การฟื้นฟูน้ำที่ปนเปื้อนยาปฏิชีวนะออกซีเตตราไซคลีนด้วยการออกซิเดชั่นโดยเปอร์ซัลเฟต
Remediation of Oxytetracycline-contaminated Water by Persulfate Oxidation

ปวีณ ตั้งเจริญ[1]
ตุลวิทย์ สถาปนจารุ[2]
E-mail: fscitus@ku.ac.th
[1]นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: paveenbright@gmail.com
[2]รองศาสตราจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดยาปฏิชีวนะ Oxytetracycline (OTC) ในน้ำโดยใช้กระบวนการออกซิเดชั่นด้วยเปอร์ซัลเฟต และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด OTC ผลการศึกษาพบว่าในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวออกซิไดซ์ 2 ชนิดคือ เปอร์ซัลเฟตและเปอร์แมงกาเนต ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลเท่ากันในการบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าเปอร์ซัลเฟตให้ประสิทธิภาพในการบำบัด OTC ดีกว่าเปอร์แมงกาเนต (> 70 เปอร์เซ็นต์) ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ผลการกระตุ้นปฏิกิริยาเปอร์ซัลเฟตด้วยเฟอร์รัสไอออนในสัดส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณเปอร์ซัลเฟต 1 ต่อ 100 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด OTC ที่ 82 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 60 นาที โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 3 % (w/v) ผลของความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด OTC พบว่าที่ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 3, 5, 7 และ 9 โดยใช้ความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้นที่ 3% (w/v) ในระยะเวลา 60 นาที มีอัตราการกำจัด OTC เท่ากับ 0.0333, 0.0347, 0.0367 และ 0.0363 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: กระบวนการออกซิเดชั่น, เปอร์ซัลเฟต, ออกซีเตตราไซคลีน

Abstract

This research objective was to study the efficacy of degradation of Oxytetracycline-contaminated water and to investigate suitable conditions in treatment by persulfate (PS) . The results showed that at equivalent mole (0.1 mole), PS provided better OTC removal efficiency than permanganate treatment. The OTC removal efficiency by PS was more than

70% within 24 hours. PS activated by Fe^{2+} at ratio of activator to PS as 1: 100 gave 80% OTC removal efficiency within 60 min. The suitable initial concentration of PS was 3 % (w/v) . The effect of initial pH on OTC removal by PS was observed. The OTC degradation kinetic rates were 0.0333, 0.0347, 0.0367 และ 0.0363 min-1 at pH 3, 5, 7, and 9, respectively. The pHs were not significantly affected on OTC removal by PS.

Keywords: Oxidation-process, Persulfate, Oxytetracycline

บทนำ

ในอุตสาหกรรมเลี้ยงกุ้งนั้นในน้ำจะมีการสะสมของยาปฏิชีวนะที่ถูกใช้ในระหว่างกระบวนการเพาะเลี้ยง โดยตัวยาปฏิชีวนะนั้นจะถูกใช้เพื่อป้องกันการเกิดโรคของสัตว์น้ำ ซึ่งยาปฏิชีวนะที่นิยมใช้กันนั้นจะเป็นยาปฏิชีวนะ Oxytetracycline (OTC) ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและมีฤทธิ์คลอบคลุมทั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ รวมถึงเชื้อโปรโตซัวบางชนิด ตัวยาปฏิชีวนะนั้นเมื่อมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจะไปทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ที่คอยย่อยสลายสารอินทรีย์ถูกยับยั้ง ทำให้ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

ในการบำบัดยาปฏิชีวนะในน้ำนั้นมีหลากหลายวิธีสามารถแบ่งออกได้เป็นวิธีการทางเคมีและวิธีการทางชีวภาพ ในวิธีการทางเคมีนั้นจะเป็นการใช้กระบวนการออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ซึ่งเป็นกระบวนการในการใช้สารออกซิแดนต์ลดพิษของมลสารลงโดยการทำให้องค์ประกอบทางเคมีของสารปนเปื้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้มีความเป็นพิษน้อยลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้กระบวนการออกซิเดชั่น-รีดักชั่นนั้นเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถบำบัดสารปนเปื้อนได้อย่างรวดเร็วและทำปฏิกิริยาในทันทีแม้ว่าจะมีต้นทุนที่สูงเมื่อเทียบกับวิธีการบำบัดทางชีวภาพ สามารถบำบัดสารปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์ได้หลายชนิด สารออกซิแดนต์ที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการออกซิเดชั่นทางเคมี ได้แก่ ออกซิเจน(O_2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน(O_3) เปอร์แมงกาเนต (MnO_4) และเปอร์ซัลเฟต($S_2O_8^{2-}$) (ฉัตรณรงค์ พงษ์เจริญ, 2555)

ในการฟื้นฟูน้ำที่ปนเปื้อน OTC ด้วยวิธีการทางเคมีนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่คือ การเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน ค่าความเข้มข้นและปริมาณของสารออกซิแดนต์ไม่เพียงพอ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เพียงพอ เป็นต้น (โศรยา ธีระวัฒนกิตติ, 2552) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพและปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดยาปฏิชีวนะ OTC ที่ตกค้างในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการออกซิเดชั่นทางเคมีโดยเปอร์ซัลเฟตเนื่องจากเปอร์ซัลเฟตเป็นสารออกซิแดนต์ที่มีฤทธิ์รุนแรง มีเสถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง มีราคาต่ำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำปนเปื้อนยาปฏิชีวนะ OTC ด้วยวิธีการออกซิเดชั่นโดยสารเปอร์ซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$) และทำการศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสม และความเป็นกรดด่างของสารละลายต่อการบำบัด OTC โดยเปอร์ซัลเฟต

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เน้นศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำปนเปื้อนยาปฏิชีวนะ OTC ด้วยวิธีการออกซิเดชั่นโดยสารเปอร์ซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของเปอร์ซัลเฟต และค่า pH เริ่มต้นของสารละลาย OTC โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำการศึกษาตัวเร่ง 2 ชนิดคือ Fe และ Fe^{2+} ปริมาณของเปอร์ซัลเฟตที่ใช้ในการศึกษาคือ ทำการเติมสารเปอร์ซัลเฟตปริมาณ 1%, 2%, 3% และ 4% (w/v) ค่า pH เริ่มต้นของสารละลาย OTC ที่ทำการศึกษาคือ 3, 5, 7 และ 9

วิธีการดำเนินการวิจัย

1.การเตรียมสารละลาย OTC

เตรียมสารละลายสต๊อก OTC ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการละลาย Oxytetracycline(commerce) จำนวน 0.01 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ตรวจวิเคราะห์ OTC ด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) อัตราส่วน mobile phase ประกอบด้วย distilled water (pH = 2.5 with HCl) ต่อ Methanol ; 75:25 (v/v) อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที วิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

2. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำปนเปื้อน OTC ของสารออกซิแดนต์แต่ละชนิด

ทำการเติมสาร เปอร์แมงกาเนต (MnO_4) และเปอร์ซัลเฟต($S_2O_8^{2-}$) ลงในสารละลาย OTC (commerce) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยให้มีความเข้มข้นของสารออกซิแดนต์อยู่ที่ 0.1 โมล นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความถี่ 150 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเป็นปริมาตร 5 มิลลิลิตรมาทำการกรองด้วย Nylon syringe filter ก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu LC-20 series

3. การศึกษาชนิดของตัวเร่งที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำปนเปื้อน OTC โดยกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น

ทำการเติมสารเปอร์ซัลเฟตปริมาณ 1%, 2%, 3% และ 4% (w/v) ลงในสารละลาย Oxytetracycline ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาในสัดส่วนของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณสารเปอร์ซัลเฟตคือ 1 ต่อ 100 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ Fe และ Fe^{2+} นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความถี่ 150 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 60 นาที จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Shimadzu LC-20 series

4. การศึกษาปริมาณสารเปอร์ซัลเฟตที่มีผลต่อการบำบัดสารละลาย OTC

ทำการเติมสารเปอร์ซัลเฟตปริมาณ 1%, 2%, 3% และ 4% (w/v) และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดจากข้อ 3 ในสารละลาย OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความถี่ 150 รอบ/นาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Shimadzu LC-20 series

5. การศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลาย OTC ที่มีผลต่อกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น

ทำการเตรียมสารละลาย OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 3, 5, 7 และ 9 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอลิคเจือจาง 0.5 โมลาร์ หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง 0.5 โมลาร์ จากนั้นทำการเติมสารเปอร์ซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสมและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากข้อ 3 และ 4 นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความถี่ 150 รอบ/นาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC ยี่ห้อ Shimadzu LC-20 series

ผลการศึกษาวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด OTC ในน้ำของสารออกซิแดนต์แต่ละชนิด

ประสิทธิภาพการบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำด้วยเปอร์แมงกาเนต (MnO_4) และเปอร์ซัลเฟต($S_2O_8^{2-}$) ความเข้มข้น 0.1 โมล ผลการศึกษาพบว่าในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัด Oxytetracycline ของเปอร์แมงกาเนต (MnO_4) เท่ากับ 64.63 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์ซัลเฟต($S_2O_8^{2-}$) เท่ากับ 78.13 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารออกซิแดนต์ที่เท่ากัน 0.1 โมล เปอร์ซัลเฟต($S_2O_8^{2-}$) จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด OTC มากกว่าสารเปอร์แมงกาเนต (MnO_4)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัด Oxytetracycline ในน้ำของสารออกซิแดนต์ความเข้มข้น 0.1 โมลในน้ำ 100 มิลลิลิตร

ชนิดของสารออกซิแดนต์	ประสิทธิภาพการบำบัด OTC (%)
เปอร์แมงกาเนต (MnO_4)	64.63
เปอร์ซัลเฟต($S_2O_8^{2-}$)	78.13

2. การศึกษาชนิดของตัวเร่งที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำปนเปื้อน OTC โดยกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น

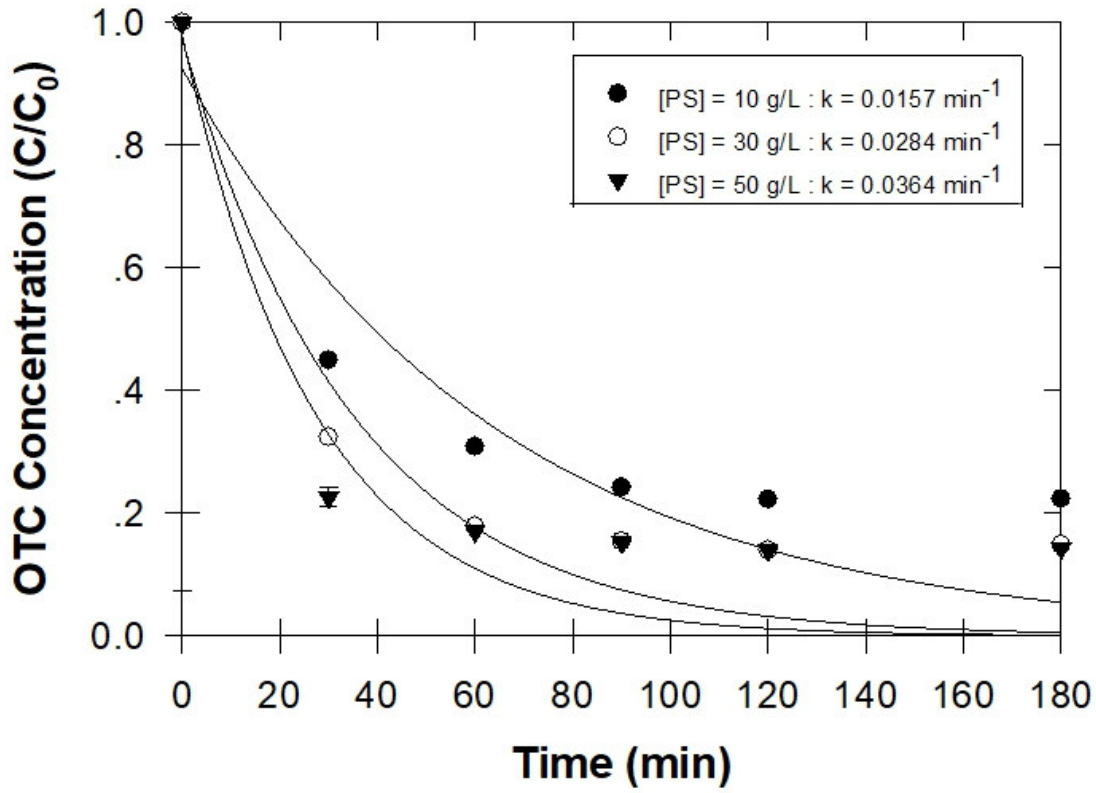
ผลการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยเหล็กวาเลนท์ศูนย์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด OTC อยู่ที่ 10-20 เปอร์เซ็นต์ และการกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยเฟอร์รัสไอออนให้ประสิทธิภาพในการบำบัด OTC อยู่ที่ 70-82 เปอร์เซ็น ในเวลา 60 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัด OTC โดยกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่นที่ใช้ Fe^0 และ Fe^{2+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เวลา (นาที)	ปริมาณของเปอร์ซัลเฟต %(w/v)	ประสิทธิภาพการบำบัด OTC (%)	
		Fe	Fe^{2+}
60	1	13.94	69.13
	2	20.11	74.28
	3	18.68	82.09
	4	20.52	82.54

3. การศึกษาปริมาณสารเปอร์ซัลเฟตที่มีผลต่อการบำบัดสารละลาย OTC

การศึกษาการบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำด้วยเปอร์ซัลเฟต โดยใช้เปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 1%, 3% และ 5% (w/v) ฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1 และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 30, 60, 90, 120 และ180 นาที ผลการศึกษาพบว่าที่เวลา 180 นาที พบอัตราการบำบัด OTC ในระยะเวลา 180 นาที มีค่าเป็น 0.0157, 0.0284 และ 0.0364 ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 1 โดยที่เวลา 60 นาที จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด OTC ในน้ำได้เท่ากับ 69.13, 82.09 และ 82.91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงดังในตารางที่ 3



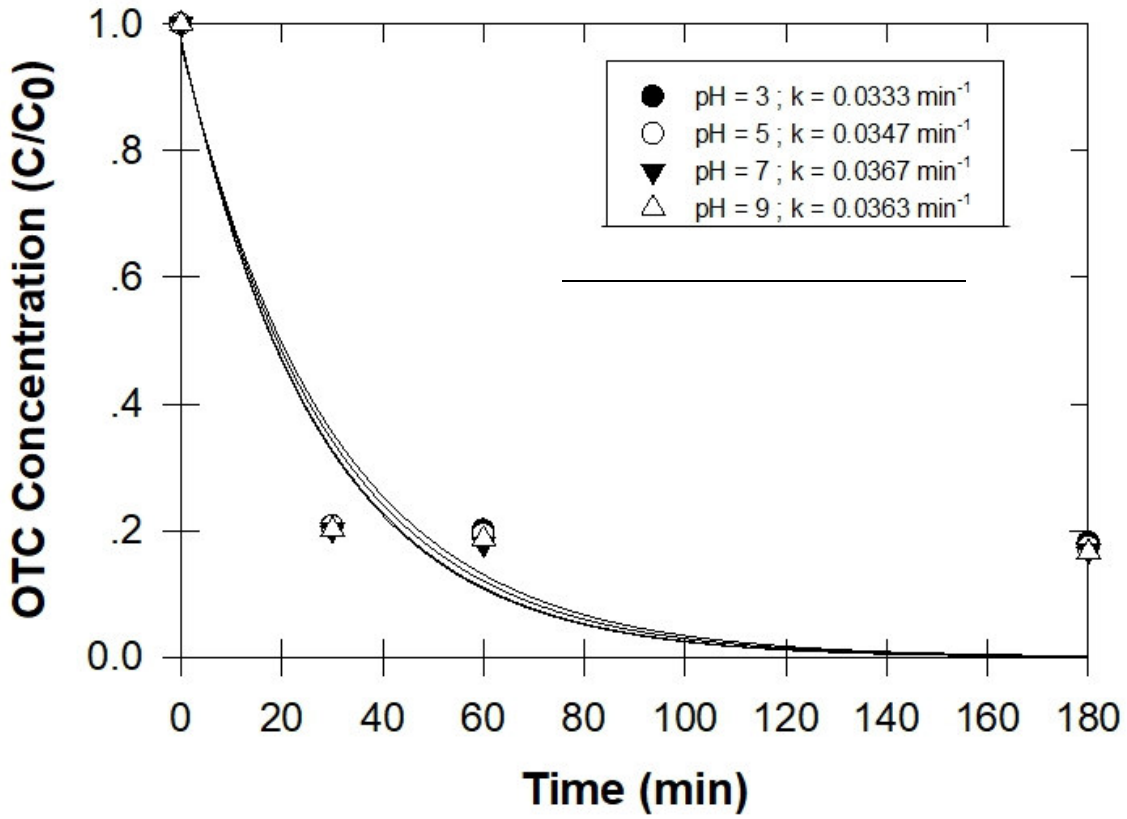
ภาพที่ 1 การบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 1%, 3% และ 5%(w/v) และใช้เฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้ปริมาณสารเปอร์ซัลเฟต 1%, 3% และ 5% (w/v) และใช้เฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1

ปริมาณของเปอร์ซัลเฟต %(w/v)	อัตราการย่อยสลาย OTC ต่อนาที
1	0.0157
3	0.0284
5	0.0364

4. การศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลาย OTC ที่มีผลต่อกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น

การศึกษาการบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 3, 5, 7 และ 9 โดยใช้เปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 3% (w/v) เฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1 และทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 30, 60, 90, 120 และ180 นาที ผลการศึกษาพบว่าที่เวลา 180 นาที พบอัตราการบำบัด OTC ในระยะเวลา 180 นาที มีค่าอัตราการย่อยสลายของ OTC เป็น 0.0333, 0.0347, 0.0367 และ 0.0363 นาที$^{-1}$ ดังแสดงในภาพที่ 2 และที่ 60 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 79.92, 80.62,82.04 และ 81.31 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4



ภาพที่ 2 การบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 3, 5, 7 และ 9 โดยใช้เปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 3% (w/v) และใช้เฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัด OTC ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 3, 5, 7 และ 9 โดยใช้เปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 3% (w/v) และใช้เฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1

ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น	อัตราการกำจัด OTC (min^{-1})	ประสิทธิภาพการบำบัด OTC (%)
3	0.0333	79.92
5	0.0347	80.62
7	0.0367	82.04
9	0.0363	81.31

อภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด OTC ในน้ำของสารออกซิแดนต์แต่ละชนิด

ในการศึกษาความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัด OTC ในน้ำของสารเปอร์แมงกาเนตและเปอร์ซัลเฟต โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากันที่ 0.1 โมลในน้ำ 100 มิลลิลิตร จากตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารออกซิแดนซ์เท่ากันเปอร์ซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพในการบำบัด OTC ในน้ำดีกว่าเปอร์แมงกาเนต เนื่องจากเปอร์ซัลเฟตเป็นสารออกซิแดนซ์ที่รุนแรงมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0) เท่ากับ 2.05V (Satapanajaru, Yoo-iam, Bongprom & Pengthamkeerati, 2014) ซึ่งมากกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเปอร์แมงกาเนตที่มีค่าเท่ากับ 1.51V

2. การศึกษาชนิดของตัวเร่งที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำปนเปื้อน OTC โดยกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น

ประสิทธิภาพการบำบัด OTC ในน้ำโดยกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่นโดยใช้เหล็กวาเลนท์ศูนย์และเฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสัดส่วนของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณสารเปอร์ซัลเฟตคือ 1 ต่อ100 ที่ระยะเวลา 60 นาที จากตารางที่ 2 จะแสดงให้เห็นว่าการใช้เฟอร์รัสไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้เหล็กวาเลนท์ศูนย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเฟอร์รัสไอออนสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระของเปอร์ซัลเฟตโดยตรงได้เลยทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไวกว่าเหล็กวาเลนท์ศูนย์ที่ต้องทำการปลดปล่อยเฟอร์รัสไอออนจากการทำปฏิกิริยา ดังสมการที่ 1 (Mohammed & Thomson, 2013) จากนั้นเฟอรัสไอออนจึงจะไปทำให้เกิดอนุมูลอิสระของเปอร์ซัลเฟตต่อไป

$$Fe^0 + S_2O_8^{2-} \longrightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} \qquad (1)$$

3. การศึกษาปริมาณสารเปอร์ซัลเฟตที่มีผลต่อการบำบัดสารละลาย OTC

จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด OTC ในน้ำสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเปอร์ซัลเฟตมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปริมาณของเปอร์ซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวเกิดอนุมูลอิสระของซัลเฟตมากขึ้นและเข้าไปออกซิไดซ์ตัว OTC ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของ OTC ลดลง ความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุดคือ 5% (w/v) แต่เมื่อทำการทดลองจริงในน้ำตัวอย่างจะเกิดตะกอนขึ้น ซึ่งเกิดจากกการที่ปริมาณเปอร์ซัลเฟตมากเกินไปจะทำให้เกิด radical scavenging ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง (Satapanajaru *et al*., 2014)

4. การศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลาย OTC ที่มีผลต่อกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลาย OTC ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 3, 5, 7 และ 9 โดยใช้สัดส่วนปริมาณของเปอร์ซัลเฟตต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 100 ต่อ 1 พบว่าในระยะเวลา 180 นาที อัตราการกำจัด OTC มีค่าเท่ากับ 0.0333, 0.0347, 0.0367 และ 0.0363 นาที$^{-1}$ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด OTC ในระยะเวลา 60 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 79.92, 80.62,82.04 และ 81.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเติมเปอร์ซัลเฟตลงไปในน้ำจะทำให้มีการปลดปล่อยโปรตอน (H^+) ออกมา (ปิ่นนารี บ้งพรม, 2556) ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการซัลเฟตออกซิเดชั่นอาจถูกปรับลดลงจนอยู่ในสภาวะเป็นกรดเป็นเหมือนกัน ทำให้ปัจจัยความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด OTC ของกระบวนการออกซิเดชั่นด้วยเปอร์ซัลเฟต (Chen, Chang & Liu, 2016) ซึ่งจะแตกต่างกับการใช้เปอร์ซัลเฟตในการกำจัดสารอินทรีย์และสีจากโรงงานฟอกย้อมเนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของเปอร์ซัลเฟต ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสีนั้นจะดีกว่าในสภาวะที่เป็นกรด เนื่องจากเมื่อค่า pH สูงขึ้นจะทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟอรัสไอออนทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเกิดได้ไม่เต็มที่ (สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ และวีระนุช บุญรุ่ง, 2553)

สรุปผลการศึกษาวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวออกซิไดซ์ 2 ชนิดคือ เปอร์ซัลเฟตและเปอร์แมงกาเนตที่ปริมาณความเข้มข้น 0.1 โมลเท่ากันในการบำบัด OTC ในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าผลของเปอร์ซัลเฟตให้ประสิทธิภาพในการบำบัด OTC สูงกว่าเปอร์แมงกาเนตโดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงได้ ผลการศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่นพบว่าการกระตุ้นปฏิกิริยาเปอร์ซัลเฟตด้วยเฟอร์รัสไอออนในสัดส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณเปอร์ซัลเฟต 1 ต่อ 100 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด OTC สูงถึง 82 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาเพียง 60 นาที โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 30 กรัมต่อลิตร จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด OTC โดยเปอร์ซัลเฟต พบว่าที่ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 3, 5,

7 และ 9 มีอัตราการกำจัด OTC เท่ากับ 0.0333, 0.0347, 0.0367 และ 0.0363 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการบำบัดในแต่ละความเป็นกรด-ด่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

ฉัตรณรงค์ พงษ์เจริญ. (2555). การฟื้นฟูปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนโดยกระบวนการเฟนตัน-ไลค์ออกซิเดชันและกระบวรการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชัน. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปิ่นนารี บ้งพรม. (2556). การย่อยสลายสีย้อมรีแอกทีฟแบล็คไฟท์ (RB5) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการเปอร์ซัลเฟตออกซิเดชั่น. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โศรยา ธีระวัฒนกิตติ. (2552). การบำบัดน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนโทลูอีนและไตรคลอโรเอทธิลีนในตัวกลางน้ำใต้ดินที่ต่างกันด้วยวิธีการออกซิเดชั่นทางเคมี. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี การจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ และวีระนุช บุญรุ่ง. (2553). การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเฟนตันและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานย้อม. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 21(1), 108-113

Chen, K.-F., Chang, Y.-C., & Liu, K.-Y. (2016). A kinetic and mechanistic study of the degradation of 1,2-dichloroethane and methyl tert-butyl ether using alkaline-activated persulfate oxidation. RSC Advances. 6(79), 75578–75587.

Mohammed A. Al-Shamsi and Neil R. Thomson. (2013). Treatment of Organic Compounds by Activated Persulfate Using Nanoscale Zerovalent Iron. Industrial & Engineering Chemistry Research. 52(38), 13564-13571.

Satapanajaru, T., Yoo-iam, M., Bongprom, P., & Pengthamkeerati, P. (2014). Decolorization of Reactive Black 5 by persulfate oxidation activated by ferrous ion and its optimization. Desalination and Water Treatment. 56(1), 121–135.