสารละลายกรดกำมะถันร้อยละ 20 เสมอทุกครั้งก่อนใช้งาน เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

4.3.2 เลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมตามตารางผนวกที่ ข1 ถ้าน้ำตัวอย่างมีค่าซีโอดี (COD) สูงให้เจือจางน้ำตัวอย่างก่อน ควรเลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างให้ผลต่างของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์และน้ำตัวอย่างอยู่ระหว่าง 1-5 มิลลิลิตร

4.3.3 เลือกขนาดหลอดแก้วให้เหมาะสมในการหาค่าซีโอดีตามตารางผนวกที่ ข2

4.3.4 ใส่ตัวอย่างลงในหลอดแก้วตามปริมาตรที่เหมาะสม เติมสารละลายสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ตามด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟตในปริมาณที่แสดงในตารางผนวกที่ ข1 (ถ้าปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยกว่าปริมาณที่แสดงไว้ในตารางให้เติมน้ำกลั่นให้ครบตามจำนวน) ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่าง

4.3.5 วางหลอดแก้วในตู้อบ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.3.6 เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้ตู้เย็น

4.3.7 เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด แล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน (FAS) สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเหลือง → เขียวอมเหลือง → ฟ้า → น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จดปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต

ตารางที่ ข1 ขนาดตัวอย่างและอัตราการเจาะจงที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD)

ช่วงซีโอดี	ขนาดตัวอย่าง	อัตราเจาะจง (เท่า)
< 200	5	-
200-400	4	-
400-800	2	-
800-1600	5	5
1600-3200	5	10
2700-5300	3	10
4000-8000	4	20
8000-16000	2	20
13000-26500	3	50
20000-40000	2	50
40000-80000	2	100
80000-160000	1	100

ตารางที่ ข2 ขนาดหลอดแก้ว ปริมาตรน้ำตัวอย่างและสารเคมีที่เหมาะสม

ขนาดหลอดแก้ว (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	สารละลาย ไดโครเมต (มิลลิลิตร)	สารละลาย ซัลฟูริก (มิลลิลิตร)	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)
16 × 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150	5	3	7	15
25 × 150	10	6	14	30

4.4 การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times M \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตแบลงก์ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

M = ความเข้มข้นของ FAS (M)



ภาคผนวก ค
ภาพประกอบการศึกษา

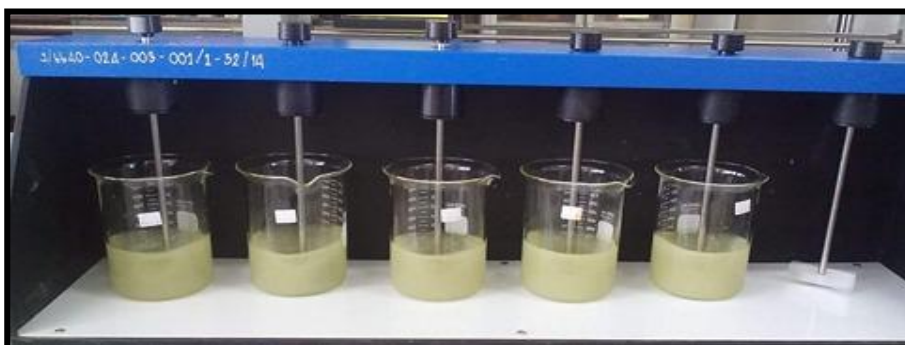




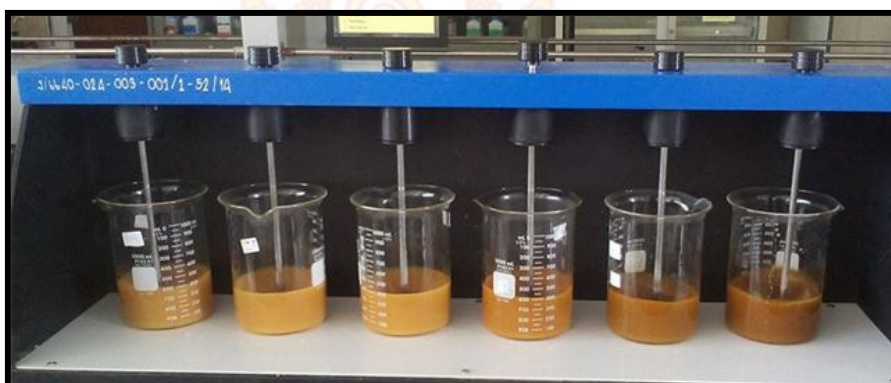
ภาพผนวกที่ ค1 ตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ



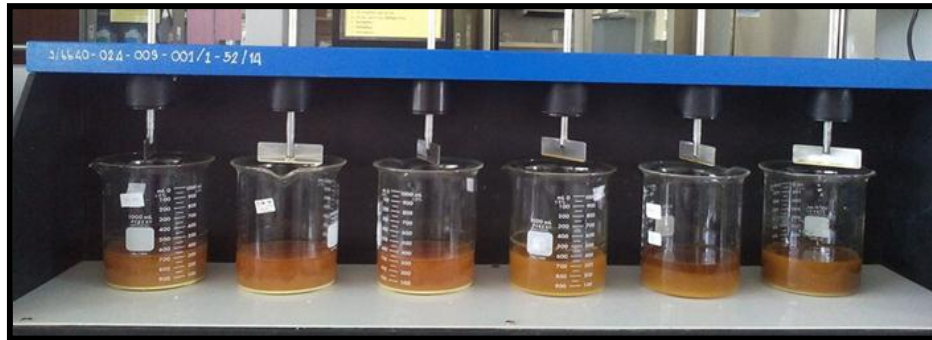
ภาพผนวกที่ ค2 ลักษณะของน้ำเสีย



ภาพผนวกที่ ค3 การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 2



ภาพผนวกที่ ค4 การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 3



ภาพผนวกที่ ค5 การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 4



ภาพผนวกที่ ค6 การวิเคราะห์ซีโอดี (COD)



ภาพผนวกที่ ค7 การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)



ภาพผนวกที่ ค8 การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)