

การย่อยสลายของแคฟเฟอีนและสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำในน้ำอาร์โอและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยกระบวนการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Degradation of Caffeine and Dissolved Organic Carbon in RO Water and Treated Wastewater by UVC/H₂O₂ Process

อรุณโรจน์ บัวไชยา¹ กัลยกร ขวัญมา^{1*} พนมชัย วีระยุทธศิลป์¹ และทรงพล ประโยชน์มี²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

680 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Arunrot Buachaiya¹, Kulyakorn Khuanmar^{1*}, Panomchai Verayutasil¹ and Songphon Prayochmee²

¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,

123 Moo 16 Mittraphap Road, Nai-Muang, Muang District, Khon Kaen 40002, Thailand.

² Department of Environmental Science, Faculty of Science, Sakon Nakhon Rajabhat University,

680 Nittayo Road, Mueang District, Sakon Nakhon, 47000, Thailand.

*ผู้รับผิดชอบบทความ: kulyakorn@kku.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-4320-2571

Received: 4 February 2020, Revised: 10 May 2020, Accepted: 25 May 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดแคฟเฟอีน และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) ด้วยกระบวนการฉายแสงยูวีซี และกระบวนการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยศึกษาการย่อยสลายแคฟเฟอีนในน้ำอาร์โอ (RO+Caf) และแคฟเฟอีนในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Eff+Caf) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการบำบัด RO+Caf และ Eff+Caf โดยใช้ UVC หรือ H₂O₂ เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบำบัดแคฟเฟอีนได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในสภาวะที่ละลายในน้ำอาร์โอ และในน้ำทิ้ง การบำบัดแคฟเฟอีนอย่างมีประสิทธิภาพจะเกิดขึ้นเมื่อมีการฉายแสง UVC ร่วมกับ H₂O₂ (UVC/H₂O₂) เท่านั้น ประสิทธิภาพการบำบัดแคฟเฟอีนด้วยกระบวนการ UVC/H₂O₂ ของ RO+Caf และ Eff+Caf มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ร้อยละ 100 และ 41.62 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัด DOC ใน RO+Caf และ Eff+Caf พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด DOC สูงสุดที่ร้อยละ 28.37 และ 1.95 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความขุ่น และสีของ Eff+Caf มีค่าสูงกว่า RO+Caf ทำให้มีผลต่อการส่งผ่านแสง UVC ในปฏิกิริยาของ UVC/H₂O₂ และทำให้ลดประสิทธิภาพการย่อยสลายของแคฟเฟอีนใน Eff+Caf นอกจากนี้สรุปได้ว่า DOC ที่อยู่ในน้ำทิ้งไม่สามารถบำบัดได้ด้วยเทคนิค UVC/H₂O₂ การเพิ่มปริมาณ H₂O₂ ในกระบวนการ UVC/H₂O₂ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแคฟเฟอีนใน Eff+Caf ได้ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 76.64 ที่ปริมาณ H₂O₂ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากเพิ่มปริมาณ H₂O₂ ในทางกลับกันการเพิ่มปริมาณ H₂O₂ ไม่ได้มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด DOC

คำสำคัญ แคฟเฟอีน สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ยูวีซี/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Abstract

This research investigated the treatment of caffeine and dissolved organic carbon (DOC) using Ultraviolet C (UVC) photolysis and Ultraviolet C (UVC) photolysis in combination with hydrogen peroxide (H₂O₂). Degradation of caffeine and DOC was observed in the matrix solution of caffeine which was dissolved in both of RO water (RO+Caf) and treated wastewater (Eff+Caf). The results showed that degradation of caffeine in the matrix of RO+Caf and Eff+Caf using UVC or H₂O₂ alone could not be treated effectively. Conversely, the effective treatment occurred when the UVC radiation was combined with H₂O₂ (UVC/H₂O₂). The maximum caffeine removal efficiencies of RO+Caf and Eff+Caf were 100% and 41.62% respectively, whereas the maximum DOC removal efficiencies of RO+Caf and Eff+Caf were 28.37% and 1.95% respectively. Because turbidity and color of Eff+Caf

were higher than Ro+Caf these effect on the UVC light transmittance in the UVC/H₂O₂ reaction of caffeine degradation in Eff+Caf. In addition, it concluded that the DOC in the effluent could not be treated with the UVC/H₂O₂ technique. Increasing H₂O₂ dosage in UVC/H₂O₂ process was able to improve the caffeine removal efficiency in Eff+Caf. The removal efficiency presented 76.64% at H₂O₂ 500 mg/l, and these were likely to be more effective if the H₂O₂ dosage was increased. On the other hand, increasing the dosage of H₂O₂ could not improve the efficiency of the DOC removal.

Keywords: Caffeine, DOC, UVC/H₂O₂

1. บทนำ

แคฟเฟอีน (Caffeine) หรือที่รู้จักกันในชื่อ คาเฟอีน จัดเป็นสารมลพิษอุบัติใหม่ (Emerging pollutants) ที่ถูกตรวจพบว่าการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว อันเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ [1- 2] แคฟเฟอีนเป็นสารที่พบได้ทั่วไปในเครื่องดื่ม อาหาร ยา รักษาโรคต่าง ๆ [3] มีรายงานการปนเปื้อนแคฟเฟอีนในแหล่งน้ำทั่วโลกพบว่ามีปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับสารมลพิษอุบัติใหม่ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากแคฟเฟอีนมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงแต่ไม่สามารถบำบัดได้ดีในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ [4] จึงเป็นสาเหตุทำให้ตรวจพบแคฟเฟอีนในแหล่งน้ำผิวดิน [5] แม่น้ำลำคลอง ระบบรวบรวมน้ำฝน [6] และพบว่าการปนเปื้อนในปริมาณสูงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว [7] การปล่อยน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของแคฟเฟอีนออกสู่ธรรมชาติ อาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม [8] อีกทั้งการตกค้างของแคฟเฟอีนในสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องโดยการสะสมในระบบนิเวศ [9] ถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่มีรายงานในการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ซ้ำ แต่ก็ยังมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินที่ใช้เป็นน้ำดิบในการผลิตน้ำประปาเพื่อนำมาอุปโภคบริโภค ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดสารมลพิษอุบัติใหม่ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UVC/H₂O₂) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดสารมลพิษได้หลากหลายชนิด สามารถปรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองได้อย่างหลากหลาย [10] หากต้องการลดระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งในกระบวนการบำบัดสารมลพิษโดยการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UVC/H₂O₂) การเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) จะช่วยเพิ่มปริมาณอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (OH•) ที่ไปทำปฏิกิริยากับสารมลพิษที่ต้องการบำบัด ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น บางงานวิจัยได้รายงานว่าการบำบัดโดยการฉายแสง (Photolysis) เพียงอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพในการบำบัด

สูงกว่าการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่การย่อยสลายโดยใช้แสงเพียงอย่างเดียวจำเป็นต้องใช้พลังงานในการบำบัดสูง [11]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการบำบัดแคฟเฟอีน และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) ด้วยกระบวนการฉายแสงยูวีซี (UVC) การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) และกระบวนการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UVC/H₂O₂) โดยศึกษาการย่อยสลายของแคฟเฟอีน และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำในตัวอย่างน้ำอาร์โอ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการชีวภาพแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization ponds)

2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

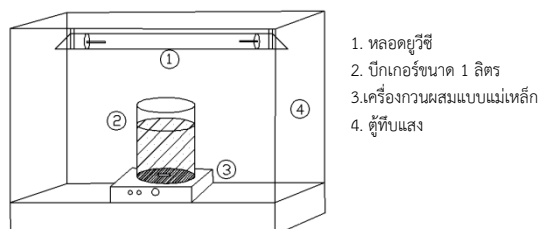
2.1 สารเคมี และอุปกรณ์การทดลอง

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากแคฟเฟอีน (C₈H₁₀N₄O₂) ยี่ห้อ Sigma Aldrich โดยเตรียมที่ความเข้มข้นสูง 1,000 mg/lit และนำไปผสมกับน้ำอาร์โอ (RO) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Treated wastewater) หรือน้ำทิ้ง (Effluent) จากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพโดยใช้ระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อสุดท้ายของระบบบำบัด

ในการเตรียมน้ำตัวอย่างสำหรับการทดลองดำเนินการโดยเจือจางแคฟเฟอีน ในน้ำอาร์โอและในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ให้ได้น้ำอาร์โอที่มีแคฟเฟอีนผสม (RO+Caf) หรือน้ำทิ้งที่มีแคฟเฟอีนผสม (Eff+Caf) กำหนดความเข้มข้นของแคฟเฟอีน 10 mg/lit

การติดตั้งชุดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยหลอด UVC ขนาด 15 วัตต์ ยี่ห้อ Philip รุ่น TUVC/G15 T8 กำหนดระยะห่างระหว่างหลอด และผิวน้ำตัวอย่าง 30 cm ระหว่างทำการทดลองจะกวนผสมน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก และในกระบวนการ

UVC/H₂O₂ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) 30% ยี่ห้อ Merck ทุกการทดลองใช้ปริมาตรรวมน้ำตัวอย่าง 1 lit ระหว่างทำการทดลองจะทำการเก็บน้ำตัวอย่าง 20 mlit ทุก 30 min ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์จะประกอบด้วย ความเข้มข้นของแคฟฟิน และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC)



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

2.2. การวิเคราะห์พารามิเตอร์

การวิเคราะห์แคฟฟินจะใช้เครื่องวิเคราะห์ของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ยี่ห้อ LC-20A, Shimadzu Japan, คอลัมน์ C18 ยี่ห้อ Restek ขนาด 5 μ m 250 x 4.6 mm เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ใช้ Acetonitrile (CH₃CN) สำหรับ HPLC ผสมกับน้ำ RO ในอัตราส่วน 1:1 กำหนดอัตราการไหล 1 mlit/min และใช้ UV detector ที่คลื่นความยาวแสง 275 นาโนเมตร และน้ำตัวอย่างจะถูกกรองด้วย syringe filters ขนาด 0.22 ไมครอน ก่อนนำไปวิเคราะห์ การวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (dissolved organic carbon, DOC) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยกรองผ่าน syringe filters ขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC multi N/C 2100, Analytic Jena, Germany

2.3. ขั้นตอนการทดลอง

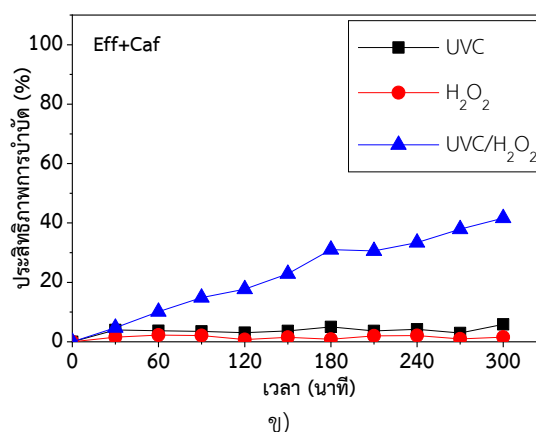
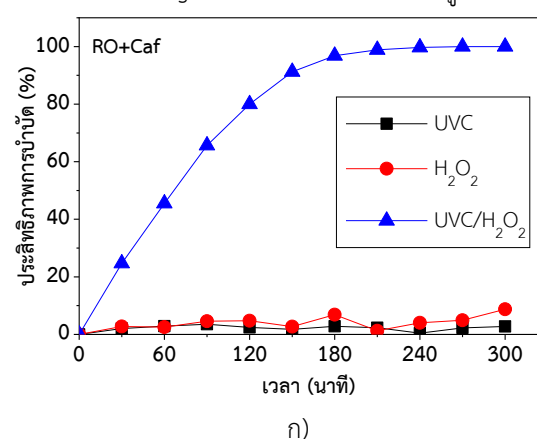
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด RO+Caf และ Eff+Caf ใช้ความเข้มข้นแคฟฟินเริ่มต้น 10 mg/lit โดยใช้ 3 กระบวนการคือ การฉายแสงยูวีซี (UVC) การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และการฉายแสงยูวีซีรวมกับการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UVC/H₂O₂) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 300 min เก็บตัวอย่างน้ำครั้งละ 20 mm ทุก 30 sec

การทดลองเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟิน ดำเนินการโดยทดลองเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) โดยกำหนดความเข้มข้น 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการทดลองนี้กำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 210 min เก็บตัวอย่างน้ำครั้งละ 20 ml ทุก 30 min

3. ผลการทดลอง และอภิปรายผล

3.1. การบำบัด RO+Caf และ Eff+Caf

การทดลองนี้เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการบำบัด RO+Caf และ Eff+Caf ในกรณีที่ใส่แสง UVC H₂O₂ และ UVC/H₂O₂ โดยใช้ความเข้มข้นของ H₂O₂ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการฉายแสง 300 min ความเข้มข้นแคฟฟินเริ่มต้นประมาณ 10 mg/lit ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยสลายของแคฟฟินโดยใช้ความเข้มข้นของ H₂O₂ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก) RO+Caf และ ข) Eff+Caf

จากรูปที่ 2 ก) แสดงผลการบำบัด RO+Caf พบว่าการฉายแสง UVC ให้ประสิทธิภาพการบำบัดแกว่งตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 0.43-3.55 การใช้ H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดแกว่งตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 1.26-8.75 สำหรับการบำบัดโดยใช้ UVC/H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100.00

จากรูปที่ 2 ข) แสดงผลการบำบัด Eff+Caf พบว่าการฉายแสง UVC ให้ประสิทธิภาพการบำบัดแกว่งตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 2.94-5.88 การใช้ H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดแกว่งตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 0.74-2.24 สำหรับการบำบัดโดยใช้ UVC/H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 41.62

จะเห็นได้ว่าการบำบัด RO+Caf และ Eff+Caf โดยใช้ UVC หรือ H₂O₂ ไม่สามารถบำบัดแคฟฟินได้อย่างมี

ประสิทธิภาพทั้งในสภาวะที่ละลายในน้ำอาร์โอ และในน้ำทิ้ง ซึ่งการบำบัดแคฟฟินอย่างมีประสิทธิภาพจะเกิดขึ้นเมื่อมีการฉายแสง UVC ร่วมกับ H_2O_2 เท่านั้น

ตารางที่ 1 ค่า pH ความขุ่น และสี

ตัวอย่างน้ำ	pH	ความขุ่น (NTU)	สี (ADMI)
RO	7.57	0.32	1
RO + Caf	7.88	0.35	1
Eff	7.79	3.01	40
Eff + Caf	7.94	3.14	42

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความขุ่น และสีของ Eff+Caf มีค่าสูงกว่า RO+Caf ทำให้ขัดขวางการฉายแสงซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัด Eff+Caf ด้วยกระบวนการฉายแสงยูวีซีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UVC/H_2O_2) [12] ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟินใน Eff+Caf ต่ำกว่าประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟินใน RO+Caf

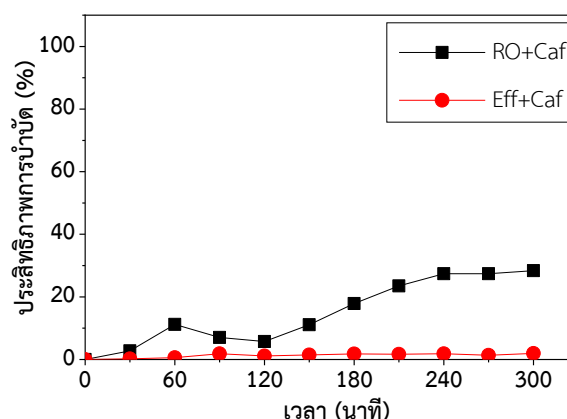
3.2. การบำบัด DOC ด้วยกระบวนการ UVC/H_2O_2

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าน้ำอาร์โอ และน้ำทิ้งมีค่า DOC 2.03 และ 17.19 mg/lit ตามลำดับ และจากการเตรียมน้ำตัวอย่างด้วยการละลายแคฟฟินให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 10 mg/lit ทำให้มีค่าความเข้มข้นของ DOC เพิ่มขึ้นประมาณ 6 mg/lit ใน RO+Caf มีค่า DOC 8.39 mg/lit ซึ่งเป็นค่า DOC ของแคฟฟินที่ละลายเข้าไปในการเตรียมน้ำตัวอย่างที่เตรียมจากน้ำ RO ในการวิเคราะห์ DOC ใน Eff+Caf พบว่ามีค่า DOC 24.13 mg/lit ซึ่งเป็นค่า DOC ของแคฟฟินที่ละลายเข้าไปในการเตรียมน้ำตัวอย่างน้ำที่เตรียมจากน้ำทิ้ง และค่า DOC ส่วนใหญ่เป็นค่า DOC ที่อยู่ในน้ำทิ้งซึ่งมีความเข้มข้น 17.19 mg/lit

ตารางที่ 2 ค่า DOC ในน้ำตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำ	DOC (mg/lit)
RO	2.03
RO + Caf	8.39
Eff	17.19
Eff + Caf	24.13

เมื่อ RO+Caf และ Eff+Caf มีการทำปฏิกิริยาโดยการฉายแสง UVC ร่วมกับ H_2O_2 ระยะเวลา 300 min พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด DOC ใน RO+Caf เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ร้อยละ 28.37 ซึ่งเป็นการบำบัด DOC เนื่องมาจากการย่อยสลายของแคฟฟิน ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด DOC ใน Eff+Caf พบว่าที่เวลา 300 min มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 1.95 ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า DOC ที่อยู่ในน้ำทิ้งก่อนการเติมแคฟฟินไม่สามารถบำบัดได้ด้วยเทคนิค UVC/H_2O_2



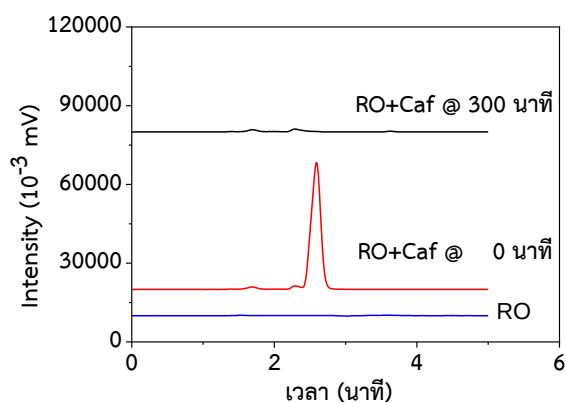
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) โดยกระบวนการ UVC/H_2O_2 โดยใช้ความเข้มข้นของ H_2O_2 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

หากพิจารณาพีก (peak) โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC แสดงดังรูปที่ 4 ก) ไม่ปรากฏพีกใด ๆ ในน้ำอาร์โอ เมื่อเริ่มทำการทดลอง RO+Caf จะปรากฏพีกแคฟฟินตำแหน่งเวลา 2.6 min ระหว่างการทดลองพีกแคฟฟินจะลดลงและหายไปเพราะถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ที่ 300 min

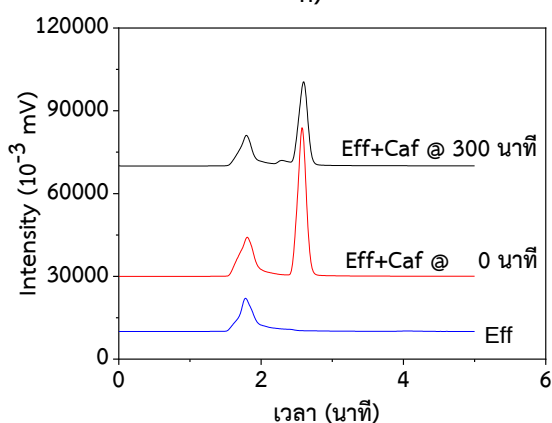
หากพิจารณารูปที่ 4 ข) พบว่าพีกของน้ำทิ้ง จะปรากฏพีกของ DOC ที่ตำแหน่งเวลา 1.8 min และไม่พบพีกของแคฟฟิน เมื่อ spike แคฟฟิน 10 mg/lit (Eff+Caf) จะพบพีกของแคฟฟินที่ตำแหน่งเวลา 2.6 min เมื่อทำการทดลองฉายแสง UVC ร่วมกับ H_2O_2 เป็นระยะเวลา 300 min จากการทดลองพบว่าพีกของแคฟฟินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการย่อยสลายแคฟฟินด้วยกระบวนการ UVC/H_2O_2 แต่พีกของ DOC นั้นไม่ลดลง หรือไม่ถูกย่อยสลาย แสดงให้เห็นว่า DOC ในน้ำทิ้งไม่สามารถบำบัดได้ด้วยเทคนิค UVC/H_2O_2

3.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด Eff+Caf โดยการเพิ่มปริมาณ H_2O_2

การทดลองนี้เป็นการทดลองโดยเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ในการทำปฏิกิริยา UVC/H_2O_2 โดยใช้ปริมาณ H_2O_2 ที่ 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการฉายแสง 210 min กำหนดให้ความเข้มข้นของแคฟฟินใน Eff+Caf 10 mg/lit ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5

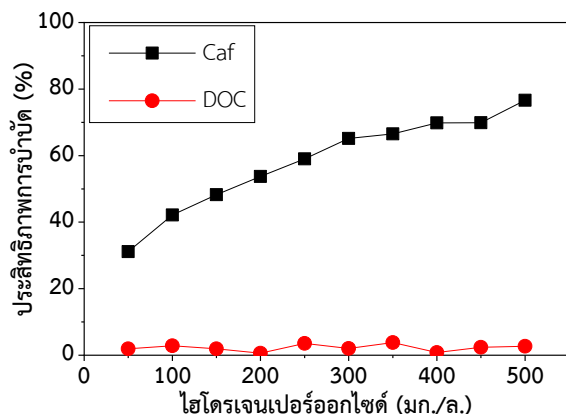


ก)



ข)

รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลง intensity ของพีค (peak) ที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง ก) น้ำอาร์โอ และ ข) น้ำทิ้ง



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟิน และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) ใน Eff+CaF ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 270 min

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณ H_2O_2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟินใน Eff+CaF ได้โดยประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 76.64 ที่ปริมาณ H_2O_2 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากเพิ่มปริมาณ H_2O_2 สำหรับการบำบัด DOC ใน Eff+CaF

มีประสิทธิภาพแกว่งตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 1.91-3.83 และไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ H_2O_2 ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณ H_2O_2 ที่เพิ่มมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟินใน Eff+CaF แต่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด DOC

4. บทสรุป

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟิน และ DOC ในน้ำอาร์โอ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยใช้กระบวนการฉายแสง UVC H_2O_2 และกระบวนการ UVC/ H_2O_2 พบว่ามีเพียงกระบวนการ UVC/ H_2O_2 เท่านั้นที่สามารถบำบัดแคฟฟิน และ DOC ได้สรุปได้ว่าการฉายแสง UVC หรือใช้ H_2O_2 เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบำบัด แคฟฟิน และ DOC ได้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด RO+CaF และ Eff+CaF พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดแคฟฟิน และ DOC ใน Eff+CaF ต่ำ เนื่องจากความซับซ้อนของปฏิกิริยาการฉายแสง UVC ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา UVC/ H_2O_2 ลดลง แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดแคฟฟินใน Eff+CaF โดยการเพิ่มปริมาณ H_2O_2 แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด DOC เพิ่มขึ้นได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kolpin DW, Furlong ET, Meyer MT, Thurman EM, Zaugg SD, Barber LB, Buxton HT. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999- 2000: A national reconnaissance. Environ Sci Technol. 2002;36(6):1202-11.
- [2] Petrie B, Barden R, Kasprzyk-Hordern B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations. Water Res. 2014;72(0):3-27. Available from:<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>
- [3] Graham. Caffeine Its Identity, Dietary Sources, Intake and Biological Effects. 1978;

- [4] Wang D, Sui Q, Lu SG, Zhao WT, Qiu ZF, Miao ZW, Yu G. Occurrence and removal of six pharmaceuticals and personal care products in a wastewater treatment plant employing anaerobic/anoxic/aerobic and UV processes in Shanghai, China. *Environ Sci Pollut Res*. 2014;21(6):4276–85.
- [5] Strauch G, Möder M, Wennrich R, Osenbrück K, Gläser HR, Schladitz T, Schirmer M. Indicators for assessing anthropogenic impact on urban surface and groundwater. *J Soils Sediments*. 2008;8(1):23–33.
- [6] Sauvé S, Aboulfadl K, Dorner S, Payment P, Deschamps G, Prévost M. Fecal coliforms, caffeine and carbamazepine in stormwater collection systems in a large urban area. *Chemosphere*. 2012;86(2):118–23.
- [7] Luo Y, Guo W, Ngo HH, Nghiem LD, Hai FI, Zhang J, Wang XC. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Sci Total Environ*. 2014;473–474:619–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- [8] Klavarioti M, Mantzavinos D, Kassinos D. Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environ Int*. 2009;35(2):402–17. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18760478>
- [9] Snyder S, Westerhoff P, Wert E, Yoon Y. Endocrine Disruptors and Pharmaceuticals: Implications for the Water Industry. *Proc Water Environ Fed*. 2003;2005(13):3166–93.
- [10] Shu Z, Bolton JR, Belosevic M, Gamal El Din M. Photodegradation of emerging micropollutants using the medium-pressure UV/H₂O₂ Advanced Oxidation Process. *Water Res*. 2013;47(8):2881–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.045>
- [11] Kim I, Yamashita N, Tanaka H. Performance of UV and UV / H₂O₂ processes for the removal of pharmaceuticals detected in secondary effluent of a sewage treatment plant in Japan. 2009;166:1134–40.
- [12] Ahn KH, Park KY, Maeng SK, Song KG, Kim KP, Lee SH, Kweon JH. Color removal and disinfection with UV/H₂O₂ system for wastewater reclamation and reuse. *Water Sci Technol Water Supply*. 2005;5(1):51–7.