ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์เวชภัณฑ์ยาด้วยกระบวนการเฟนตันอ็อกซิเดชั่นโดยใช้ดินลูกรัง
(Treatment Efficiency of Synthetic PPCP Wastewater by Fenton Oxidation Using Laterite)

รวิรัชต์ สายพิณ[1]*
สุมณา ช้างแก้ว[1]
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.เจนจิต เอี่ยมจตุรภัทร[2]
[1]นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชา การจัดการด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมในเมือง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
smileravirat@gmail.com
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
* ผู้ติดต่อ (Corresponding author)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนสารเคมีประเภทเวชภัณฑ์ยาและเคมีภัณฑ์จากการใช้เพื่อดูแลสุขภาพมนุษย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติสูงขึ้น เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพมีประสิทธิภาพต่ำในการบำบัดสารเคมีดังกล่าว งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้กระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น โดยมีวัตถุประสงค์ประกอบด้วย (1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียผลิตภัณฑ์ยาด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น โดยการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของธาตุเหล็กมาใช้ในกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น และ (2) เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ต่อประสิทธิภาพการกำจัดผลิตภัณฑ์ยาที่เจือปนในน้ำ เวชภัณฑ์ยาที่เลือกใช้ 3 ชนิด ได้แก่ Acetaminophen Amoxicillin และ Estradiol โดยใช้ดินลูกรังซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีสารประกอบธาตุเหล็ก ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณ H_2O_2 ที่สูงขึ้น และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดยาทั้งสามชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้น การใช้ดินลูกรังเท่ากับ 1 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร$_{น้ำเสีย}$ สามารถกำจัดเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันได้เป็นอย่างดี เมื่อกำหนดค่าความเข้มข้นตั้งต้นของเวชภัณฑ์ยาเท่ากับ 10 mg/L ระยะเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 2 นาที พีเอชสารละลายตั้งต้นเท่ากับ 7 และปริมาณสาร H_2O_2 ระหว่าง 2-4 ml/100ml$_{น้ำเสีย}$ ประสิทธิภาพการกำจัดเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดมีค่ามากกว่าร้อยละ 85

คำสำคัญ ดินลูกรัง, ปฏิกิริยาเฟนตัน, มลพิษจากเวชภัณฑ์ยา

Abstract

Presently, the problem of chemical contamination included pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in natural water resources is significantly arised because the biological treatment system has low efficiency in the treatment of such chemicals. This

research examines the use of the Fenton oxidation process for treating of such chemicals. The objectives of the study were (1) to study the use of natural material containing iron compounds for FOP and (2) to study the effect of H_2O_2 concentrations and treatment time to the efficiency of FOP for removing three PPCPs include Acetaminophen (ACP), Amoxicillin (AMX) and Estradiol (EST) are used. Increase in H_2O_2 concentrations and treatment time resulted on higher treatment efficiency. Use of laterite soil of 1 g/100 $mL_{Wastewater}$ can treat all three types of pharmaceuticals by Fenton oxidation process using reaction time of 2 minutes, solution pH of 7, H_2O_2 concentrations between 2-4 ml / 100$mL_{Wastewater}$. Overall removal efficiency of those three types of pharmaceutical compounds in synthetic wastewater is greater than 85 percent.

Keywords Laterite, Fenton reaction, Pharmaceutical and Personal Care Products as Pollutants

บทนำ

ปัญหามลภาวะแวดล้อมทางน้ำจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไม่เหมาะสมและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ได้รับความสนใจจากทั้งหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ทุกหน่วยงานได้ตระหนักถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านมลพิษทางน้ำ ปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีจากผลิตภัณฑ์หรือเวชภัณฑ์ทางยาและการดูแลส่วนตัวของมนุษย์ ได้ทิ้งน้ำเสียเจือปนลงมาสู่สิ่งแวดล้อม (Pharmaceutical and Personal Care Products as Pollutants หรือย่อว่า PPCPs) ในแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่และมีความสำคัญของประเทศไทย และยังพบสารดังกล่าวในน้ำเสียซึ่งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงบำบัดน้ำเสีย ในเขตกรุงเทพมหานคร (Teixeira et al., 2012) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารเวชภัณฑ์ทางยาและการดูแลส่วนตัวซึ่งบริโภคโดยทั่วไปในชีวิตประจำวันของมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีสาร PPCPs อีกเป็นจำนวนมากที่ถูกรายงานการตรวจพบในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียที่ผ่านขบวนการบำบัดแล้ว โดยโรงบำบัดน้ำเสีย(Michael et al., 2013) ซึ่งส่วนมากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบขั้นที่สอง (Secondary wastewater treatment) ที่มักนิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียรูปแบบทางชีวภาพ (Biological treatment)

กระบวนการออกซิเดชั่นขั้นสูง (Advanced oxidation processes: AOPs) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารจำพวกอินทรีย์เจือปนอยู่รวมถึงสารประเภท PPCPs และ EDCs (Endocrine disrupting compounds) ที่ปะปนในน้ำเสียซึ่งในปัจจุบันก็มีเทคโนโลยีด้าน AOPs ที่ถูกคิดค้นขึ้นและมีใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น การใช้โอโซน (Ozonation) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยสารไททาเนียมไดออกไซด์ (Photocatalysis with titanium dioxide) การใช้กระบวนการออกซิเดชั่นทางไฟฟ้า-เคมี (Electrochemical oxidation) การใช้กระบวนการอัลตร้าโซนิค (ultrasonic irradiation) ช่วยเร่งให้เกิดการแตกตัวของน้ำเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล เป็นต้น เทคโนโลยีด้าน AOPs ที่ได้รับความนิยมอีกรูปแบบหนึ่ง คือ กระบวนการเฟนตัน (Fenton Technology) ซึ่งใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ได้ไฮดรอกซิลฟรีเรดิคอล (•OH) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ดี

Pouran et al., (2014) พบว่ากระบวนการเฟนตันสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในรูปแบบสารละลายเกลือของเหล็ก (ในรูป Fe^{2+} และ Fe^{3+}) ทำปฏิกิริยากับสารละลาย H_2O_2 หรือที่เรียกว่า Homogeneous fenton ซึ่งเทคโนโลยีการใช้ Heterogeneous fenton process ก็ได้ถูกนำเสนอหลากหลายรูปแบบ แสดงเคลือบไอออนของเหล็กลงบนผิวซีโอไลท์ (Zeolite) (Subrahmanyam M. et al., 2006) Landau M. et al., 2011 ซึ่งเปิดเผยการเตรียมวัสดุตัวกรองน้ำโดยการเคลือบไอออนของเหล็กลงบนผิววัสดุรองรับ (Supporting material) ด้วยวิธีที่เรียกว่า selective extraction deposition (SED) อย่างไรก็ตามเทคนิคการการเคลือบไอออนของเหล็กลงบนพื้นผิวอนุภาคของแข็งนั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและยุ่งยาก ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่มีออกไซด์ของเหล็กเป็นองค์ประกอบสูงในการกระบวนการเฟนตันจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง อาทิ การใช้กากตะกรันเหล็ก (Slag) (Tsai et al., 2009) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของแร่เหล็กออกไซด์เป็นองค์ประกอบเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียโดยการสร้างกระบวนการออกซิเดชั่นขั้นสูงด้วยปฏิกิริยาเฟนตันโดยจะทำการเปรียบเทียบวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ หินลูกรัง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีผลิตภัณฑ์ยา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียผลิตภัณฑ์ยาด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น โดยการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของธาตุเหล็กมาใช้ในกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการกำจัดผลิตภัณฑ์ยาที่เจือปนในน้ำเสียสังเคราะห์

ขอบเขตการวิจัย

1. การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ยาสามชนิด ได้แก่ Acetaminophen (ACP) ,Amoxicillin (AMX) และEstradiol (EST) โดยเลือกใช้ความเข้มข้นยาตั้งต้นที่ 10 mg/L
2. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดผลิตภัณฑ์ยาในข้อ 1 โดยเลือกปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำเสีย ได้แก่ สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตั้งแต่ 0 – 2.5 mL และ เวลาเลือกใช้ตั้งแต่ 0-20 นาที
3. วัสดุทางธรรมชาติที่เลือกใช้ได้แก่ ดินลูกรังทั่วไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียผลิตภัณฑ์ยาด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น โดยการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของธาตุเหล็กมาใช้ในกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่นโดยใช้ดินลูกรัง และผลการปรับเปลี่ยนความเข้มข้น H_2O_2 และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ต่อประสิทธิภาพการกำจัด เวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิด ได้แก่ Acetaminophen (ACP) ,Amoxicillin (AMX) และEstradiol(EST) ในน้ำเสียสังเคราะห์

2. ขั้นตอนการวิจัย

การทดสอบหาประสิทธิภาพการกำจัดสารเคมีจากเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์โดยทดสอบแบบทีละเท (Batch Test) ซึ่งค่าความเข้มข้นของเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิด ได้แก่

Acetaminophen (ACP) Amoxicillin (AMX) และEstradiol (EST) สามารถหาได้โดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometry) ที่ความยาวคลื่น 243 ,228 และ256 nm ตามลำดับ โดยกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสารเคมี และค่าการดูดกลืนแสงเป็นลักษณะ linear regression มีค่า R^2 ระหว่าง 0.990 ถึง 0.999 ตามลำดับ

น้ำเสียสังเคราะห์ได้จากการนำเวชภัณฑ์ยาทั้ง 3 ชนิดมาละลายในน้ำกลั่นชนิด Deionized water โดยกำหนดความเข้มข้นของเวชภัณฑ์ยาในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10 mg/L ดินลูกรังที่ใช้ได้มาจากแหล่งจำหน่ายวัสดุก่อสร้าง โดยนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกที่ติดมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งนำมาร่อนผ่านแร่งมาตรฐานเบอร์ 30 และเก็บใส่ถุงซิปเพื่อป้องกันความชื้นและนำไปใช้งานต่อไป

การทดสอบหาการปรับเปลี่ยนปริมาณ H_2O_2 ทำโดยการทดสอบเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ใช้ในน้ำเสียสังเคราะห์ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดในกระบวนการเฟนตันเสมือน ด้วยวัสดุจากธรรมชาติ โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 50 mL ที่มีส่วนผสมของเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดที่ความเข้มข้น 10 mg/L จากนั้นเลือกใช้ปริมาณสาร H_2O_2 ตั้งแต่ 0 mL – 2.5mL โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบหาความเข้มข้นสาร H_2O_2 เดียวกัน คือ ความเข้มข้นตั้งต้นของเวชภัณฑ์ยาในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10 mg/L, ปริมาณวัสดุจากธรรมชาติที่ใช้ 0.5 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ 2 นาที พีเอชสารละลายตั้งต้น 7 และก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องมีการกรองโดยใช้กระดาษกรองก่อนที่จะวัดค่าการดูดกลืนแสง นอกจากนี้ต้องมีสารละลาย Blank ซึ่งไม่มีเวชภัณฑ์ยาผสมอยู่และมีเงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

การทดสอบเพื่อศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่เหมะสมต่อการกำจัดเวชภัณฑ์ยาในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเฟนตันเสมือน โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 50 ml. ที่มีส่วนผสมของเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดที่ความเข้มข้น 10 mg/L จากนั้นเลือกใช้เวลาในการทดสอบ ตั้งแต่ 0 ,2 ,5 ,10 ,15 และ20 นาที โดยที่การทดสอบหาปริมาณวัสดุจากธรรมชาติที่เหมาะสมกำหนดเงื่อนไขเดียวกัน คือ ใช้ปริมาณที่เหมาะสมที่สุด และปริมาณวัสดุจากธรรมชาติที่เหมาะสมที่สุด และค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งต้นเท่ากับ 7 โดยที่การทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่เหมาะสม และก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องมีการกรองโดยใช้กระดาษกรองก่อนที่จะวัดค่าการดูดกลืนแสง นอกจากนี้ต้องมีสารละลาย Blank ซึ่งไม่มีเวชภัณฑ์ยาผสมอยู่และมี เงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

3. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดสอบความเข้มข้นของเวชภัณฑ์ยาทั้ง 3 ชนิด ที่ความแตกต่างของปริมาณ H_2O_2 และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ถูกนำไปพล็อตกราฟ เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดขึ้นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีเวชภัณฑ์ยาแต่ละชนิด

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาผลและวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของสารที่ใช้ในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดในกระบวนการเฟนตันเสมือนด้วยวัสดุจากธรรมชาติ โดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 50 mL ที่มีส่วนผสมของเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิด ที่ความเข้มข้น 10 mg/L จากนั้นเลือกใช้ปริมาณสาร H_2O_2 ตั้งแต่ 0 mL – 2.5mL โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบหาความเข้มข้นสาร H_2O_2 เดียวกัน คือ ความเข้มข้นตั้งต้นของเวชภัณฑ์ยาในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 10 mg/L ปริมาณวัสดุจากธรรมชาติที่ใช้เท่ากับ

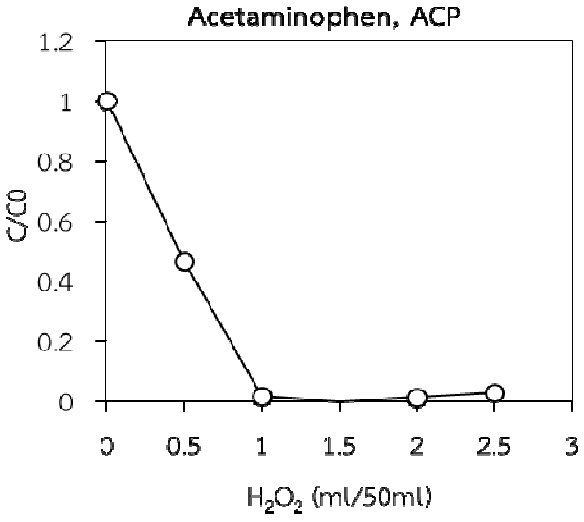
0.5 g ระยะเวลาที่ใช้ 2 นาที ค่าพีเอชสารละลายตั้งต้นเท่ากับ 7 และก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องมีการกรองโดยใช้กระดาษกรองเพื่อกรองสารละลายก่อนที่จะวัดค่าการดูดกลืนแสง นอกจากนี้ต้องมีสารละลาย Blank ซึ่งไม่มีเวชภัณฑ์ยาผสมอยู่และมีเงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการทดลองโดยกำหนดปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของ H_2O_2 ในการทดลองสร้างปฏิกิริยาเฟนตันของน้ำเสียที่มีสารACP สารAMX และสารEST

เวชภัณฑ์ยา (mg/ L)	10	10	10	10	10	10
ปริมาณน้ำเสีย (ml)	50	50	50	50	50	50
ปริมาณวัสดุ (g)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
pH ตั้งต้น	7	7	7	7	7	7
T (C°)	25	25	25	25	25	25
เวลา (นาที)	2	2	2	2	2	2
H_2O_2 (ml/50ml)	**0**	**0.5**	**1**	**1.5**	**2**	**2.5**

ผลการวิจัย

1.ประสิทธิภาพการกำจัด ACP ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนโดยใช้ดินลูกรัง

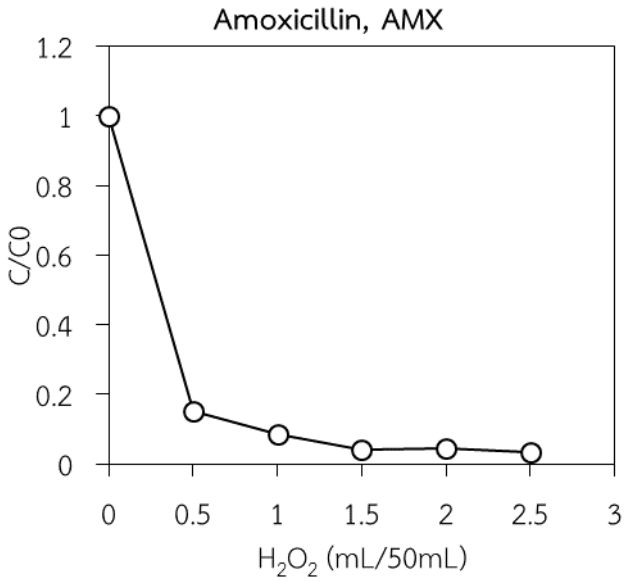


ภาพที่ 1 ผลการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนในการบำบัดยาอะเซตามิโนเฟน (Acetaminophen, ACP) ด้วยดินลูกรัง (เงื่อนไขในการทดลอง : ความเข้มข้น ACP ตั้งต้น = 10 mg/L , ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ = 50 mL , ปริมาณดินลูกรัง = 0.5g/50mL , พีเอชตั้งต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ = 7 , ระยะเวลาทำปฏิกิริยา = 2 นาที)

พิจารณาภาพที่ 1 แสดงผลการทดลองใช้ดินลูกรังในการทดสอบปฏิกิริยาเสมือนเฟนตัน เพื่อกำจัดยาอะเซตามิโนเฟน (Acetaminophen, ACP) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/L โดยเลือกปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ (50mL) ระหว่าง 0 mL ถึง 2.5 mL ปริมาณดินลูกรังแห้งเท่ากับ 0.5 g/50mL$_{water}$ ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งต้นเท่ากับ 7 และกำหนดระยะเวลาทำปฏิกิริยา 2 นาที แสดงให้เห็นว่าปริมาณ H_2O_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อการลดลงของ ACP ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของ ACP มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 1

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทดลอง ที่ปริมาณ H_2O_2 เท่ากับ 1 mL/50 mL$_{น้ำเสีย}$ ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด ACP โดยดูจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น ACP ที่เหลือต่อความเข้มข้น ACP ตั้งต้น (C/Co) มีค่าประมาณเท่ากับ 0.016 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 98.33 และปริมาณ H_2O_2 ที่มากกว่า 1 mL/50 mL$_{น้ำเสีย}$ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด ACP แต่อย่างใด

2.ประสิทธิภาพการ กำจัด AMX ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนโดยใช้ดินลูกรัง



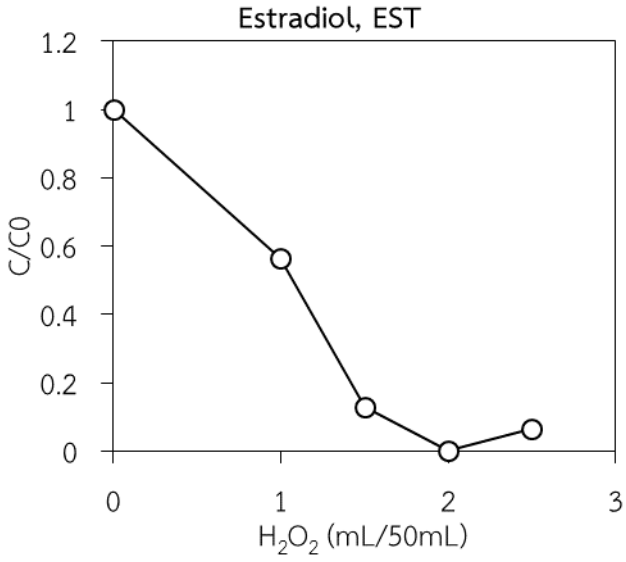
ภาพที่ 2 ผลการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนในการบำบัดยาอะม็อกซีซิลลิน (Amoxicillin, AMX) ด้วยดินลูกรัง
(เงื่อนไขในการทดลอง : ความเข้มข้น AMX ตั้งต้น = 10 mg/L , ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ = 50 mL ปริมาณดินลูกรัง = 0.5g/50mL , พีเอชตั้งต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ = 7 , ระยะเวลาทำปฏิกิริยา = 2 นาที)

พิจารณาภาพที่ 2 แสดงผลการทดลองใช้ดินลูกรังในการทดสอบปฏิกิริยาเสมือนเฟนตัน เพื่อกำจัดยาอะม็อกซีซิลลิน (Amoxicillin, AMX) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/L โดยเลือกปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ (50mL) ระหว่าง 0 mL ถึง 2.5 mL ปริมาณดินลูกรังแห้งเท่ากับ 0.5 g/50mL$_{water}$ ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งต้น

เท่ากับ 7 และกำหนดระยะเวลาทำปฏิกิริยา 2 นาที กราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณ H_2O_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อการลดลงของ AMX ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของ AMX มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 2

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทดลอง ที่ปริมาณ H_2O_2 เท่ากับ 1 mL/50 $mL_{น้ำเสีย}$ ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด AMX โดยดูจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น AMX ที่เหลือต่อความเข้มข้น AMX ตั้งต้น (C/Co) มีค่าประมาณเท่ากับ 0.084 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 91.59 และปริมาณ H_2O_2 ที่มากกว่า 1 mL/50 $mL_{น้ำเสีย}$ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด AMX แต่อย่างใด

3.ประสิทธิภาพการกำจัด EST ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนโดยใช้ดินลูกรัง

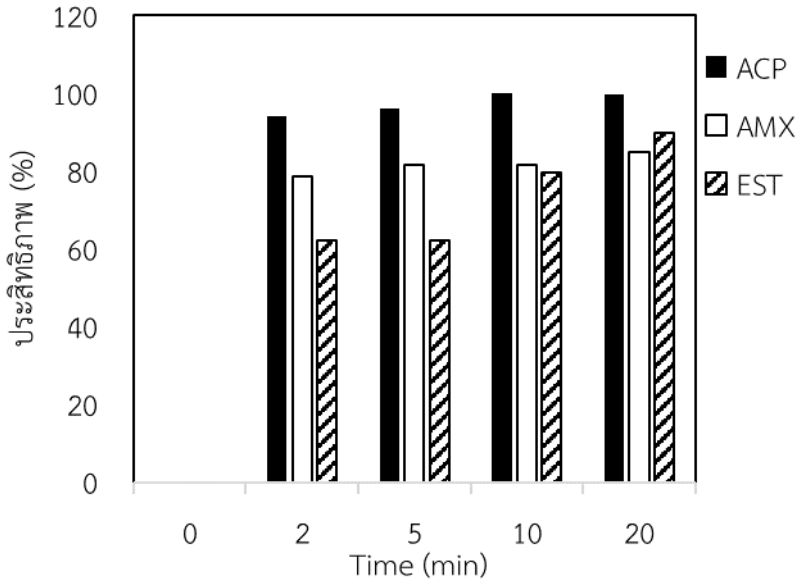


ภาพที่ 3 ผลการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนในการบำบัดยาเอสตาดิออล (Estradiol, EST) ด้วยดินลูกรัง
(เงื่อนไขในการทดลอง : ความเข้มข้น EST ตั้งต้น = 10 mg/l , ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ = 50 mL ,ปริมาณดินลูกรัง = 0.5g/50mL , พีเอชตั้งต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ = 7 , ระยะเวลาทำปฏิกิริยา = 2 นาที)

พิจารณาภาพที่ 3 แสดงผลการทดลองใช้ดินลูกรังในการทดสอบปฏิกิริยาเสมือนเฟนตัน เพื่อกำจัดยาเอสตาดิออล (Estradiol, EST) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/L โดยเลือกปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ (50mL) ระหว่าง 0 mL ถึง 2.5 mL ปริมาณดินลูกรังแห้งเท่ากับ 0.5 g/50mL_{water} ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ตั้งต้นเท่ากับ 7 และกำหนดระยะเวลาทำปฏิกิริยา 2 นาที กราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณ H_2O_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อการลดลงของ EST ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของ ESTมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 3

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทดลอง ที่ปริมาณ H_2O_2 เท่ากับ 2 mL/50 $mL_{น้ำเสีย}$ ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด EST โดยดูจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น EST ที่เหลือต่อความเข้มข้น EST ตั้งต้น (C/Co) มีค่าประมาณเท่ากับ 0.002 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 99.97 และปริมาณ H_2O_2 ที่มากกว่า 2 mL/50 $mL_{น้ำเสีย}$ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด EST แต่อย่างใด

4.ผลการปรับเปลี่ยนระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการกำจัดเวชภัณฑ์ยา



ภาพที่ 4 ผลการปรับเปลี่ยนเวลา (Time) ต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเฟนตันเสมือนในการบำบัดยาทั้ง 3 ชนิดด้วยดินลูกรัง : ได้แก่ Acetaminophen (ACP) ,Amoxicillin (AMX) และEstradiol (EST) (เงื่อนไขในการทดลอง : ความเข้มข้นตั้งต้น = 10 mg/l ,ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ = 50 ml ,ปริมาณดินลูกรัง = 0.5g/50ml ,pH ตั้งต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ = 7 ,ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ = 1 มิลลิลิตร)

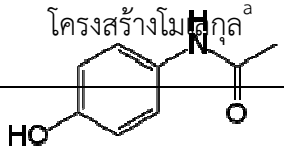
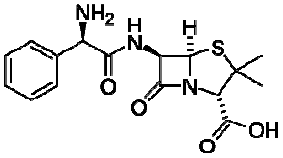
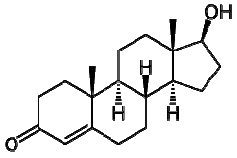
อภิปรายผลการวิจัย

ภาพที่ 1-3 แสดงการลดลงของความเข้มข้นเวชภัณฑ์ยาได้แก่ Acetaminophen (ACP) ,Amoxicillin (AMX) และEstradiol (EST)ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเลือกใช้ดินลูกรังที่ 1 กรัม ต่อ น้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดถูกควบคุมให้มีค่าเท่ากับ 10 mg/L สารละลายมีค่าพีเอชตั้งต้นเท่ากับ 7 อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 25 ℃ และระยะเวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 2 นาที โดยข้อมูลผลการทดลองทั้ง 3 กราฟ แสดงให้เห็นว่าชนิดของเวชภัณฑ์ยาและปริมาณการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเวชภัณฑ์ยาด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น โดย ACP มีแนวโน้มกำจัดได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือ AMX และ EST ตามลำดับ

ภาพที่ 4 แสดงการลดลง ความเข้มข้นเวชภัณฑ์ยาได้แก่ Acetaminophen (ACP) ,Amoxicillin (AMX) และEstradiol (EST) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเลือกทำการทดลองที่เวลาที่แตกต่างกัน โดยเลือกใช้เวลาทำการทดลองตั้งแต่ 0-20 นาที โดยเลือกใช้ดินลูกรังที่ 1 กรัม ต่อ น้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ค่าตั้งต้นของเวชภัณฑ์ยาทั้งสามชนิดถูกควบคุมให้มีค่าเท่ากับ 10 mg/L สารละลายมีค่าพีเอชตั้งต้นเท่ากับ 7

อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 25 °C และใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1 มิลลิลิตร โดยข้อมูลผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของเวชภัณฑ์ยา ACP กำจัดได้ง่ายที่สุด รองลงมาเป็น AMX และ EST ตามลำดับเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างสูตรโมเลกุลของเวชภัณฑ์ยาทั้ง 3 ชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่ง EST มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนเบนซินจำนวนมากและมีระยะเวลาครึ่งชีวิต (Half-life) ในสิ่งแวดล้อมที่มีค่ามากที่สุดในบรรดาเวชภัณฑ์ยาทั้ง 3 ชนิด (2.3-3 วัน) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดโดยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น มีค่าน้อยกว่า ACP และ AMX และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ACP และ AMX พบว่าระยะเวลาครึ่งชีวิต (Half-life) ในสิ่งแวดล้อมของเวชภัณฑ์ยาทั้งสองชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ AMX มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่า ACP ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งอาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด AMX ต่ำกว่า ACP ผลการศึกษาในงานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีการใช้เหล็กในกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น สำหรับการบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อม ซึ่งเป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารเคมีเฟนตัน (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ + เหล็ก) ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์จากน้ำเสียจริงจากโรงงานย้อมผ้าและด้ายฝ้าย ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็กที่ใช้อย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี (วุฒิ วิพันธ์พงษ์.,2540)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงระยะเวลาครึ่งชีวิต (Half life) ของสารเวชภัณฑ์ยาทั้ง 3 ชนิด

เวชภัณฑ์ยา	โครงสร้างโมเลกุล[a]	น้ำหนักโมเลกุล (Molacular Weight)	ระยะเวลาครึ่งชีวิต (Half life)
ACP		151.2	0.9 day Anna Furberg (2014).
AMX		365.4	< 1 day ศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. (2562).
EST		272.4	2.3-3 day Anna Furberg (2014).

ที่มา: [a]ศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. (2562). สืบค้นเมื่อ มกราคม 7 2562, จาก https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/data-software/

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่นที่ใช้วัสดุธรรมชาติสำหรับบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์เวชภัณฑ์ยาพบว่า ดินลูกรังสามารถใช้ในกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น ในการบำบัดน้ำเสียที่มียาจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ Acetaminophen (ACP) ,Amoxicillin (AMX) และEstradiol (EST) ได้ดี โดยมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 85 ขึ้นอยู่กับชนิดของยาและต้องมีระยะเวลาบำบัดที่เพียงพอหรือมากกว่า 2 นาที โดย ACP ให้ผลในการถูกบำบัดได้ดีกว่า AMX และดีกว่า EST ตามลำดับ

2. การปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดยาทั้งสามชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาจะทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดยาทั้งสามชนิดด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่นสูงขึ้น ค่าที่เหมาะสมสำหรับปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ 1 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำเสีย และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไม่น้อยกว่า 2 นาที

เอกสารอ้างอิง

วุฒิ วิพันธ์พงษ์. (2540). การใช้สารเคมีเฟนตันกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. **วิทยานิพนธ์ปรัชญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**

ศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. (2562). สืบค้นเมื่อ มกราคม 7, 2562, จาก https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/data-software/

Furberg A. (2014). Environmental Risk Assessment of Pharmaceutical Exposure to Fish in the Swedish Gota Alv River (Vol. 2014:9, pp.49-72). Chalmer University Technology

Landau M., Herskowitz M., and Satishkumar G. (2011). Process for the preparation of heterogeneous Fenton catalytic filter, International Patent WO 2011111052 A1.

Michae L., Rizzo L., McArdell C.S., Manaia C.M., Merlin C., Schwartz T., Dagot C. and Fatta - Kassinos D., (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: A review. Water Research 49, 957-995.

Pouran S.R., Raman A.A.A. and Daud W.M.A.W (2014). Review on the application of modified iron oxides as heterogeneous catalysts in Fenton reactions. Journal of Cleaner Production 64, 24-35.

Subrahmanyam M., Kumari V.D and Noorjahan M. (2006). Eco-friendly photo-fenton catalyst immobilized Fe(iii) over hy-zeolite. International Patent WO 2006070384 A1.

Teixeira A.P.C ., Tristao J.C., Araujo M.H., Oliveira L.C.A., Moura F.C.C., Ardisson J.D., Amorimd C.C. and Lago R.M., (2012). Iron: a Versatile Element to Produce Materials for Environmental Applications. Journal of the Brazilian Chemical Society 23, 1579-1593.

Tsai T.T., Kao C.M., Surampalli R.Y., Weng C.H. and Liang S.H. (2009). Treatment of TCE - Contaminated Groundwater Using Fenton-Like Oxidation Activated with Basic Oxygen Furnace Slag. ASCE Journal of Environmental Engineering 136, 288-294.