



วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การบำบัดน้ำเสียยางพาราโดยกระบวนการเฟนตัน

Treatment of Para Rubber Wastewater using Fenton Processes

วิภาดา เดชะปัญญา^{1*} ก้องเกียรติ ทวีวุฒิ¹ ปฐมาวดี มังกรแก้ว¹ ธมลวรรณ เลชะวิวัฒน์¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Wipada Dechapanya^{1*} Kongkeit Taweewut¹ Patamavadee Mungkornkaew¹ Thamolwan Lakawipat¹

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

*Corresponding author.

E-mail: wipada.d@ubu.ac.th; Telephone: 0 4535 3343.

วันที่รับบทความ 4 กรกฎาคม 2561; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 1 2 สิงหาคม 2561; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 2 28 กุมภาพันธ์ 2562; วันที่ตอบรับบทความ 2 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียยางพาราจากยางก้อนถ้วยและปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเฟนตันในการบำบัดน้ำเสียยางพารา ตลอดจนประสิทธิภาพในการบำบัด จากผลการศึกษาพบว่า ลักษณะของน้ำเสียจากยางก้อนถ้วย มีสีดำ มีกลิ่นเหม็นฉุน คล้ายน้ำเสียจากบ่อเกรอะ จากการวิเคราะห์น้ำเสีย ค่าพีเอช (pH) ซีโอดี (COD) สารแขวนลอย (SS) และทีดีเอส (TDS) มีค่าเท่ากับ 5.52 ± 0.05 , $52,179 \pm 100.49$ mg/L, 916.67 ± 125.83 mg/L และ $25,350 \pm 636.40$ mg/L ตามลำดับ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการเฟนตันในการบำบัดน้ำเสียยางพาราที่ทำการศึกษา ได้แก่ pH ที่ 2 3 และ 4 ระยะเวลาสัมผัส ที่ 90 120 และ 150 นาที และอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H_2O_2 : $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ 5:1 10:1 และ 15:1 จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี ที่สูงที่สุด ($83.47 \pm 6.38\%$) คือที่ pH 3 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H_2O_2 : $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ 5:1 และระยะเวลาสัมผัส 90 นาที การบำบัดค่าสารแขวนลอย ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ($51.30 \pm 8.26\%$) ที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H_2O_2 : $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ 15:1 และระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ส่วนการบำบัดปริมาณของแข็งละลายน้ำ พบว่า ค่า TDS มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ปริมาณสารของแข็งที่ละลายน้ำ ไม่เกิน 3,000 mg/L ถือว่าผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ยกเว้นค่า TDS ที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H_2O_2 : $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ เท่ากับ 15:1 และระยะเวลาสัมผัสที่ 90 นาที ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย

คำสำคัญ

น้ำเสียยางพารา ยางก้อนถ้วย กระบวนการเฟนตัน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพอร์สัลเฟต

Abstract

The objective of this research was to study characteristics of wastewater from para rubber cup lump and factors affecting Fenton process for treatment of para rubber wastewater. The treatment efficiency was also included. From the study, it was found that the color of wastewater from para rubber cup lump is black with pungent odor similar to sewage. From wastewater analysis, the value of pH, COD, Suspended Solids (SS), and Total Dissolved Solids (TDS) were

approximately 5.52 ± 0.05 , $52,179 \pm 100.49$ mg/L, 916.67 ± 125.83 mg/L, and $25,350 \pm 636.40$ mg/L, respectively. Important factors affecting Fenton process on treatment of para rubber wastewater were studied including pH (2, 3, and 4), contact time (90, 120, and 150 min), and ratio of H_2O_2 : $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (5:1, 10:1, and 15:1 by mass). From the results, it was found that the highest COD removal efficiency was approximately 83.47 ± 6.38 at pH 3, ratio of H_2O_2 : $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ at 5:1, and contact time of 90 min. For treatment of suspended solids, the best removal efficiency ($51.30 \pm 8.26\%$) was found to be at pH 2, ratio of H_2O_2 : $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ at 15:1, and contact time of 90 min. For treatment of total dissolved solids, the TDS values increased. However, these values do not exceed the water quality standards (lower than 3,000 mg/L) issued by the industries and industrial estate. Except for the value of TDS at pH 2, ratio of H_2O_2 : $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ at 15:1, and contact time of 90 min, which was slightly higher than the standard.

Keywords

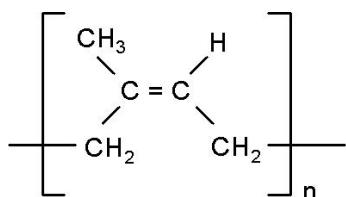
para rubber wastewater; rubber cup lump; Fenton processes; hydrogen peroxide; ferrous sulfate.

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยมีผลผลิต 4.5 ล้านตัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 35.7 ของผลผลิตโลก [1]

โครงสร้างเคมีของยางพารา

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียว มีสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติ ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุล จะเรียงตัวกันในรูปแบบ cis - 1, 4 configuration ดังรูปที่ 1 ยางธรรมชาติจึงมีชื่อทางเคมีว่า polyisoprene มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ประมาณหนึ่งล้านขึ้นไป ซึ่งพืชที่ให้น้ำยางที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใน



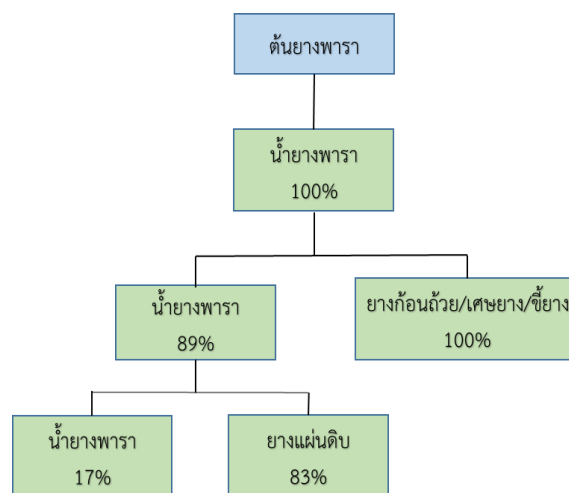
รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [2]

เชิงการค้าคือยางธรรมชาติที่ได้จากพืชสกุล hevea หรือที่เรียกว่ายางพาราและยางกวยอูเล่ (guayule) [2]

อุตสาหกรรมการแปรรูปของยางพารา

อุตสาหกรรมยางพารามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย โดยข้อมูลจากภาพรวมการส่งออกของประเทศไทย เดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2561 พบว่าผลิตภัณฑ์ยาง จัดเป็นสินค้าส่งออกเป็นอันดับที่ 3 (ร้อยละ 4.3) ของประเทศไทย โดยมีอัตราการขยายตัวของมูลค่าส่งออกถึงร้อยละ 11.8 [3]

อุตสาหกรรมต้นน้ำยางพารา (เกษตรกรผู้ปลูกยางพารา) และผลิตภัณฑ์ แสดงดังในรูปที่ 2 อุตสาหกรรมการแปรรูป



รูปที่ 2 อุตสาหกรรมต้นน้ำยางพาราและผลิตภัณฑ์ [5]

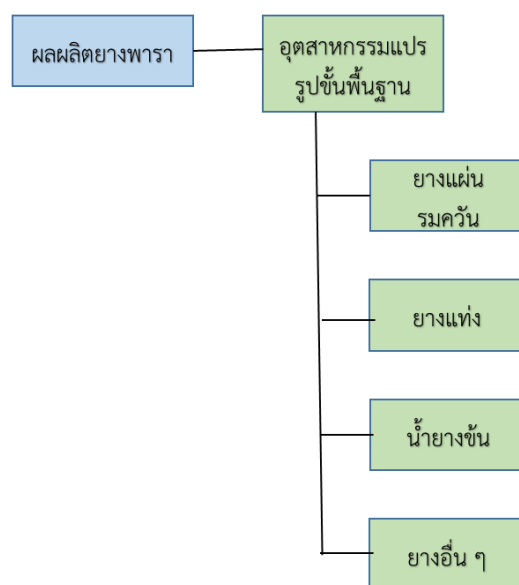
ยางพารา เป็นการแปรรูปยางพาราขั้นต้นที่นำเอาน้ำยางสดที่ กรีดได้จากต้นยางพารามาแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม และสะดวกในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง [4]

ผลผลิตยางพาราจะถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้น พื้นฐานหลัก ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยาง แท่ง และยางอื่น ๆ ก่อนส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ หรือส่ง ต่อไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ ดัง แสดงในรูปที่ 3

ในกระบวนการแปรรูปยางพาราดังกล่าวก่อให้เกิดน้ำเสีย โดยปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตยางพารา ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังเกิดจาก ยางพาราก่อนถวัลย (รูปที่ 4) ทับถมกันในโรงเก็บที่อากาศ ถ่ายเทไม่สะดวกจึงทำให้อับชื้นและมีน้ำไหลออกมา ซึ่งน้ำที่ ไหลออกมาจะมีสีดำและมีกลิ่นเหม็นฉุน มีฤทธิ์เป็นกรด มีค่า COD สูง ตารางที่ 1 สรุปลักษณะสมบัติของน้ำเสียยางพารา จากโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ และอากาศ เมื่อปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะทำให้ ผลผลิตทางการเกษตรได้รับความเสียหาย และมีผลกระทบต่อ สิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งนี้ มลพิษทางน้ำก่อให้เกิดผลกระทบต่อ ชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงอีกด้วยเนื่องจากมีกลิ่น เหม็นฉุน ดังนั้นเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจึงต้องมีการศึกษาวิธีการ จัดการและการบำบัดน้ำเสียยางพาราก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่ง น้ำสาธารณะ

วิธีการบำบัดน้ำเสียยางพารา

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการ ดูแลและบำรุงรักษาระบบและขนาดของที่ดินที่ใช้ในการ ก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความ เหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่นซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3 การแปรรูปยางเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรม [5]



รูปที่ 4 ลักษณะของยางก่อนถวัลย [6]

โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้หลัก ๆ ดังนี้ ได้แก่ การ บำบัดทางกายภาพ การบำบัดทางเคมี และการบำบัดทาง ชีวภาพ [13]

การบำบัดน้ำเสียยางพาราซึ่งมีความสกปรกค่อนข้างสูง มากสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การบำบัดโดยกระบวนการ เฟนตัน (fenton process) การบำบัดโดยกระบวนการ ออกซิเดชันขั้นสูง (advanced oxidation processes) และการบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพด้วยระบบแอกติเวตเตด สลัดจ์ (activated sludge) เป็นต้น

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียยางพารา

พารามิเตอร์	น้ำเสีย ^[7-10]	น้ำเสีย ^[11]	น้ำเสีย ^[12]
พีเอช	5.72	6.3	4.8
อุณหภูมิ (°C)	30.0	-	-
บีโอดี (mg/L)	4,430	11,830	13,760
ซีโอดี (mg/L)	7,996	-	32,690
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	1,128	8,000	42,550
ซัลไฟด์ทั้งหมด (mg/L)	< 1	-	-
ซัลไฟด์ละลายน้ำ (mg/L)	< 1	-	-
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (mg/L)	< 1	-	-
ซัลเฟต (mg/L)	1,102	-	-
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)	-	750	4,620

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ของน้ำเสียยางก่อนถั่ว

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
pH	pH Meter
COD (mg/L)	Close reflux, Titrimetric Method
SS (mg/L)	Glass fiber filter disc
TDS (mg/L)	TDS Meter

หนึ่งในกระบวนการดังกล่าวข้างต้น กระบวนการฟenton ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1894 โดย H.J.H fenton จนกระทั่งถึงปี 1930 ได้มีการศึกษากลไกของปฏิกิริยานี้อย่างสมบูรณ์ และได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีสารพิษประเภทสารประกอบอินทรีย์ปะปนอยู่ เช่น ฟีนอล ฟอรัลดีไฮด์ สารประกอบอะโรมาติก บี.ที.อี.เอ็กซ์ และสารเคมีต่าง ๆ ที่ได้มาจากวัสดุที่ย่อยยาฆ่าแมลง สารกันบูด พลาสติก และยาง รวมทั้งกระบวนการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสีย ตะกอนหรือดินที่มีสิ่งปนเปื้อน โดยมีผลดังนี้ [14]

- ทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษ (Organic pollutant destruction)
- ช่วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradability improvement)
- ลดค่า BOD และ COD (BOD and COD removal)

- ลดกลิ่นและสี (Odor and Color removal)

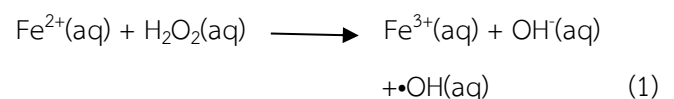
ผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชัน (oxidized products) ที่ต้องการอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะหมายถึงสารประกอบอินทรีย์ได้ถูกเปลี่ยนรูปจนหมดสภาพการเป็นสารพิษ และในแง่ของการตรวจสอบสมบัติของน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ด้วยการตรวจสอบค่า COD หรือค่า TOC ถ้าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จากการเกิดปฏิกิริยา คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วค่า COD หรือค่า TOC ที่ตรวจสอบหลังปฏิกิริยาย่อมจะมีค่าน้อยจนสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางพาราโดยกระบวนการเฟนตัน (fenton process) กรณีศึกษาจากโรงงานยางพาราใน อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กลไกของปฏิกิริยาเฟนตัน

จากการศึกษาพบว่าศักยภาพของปฏิกิริยาเฟนตันมีมากในระดับที่สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้อย่างสมบูรณ์ [15] ปฏิกิริยาเฟนตัน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับไอออนของเฟอร์รัส ซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals) ดังสมการที่ (1) [16]

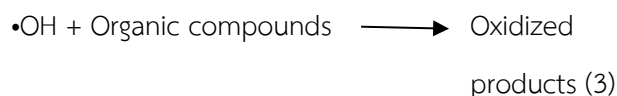


ทั้งนี้ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลของสารละลายในปฏิกิริยา (1) สามารถกระตุ้นให้เกิดได้มากขึ้นเมื่อมีแสงยูวี (ultraviolet) หรือ ก๊าซโอโซน (O_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [17]

ปฏิกิริยาต่อมาคืออนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) แล้วให้ได้ไอออนของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ดังสมการที่ (2) [18]



หรือในเวลาเดียวกันอนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบอินทรีย์ในสารละลาย ดังสมการที่ (3)



ต่อมาปฏิกิริยาจะมีการทำซ้ำโดยไอออนเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะช่วยเร่งให้มีการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไปเป็นก๊าซออกซิเจนและอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิล (perhydroxyl radicals) โดยที่ความเข้มข้นของไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงเรื่อย ๆ ดังสมการที่ (4) และ (5) [16]



อนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิลเป็นตัวออกซิไดซ์ที่อ่อน (ระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเปอร์แมงกานेट) แต่มีความสำคัญในกระบวนการเกิดไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้อนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลไฮดรอกซิลจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์เกือบทั้งหมดและสุดท้ายจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ปัญหาโดยตรงของปฏิกิริยานี้คือการควบคุมสารเคมี (reagents) และพีเอช (pH) ซึ่งหากมีการควบคุมองค์ประกอบเหล่านี้ไม่ดีพอก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยานั้นเป็นเพียงน้ำ และออกซิเจนเท่านั้น [19]

3. วิธีการศึกษา

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี

- 1) โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (Merck)
- 2) ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) (Merck)

3) ไอออน (ii) แอมโมเนียซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$ (Merck)

4) เมอร์คิวรีซัลเฟต (HgSO_4) (Ajax Finechem)

5) 1,10-ฟีนาโทรลีนโมโนไฮไดรด์ ($\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Merck)

สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอย่างพาราด้วยกระบวนการเฟนตัน

- 1) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% โดยปริมาตร (H_2O_2 ร้อยละ 30 (V/V)) (Merck)
- 2) เฟอร์รัสไอออน ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Ajax Finechem)
- 3) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 95–97 (Merck)

3.2 การศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียอย่างพาราที่เกิดจากยางก้อนถ้วย

เบื้องต้นได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียอย่างพาราที่เกิดจากยางก้อนถ้วยจากโรงงานรับซื้อยางพาราในเขตจังหวัดอุบลราชธานีเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของน้ำเสียต่าง ๆ ดังตารางที่ 2

3.3 การบำบัดน้ำเสียอย่างพาราด้วยกระบวนการเฟนตัน

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียอย่างพาราด้วยกระบวนการเฟนตัน เริ่มจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างค่า COD และ H_2O_2 จากนั้นเมื่อได้ค่าอัตราส่วนที่เหมาะสม จึงทำการบำบัดน้ำเสียอย่างพารา โดยศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัด ได้แก่ pH ระยะเวลาสัมผัส และอัตราส่วนโดยมวลของ H_2O_2 และเหล็ก

3.3.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างค่า COD และ H_2O_2

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างค่า COD: H_2O_2 เลือกใช้ค่าเริ่มต้น 1:9 (โดยมวล) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสารเคมีผสม โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 89.7 [20] และในการวิจัยนี้ ได้เพิ่มอัตราส่วนของค่า

ตารางที่ 3 ค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา

ชุดการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3
		ระยะเวลาสัมผัส(min)	pH	อัตราส่วนโดยมวล H_2O_2 : $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
1	1	90	2	15:1
	2		3	5:1
	3		4	15:1
	4		4	10:1
	5		4	5:1
2	1	120	3	10:1
	2		2	10:1
	3		4	15:1
	4		3	15:1
	5		2	5:1
3	1	150	4	5:1
	2		2	15:1
	3		3	5:1
	4		3	15:1
	5		4	10:1

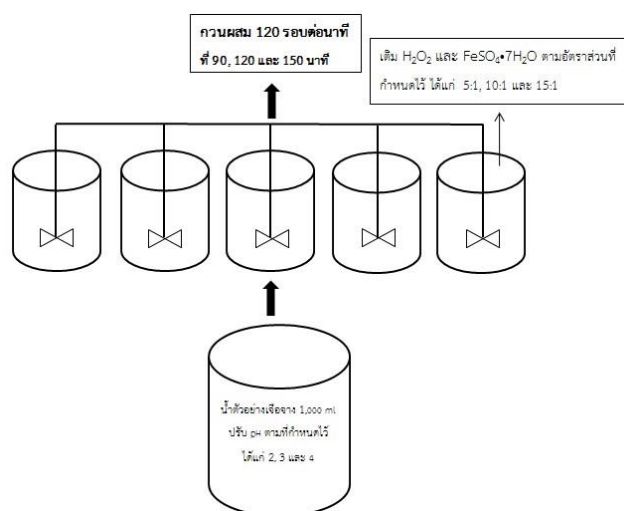
COD: H_2O_2 เป็น 2 เท่า ของค่าที่รายงานใน Benatti และคณะ [21] คือ เลือกใช้ค่าอัตราส่วนที่ 1:18 โดยในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการเฟ้นต้น ทำการทดลองโดยการนำตัวอย่างน้ำเสียยางพารา มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในถังพลาสติกทรงกระบอก อัตราส่วน 1:100 โดยการนำตัวอย่างน้ำเสียยางพารามา 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า COD และ pH ของตัวอย่างน้ำที่เจือจาง จากนั้นทำการปรับค่า pH ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 95–97 ให้มีค่าประมาณ 4 เริ่มการบำบัดโดยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสซัลเฟตในอัตราส่วน 4.5:1 (โดยมวล) [21] และกวนผสมด้วยเครื่อง

ทดสอบการตกตะกอน (Jar test) ที่ 120 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 120 และ 150 นาทีทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่า COD ทุก 30 นาที ในแต่ละการทดลองโดยนำตัวอย่างไปทำการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการแยกตะกอน จากนั้นนำน้ำส่วนที่ใสมาวิเคราะห์ค่า COD [21] ค่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากหัวข้อนี้จะนำไปใช้ในการทดลองในหัวข้อถัดไป

3.3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเฟ้นต้น ใน การบำบัดน้ำเสียยางพารา

ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ pH อัตราส่วนโดยมวลของ H_2O_2 : $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ และระยะเวลาสัมผัส ซึ่งค่าที่ใช้ในการแปรผันปัจจัยทั้ง 3 นี้ ใช้โปรแกรม D-optimal model ในการออกแบบชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3

จากการใช้โปรแกรม D-optimal model พบว่าต้องแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการเฟ้นต้น โดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่าง COD: H_2O_2 ที่ดีที่สุด ที่ได้จากหัวข้อ 2.3.1 ทำการทดลองโดยเจือจางตัวอย่างน้ำเสียในอัตราส่วน 1:100 ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.3.1 และวัดค่าพารามิเตอร์ COD, SS และ TDS ก่อนเริ่มการบำบัด จากนั้นเริ่มการบำบัด โดยในชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระยะเวลาสัมผัสที่ 90 นาที ปรับค่า pH 3 ค่า ได้แก่ pH เท่ากับ 2 3 และ 4 และปรับอัตราส่วนระหว่าง H_2O_2 : $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 3 ค่า ได้แก่ 5:1 10:1 และ 15:1 โดยปรับปริมาณของ H_2O_2 ต่อ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ใส่มีค่า เท่ากับ 24 มิลลิลิตร ต่อ 1.62 กรัม 24 มิลลิลิตร ต่อ 0.81 กรัม และ 24 มิลลิลิตร ต่อ 0.54 กรัม ตามลำดับ จากนั้นกวนผสมด้วยเครื่องทดสอบการตกตะกอน ที่ 120 รอบต่อนาที โดยทุก ๆ 30 นาที จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดมาประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่า COD เมื่อครบระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้น้ำตัวอย่างตกตะกอน จากนั้นนำน้ำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่า COD SS และ TDS โดยทุก ๆ การทดลองทำซ้ำ



รูปที่ 5 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางพาราโดยกระบวนการเฟ้นต้น

2 ครั้ง และใน ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระยะเวลาสัมผัสที่ 120 นาที ปรับค่า pH 3 ค่า ได้แก่ pH เท่ากับ 2 3 และ 4 และปรับอัตราส่วนระหว่าง $H_2O_2:FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 วิธีการต่าง ๆ เหมือนดังอธิบายในชุดการทดลองที่ 1 ยกเว้นเมื่อครบระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้น้ำตัวอย่างตกตะกอน จากนั้นนำน้ำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 สำหรับ ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ระยะเวลาสัมผัสที่ 150 นาที ปรับค่า pH 3 ค่า ได้แก่ pH เท่ากับ 2 3 และ 4 และปรับอัตราส่วนระหว่าง $H_2O_2:FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 ขั้นตอนการทดลองเหมือนกับที่อธิบายข้างต้น เมื่อครบระยะเวลาสัมผัส 150 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้น้ำตัวอย่างตกตะกอน จากนั้นนำน้ำส่วนใสมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 รูปที่ 5 แสดงการทำกรทดลองแปรผันปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียทางพาราด้วยกระบวนการเฟ้นต้น

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียทางพาราที่เกิดจากยางก้อนถ้วย

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียทางพาราที่ทำการศึกษา เป็นน้ำเสียจากยางก้อนถ้วยของโรงงานรับซื้อยางพาราขนาดใหญ่แห่ง



รูปที่ 6 จุดเก็บน้ำเสียทางพาราที่เกิดจากยางก้อนถ้วย



รูปที่ 7 ลักษณะของน้ำเสียทางพาราที่เกิดจากยางก้อนถ้วย

ตารางที่ 4 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียทางพารา

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย
pH	5.52±0.05
COD (mg/L)	52,179±100.49
SS (mg/L)	916.67±125.83
TDS (mg/L)	25,350±40.636

ตารางที่ 5 ค่า COD ของน้ำเสียยางพาราก่อนและหลังการบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัด ที่อัตราส่วน $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:9 และ 1:18

อัตราส่วน $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2$ (by wt.)	ค่า COD ก่อน การบำบัด (mg/L)	ระยะเวลาสัมผัส (min)	ค่า COD หลัง การบำบัด (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
1:9	472±22.63	30	328.00±90.51	30.51±19.18
		60	264.00±0.00	44.07±0.00
		90	216.00±22.63	54.24±4.79
		120	200.00±22.63	57.63±4.79
		150	208.00±11.31	55.93±2.40
1:18	472±22.63	30	184.00±90.51	61.02±19.18
		60	112.00±33.94	76.27±7.91
		90	72.00±67.88	87.75±14.38
		120	120.00±22.63	74.58±4.79
		150	72.00±0.00	84.75±0.00

หนึ่ง ในอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งโรงงานนี้มีบ่อสำหรับรองรับน้ำเสียยางพาราทั้งหมด 2 บ่อ ซึ่งจุดเก็บน้ำตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 6 จากการสังเกตพบว่าลักษณะของน้ำเสียยางพาราจากยางก้อนถ้วย มีสีดำ มีกลิ่นเหม็นฉุนคละยน้ำเสียจากบ่อเกรอะ ดังแสดงในรูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียสรุปดังตารางที่ 4

4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการเฟ้นตัน

4.2.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาอัตราส่วนที่

เหมาะสมระหว่างค่า COD และ H_2O_2

จากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างค่า $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2$ เลือกใช้ค่าเริ่มต้น 1:9 และได้เพิ่มอัตราส่วนของค่า $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2$ เป็น 2 เท่า คือ ค่าอัตราส่วนที่ 1:18 จากผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้กระบวนการเฟ้นตันในการบำบัดน้ำเสียยางพารา ด้วยอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{COD}:\text{H}_2\text{O}_2$ ที่ 1:9 และ 1:18 แล้ววัดค่า COD ทุก ๆ 30 นาที ที่อัตราส่วน 1:18 (โดยมวล) จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ที่ดีที่สุด คือ 87.75±14.38% ที่ระยะเวลาสัมผัส 90

นาที ในขณะที่ ที่อัตราส่วน 1:9 (โดยมวล) จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ที่ดีที่สุด ที่ 57.63±4.79% ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ทั้งนี้ ที่ค่าอัตราส่วน 1:18 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด อาจเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างรุนแรง ถ้ามีการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้ค่า COD ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงขึ้น

4.2.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียยางพารา

ผลการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อกระบวนการเฟ้นตันในการบำบัดค่า COD ของน้ำเสียยางพาราโดยการแปรผัน 3 ค่า ได้แก่ pH 2 3 และ 4 พบว่า เมื่อใช้กระบวนการเฟ้นตันในการบำบัดน้ำเสียยางพารา ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด คือ ที่ pH 3 ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5:1 โดยมี ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ 83.47±6.38% ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที อันดับที่สอง ที่ pH

4 ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5:1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ $83.41\pm 5.08\%$ ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที สำหรับ ที่ pH 2 ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5:1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ $71.57\pm 0.93\%$ ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ค่าซีโอดี (COD) ไม่เกิน 120 mg/L ถือว่าผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ดังแสดงในตารางที่ 6

จะเห็นว่า ที่ pH 3 สามารถลดค่า COD ได้มากที่สุด เนื่องจาก pH ดังกล่าว จะทำให้เหล็กอยู่ในรูป $\text{Fe}(\text{OH})^+$ ซึ่งเป็นรูปที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าเหล็กในรูปอื่น [22] จึง

ทำให้ $\bullet\text{OH}$ ถูกผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาเฟนตันเป็นจำนวนมาก ดังนั้นอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจึงสูงขึ้น หรือทำให้ค่า COD ลดลงมากขึ้นนั่นเอง

ที่ pH มากกว่า 3 อัตราการลดลงของค่า COD จะต่ำลง เนื่องจากไอออนเหล็กเปลี่ยนรูปและตกตะกอนอยู่ในรูปของ $\text{Fe}(\text{OH})^3$ ทำให้ $\bullet\text{OH}$ ที่ผลิตจากกระบวนการเฟนตันน้อยลง อัตราการย่อยสลายจึงน้อยลงตามไปด้วย [23] เช่นเดียวกัน ที่ pH น้อยกว่า 3 อัตราการลดลงของค่า COD จะต่ำลง เนื่องจากปริมาณ H^+ ที่มีจำนวนมากจะทำปฏิกิริยากับ $\bullet\text{OH}$ เกิดเป็น H_2O อีกทั้ง ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ทำการปรับ pH ซึ่งมีปริมาณมากพอที่จะสามารถทำปฏิกิริยากับ $\bullet\text{OH}$ ทำให้เกิดการแย่งการทำปฏิกิริยาระหว่าง $\bullet\text{OH}$ และ สารอินทรีย์ [24]

ตารางที่ 6 ผลการบำบัดค่า COD ของน้ำเสียยางพาราโดยกระบวนการเฟนตัน

ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ค่า COD ก่อน การบำบัด (mg/L)	ค่า COD หลัง การบำบัด (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
ระยะเวลาสัมผัส (min)	pH	อัตราส่วนโดยมวล $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$			
90	2	15:1	448.00±13.86	360.00±11.31	20.34±0.49
	3	5:1		74.67±33.31	83.47±6.38
	4	15:1		296.00±11.31	32.73±2.57
	4	10:1		80.00±22.63	81.82±5.14
	4	5:1		74.67±24.44	83.41±5.08
120	3	10:1	437.33±13.86	77.33±16.65	82.32±3.74
	2	10:1		312.00±11.31	28.42±3.52
	4	15:1		264.00±11.31	40.00±2.57
	3	15:1		224.00±16.00	48.78±3.68
	2	5:1		124.00±5.66	71.57±0.93
150	4	5:1	453.33±13.86	108.00±5.66	75.89±0.05
	2	15:1		416.00±22.63	7.15±0.36
	3	5:1		96.00±16.00	78.71±4.37
	3	15:1		272.00±22.63	39.34±1.99
	4	10:1		212.00±16.97	52.71±1.40

4.2.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียยางพารา

ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ของน้ำเสียยางพาราโดยทำการแปรผัน 3 ค่า ได้แก่ 5: 1 10:1 และ 15:1 พบว่า เมื่อใช้กระบวนการเฟ้นต้นในการบำบัดน้ำเสียยางพารา ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 5:1 และที่ pH เท่ากับ 3 โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ $83.47\pm 6.38\%$ ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที อันดับที่สอง ที่อัตราส่วนอัตราส่วนโดยมวล ระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่ 10:1 ค่า pH เท่ากับ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD

เท่ากับ $82.32\pm 3.74\%$ ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที สำหรับที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่ 15:1 และ pH เท่ากับ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ $48.78\pm 3.68\%$ ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ดังแสดงในตารางที่ 6

จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่ 5:1 สามารถลดค่า COD ได้มากที่สุด เนื่องจาก อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ดังกล่าว มีการทำปฏิกิริยากันระหว่าง H_2O_2 และ $\text{Fe}_2\text{SO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เนื่องจาก Fe^{2+} จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิต $\cdot\text{OH}$ ในกระบวนการเฟ้นต้น เมื่อมีปริมาณ H_2O_2 มากพอ จะทำให้ Fe^{2+} เร่งปฏิกิริยาการเกิด $\cdot\text{OH}$ ให้มีจำนวนที่มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จึงสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 7 ผลการบำบัดค่า SS ของน้ำเสียยางพารา โดยกระบวนการเฟ้นต้น

ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ค่า SS ก่อนการบำบัด	ค่า SS หลังการบำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด
ระยะเวลาสัมผัส (min)	pH	อัตราส่วนโดยมวล $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	(mg/L)	(mg/L)	(%)
90	2	15:1	9.0±2.83	4.5±2.12	51.30±8.26
	3	5:1		5.5±2.12	39.61±4.59
	4	15:1		6.0±2.83	35.06±1.01
	4	10:1		5.5±2.12	39.61±4.59
	4	5:1		6.0±1.41	32.47±5.51
120	3	10:1	9.0±2.83	4.5±0.71	48.70±8.26
	2	10:1		6.5±2.12	27.92±0.92
	4	15:1		5.5±0.71	37.01±11.94
	3	15:1		5.0±1.41	41.16±1.84
	2	5:1		6.5±2.12	27.92±0.92
150	4	5:1	9.0±2.83	7.0±2.83	23.38±7.35
	2	15:1		5.5±1.12	39.61±4.59
	3	5:1		7.5±2.12	16.23±2.75
	3	15:1		5.0±0.00	41.56±18.36
	4	10:1		6.0±1.41	32.47±5.51

4.2.4 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียยางพารา

ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อกระบวนการเพนตันในการบำบัดค่า COD ของน้ำเสียยางพาราโดยทำการแปรผัน 3 ค่า ได้แก่ 90 120 และ 150 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด คือ ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5:1 และ ค่า pH เท่ากับ 3 โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ $83.47\pm 6.38\%$ อันดับที่สอง ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ที่อัตราส่วนโดยมวล ระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 10:1 และ ค่า pH เท่ากับ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ $82.32\pm 3.74\%$ สำหรับที่ ระยะเวลาสัมผัส 150 นาที ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5:1 และ pH เท่ากับ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD เท่ากับ $78.71\pm 4.37\%$ ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเพนตัน โดย นาถ ภูวงศ์ผา เฉลิมเรืองวิริยะชัย และ สุนันทา เลาวณย์ศิริ [24]

4.2.5 ผลการศึกษาการบำบัดค่า SS ของน้ำเสียยางพาราโดยกระบวนการเพนตัน

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเพนตันในการบำบัดค่า SS ของน้ำเสียยางพาราโดยทำการแปรผัน 3 ปัจจัย ได้แก่ pH ระยะเวลาสัมผัส และอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ พบว่า ที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่ 15:1 จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า SS ที่ดีที่สุด คือ $51.30\pm 8.26\%$ ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ทั้งนี้ ค่า SS หลังจากทำการบำบัดโดยกระบวนการเพนตัน เท่ากับ 4.5 ± 2.12 mg/L เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ปริมาณสารแขวนลอยไม่เกิน 50 mg/L ถือว่าผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ดังแสดงในตารางที่ 7

จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้กระบวนการเพนตันในการบำบัดค่า SS ของน้ำเสียยางพารา ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด คือที่ pH 2 ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 15:1 โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัด เท่ากับร้อยละ 51.30 ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ทั้งนี้เมื่อใช้กระบวนการเพนตันในการบำบัดน้ำเสียยางพาราจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน Fe^{2+} จะถูกออกซิไดซ์ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็น Fe^{3+} จะทำให้เกิดตะกอนของเหล็ก ซึ่งทำให้การบำบัดค่า SS มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควร

4.2.6 ผลการศึกษาการบำบัดค่า TDS ของน้ำเสียยางพาราโดยกระบวนการเพนตัน

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเพนตันในการบำบัดค่า TDS ของน้ำเสียยางพาราโดยทำการแปรผัน 3 ปัจจัย ได้แก่ pH ระยะเวลาสัมผัส และอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ พบว่า ค่า TDS เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ปริมาณสารของแข็งที่ละลายน้ำ ไม่เกิน 3,000 mg/L ถือว่าผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ยกเว้นค่า TDS หลังการบำบัดที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 15:1 และระยะเวลาสัมผัสที่ 90 นาที ซึ่งมีค่าประมาณ $3,305\pm 106.67$ mg/L ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ดังแสดงในตารางที่ 8

จะเห็นว่า เมื่อใช้กระบวนการเพนตันในการบำบัดน้ำเสียยางพารา ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของค่า TDS ลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่า TDS น้ำเสียก่อนบำบัดกับน้ำเสียหลังการบำบัด

ทั้งนี้ เนื่องจากการเติม $\text{Fe}_2\text{SO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ลงไปในตัวอย่างน้ำที่จะทำการบำบัดเป็นการเพิ่มสารละลายลงไปในตัวอย่างน้ำ ซึ่งค่าสารละลายในน้ำ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า TDS จึงทำให้ค่า TDS สูงขึ้น และที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง

$H_2O_2:FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เท่ากับ 15:1 และระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ค่า TDS เพิ่มขึ้นสูงมาก ทั้งนี้จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพด้วยตาเปล่าพบว่า เมื่อเติม H_2O_2 และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ปฏิกริยาฟenton ไม่เกิดขึ้นในทันที โดยพบว่าไม่เกิดฟองและไม่เกิดตะกอนเหล็ก แสดงว่า Fe^{2+} ไม่ถูกออกซิไดซ์ ในทันทีทันใด ซึ่งจากการสังเกต พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษากการบำบัดน้ำเสียทางพาราโดยกระบวนการฟenton พบว่า การบำบัดค่าซีโอดี (COD) ที่ดีที่สุดคือที่ pH 3 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $H_2O_2:FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ 5:1 ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที มีค่าซีโอดี (COD) ลดลงจาก

448.00±13.86 mg/L เหลือ 67.74±31.33 mg/L การบำบัดค่าสารแขวนลอย (suspended solids) ที่ดีที่สุดคือที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $H_2O_2:FeSO_4 \cdot 7H_2O$ คือ 15:1 ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที มีปริมาณสารแขวนลอย (suspended solids) ลดลงจาก 9±2.82 mg/L

เหลือ 4.5±2.12 mg/L ทั้งสองค่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมมีค่าไม่เกิน มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

การบำบัดปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) พบว่า ค่า TDS มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ปริมาณสารของแข็งที่ละลายน้ำไม่เกิน 3,000 mg/L ถือว่าผ่าน

ตารางที่ 8 ผลการบำบัดค่า TDS ของน้ำเสียทางพารา โดยกระบวนการฟenton

ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ค่า TDS ก่อนการบำบัด (mg/L)	ค่า TDS หลังการบำบัด (mg/L)
ระยะเวลาสัมผัส(min)	pH	อัตราส่วนโดยมวล $H_2O_2 : FeSO_4 \cdot 7H_2O$		
90	2	15:1	253.5±6.36	3,305.0±106.67
	3	5:1		943.5±4.95
	4	15:1		631.0±5.66
	4	10:1		735.0±18.38
	4	5:1		925.0±1.41
120	3	10:1	253.5±6.36	808.0±1.41
	2	10:1		1,964.5±21.92
	4	15:1		789.0±213.55
	3	15:1		779.5±6.36
	2	5:1		1,840.5±99.70
150	4	5:1	253.5±6.36	948.0±14.14
	2	15:1		3,085.0±7.07
	3	5:1		797.5±219.91
	3	15:1		770.5±17.68
	4	10:1		722.0±21.21

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งยกเว้นค่า TDS ที่ pH 2 อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 15:1 และ ระยะเวลาสัมผัส ที่ 90 นาที

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่วิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วารินทร์ เพชรสีช่วง. อุตสาหกรรมยาง. เข้าถึงได้จาก: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/4b7f69d2dc4d4565af75e85d57d48157/IO_Rubber_2016_TH.aspx. [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561].
- [2] Science News. บทความวิทยาศาสตร์. ยางธรรมชาติ. เข้าถึงได้จาก: http://www.electron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0. [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561].
- [3] สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. การแถลงข่าวการค้าระหว่างประเทศของไทย เดือนพฤษภาคม ปี 2561. เข้าถึงได้จาก: https://www.ditp.go.th/contents_attach/236374/236374.pdf. [เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม 2562]
- [4] ระบบจัดการความรู้ การยางแห่งประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก: http://km.rubber.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=134:2011-05-20-04-17-11. [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561].
- [5] รายงานฉบับสมบูรณ์ (final report) โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับประเทศเพื่อนบ้าน (ยุทธศาสตร์การพัฒนาร่วมมือด้านอุตสาหกรรมภายใต้กรอบโครงการพัฒนาเขตเศรษฐกิจสามฝ่ายอินโดนีเซีย-มาเลเซีย-ไทย: IMT-GT). เข้าถึงได้จาก: http://www.thaifta.com/trade/study/imtgt_chap5-1.pdf [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561].
- [6] Chiangraifocus. สังคมออนไลน์ของคนเชียงราย. เข้าถึงได้จาก: <http://www.chiangraifocus.com/forums/index.php?topic=742405.0> [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561]
- [7] แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์. การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2539.
- [8] สุพัตรา เฉลียวพงศ์. สภาวะ pH ที่เหมาะสมของบ่อไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2540.
- [9] อารณ รักเกิด. การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัดไนโตรเจน ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ มวลชีวภาพประเภทเกาะผิว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2541.
- [10] พัฒนวรรณ วิทยกุล. การบำบัดซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบบ่อไร้อากาศและระบบการกรองทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2544.
- [11] อรัญ หันพงศ์กิตติกุล. การใช้ประโยชน์จากน้ำเสียของการทำยาง. วารสารยางพารา. 2524; 2(3): 141-146.
- [12] นัยทัศน์ ภูธรณย์, ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, วรรณ วังศรีกรเชาวลิต. การศึกษาและวิเคราะห์สถานภาพปริมาณของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตรในภาคใต้ของประเทศไทย เน้นอุตสาหกรรมยางพารา. ปทุมธานี; สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ: 2529.
- [13] siam watertech. การบำบัดน้ำเสีย. เข้าถึงได้จาก: <http://www.siamwatertech.com/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B8%B3%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%>

- B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2.html [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561]
- [14] USP technologiesTM. Hydrogen Peroxide is a Powerful Oxidizer. เข้าถึงได้จาก: <http://www.h2o2.com/products-and-services/us-peroxide-technologies.aspx?pid=112&name=Hydrogen-Peroxide> [เข้าถึงเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561].
- [15] Bigda RJ. Consider Fenton's Chemistry for Wastewater Treatment. *Acc. Chem. Eng. Prog. Res.* 1995; 91: 62–66.
- [16] Walling C. Fenton's Reagent Revisited. *Acc. Chem. Res.* 1975; 8: 125–131.
- [17] Arslan IA, Isil AB. The effect of pre-ozonation on the H₂O₂/UV-C treatment of raw and biologically pre-treated textile industry wastewater. *Water Science and Technology.* 2002; 45: 297–304.
- [18] Kermer ML. Mechanism of the Fenton reaction. Evidence for a new intermediate. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 1999; 1: 3595–3605.
- [19] Ghaly MY, Härtel MY, Mayer GR, and Haseneder R. Photochemical oxidation of p-chlorophenol by UV/H₂O₂ and photo-Fenton process. A comparative study. *Waste Manage.* 2001; 21 (11): 41–7.
- [20] Benatti CT, Tavares CRG. Fenton's Process for the Treatment of Mixed Waste Chemicals. *Environmental and Analytical Update.* 2012.
- [21] Benatti CT, Tavares CRG, Guedes TA. Optimization of Fenton's oxidation of chemical laboratory wastewaters using the response surface methodology. *Journal of Environmental Management.* 2006; 80: 66–74.
- [22] Malik PK, Saha SK. Oxidation of direct dyes with hydrogen peroxide using ferrous ion as catalyst. *Separation and purification technology.* 2003; 31: 241–250.
- [23] Chiou CS, Chen YH, Chang CT, Chang CY, Shie JL, Li YS. Photochemical mineralization of di-n-butyl phthalate with H₂O₂/Fe³⁺. *Journal of Hazardous Materials.* 2006; B135: 344–349.
- [24] De Laat J, Le GT, Legube BA. comparative study of the effects of chloride, sulfate and nitrate ions on the rates of decomposition of H₂O₂ and organic compounds by Fe(II)/H₂O₂ and Fe(III)/H₂O₂. *Chemosphere.* 2004; 55: 715–723.
- [25] นาง ภูวงศ์ผา, เฉลิม เรืองวิริยะชัย, สุนันทา เลาว์ณย์ศิริ. การกำจัดสีและซีโอทีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วย ปฏิกิริยาเฟนตัน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มช.* 2555; 40(4): 1272–1284.