



ประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน 17 แอลฟา-เมทิล เทสโทสเตอโรนในน้ำเสียด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง Treatment Efficiency of 17 Alpha-Methyltestosterone in Aqueous Solution by Advanced Oxidation Processes

Santipan Chiaplam Torpong Kreetachat and Nathiya Kreetachat*

สันติพันธ์ ฉะยมแหลม ต่พงษ์ กริธาชาติ และ เนธิยา กริธาชาติ*

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

*E-mail : nathiya.kr@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน 17 แอลฟา-เมทิลเทสโทสเตอโรน (MT) โดยเลือกใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง อันได้แก่ กระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนเนชัน และ กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชัน ในการบำบัดฮอร์โมน MT ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3.0 mg/L จากผลการศึกษาพบว่า (1) กระบวนการโฟโตไลซิส ที่สภาวะ pH ต่างๆ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT โดยบำบัดได้มากกว่า 95% ในทุกช่วงของค่า pH ที่ทำการศึกษา สามารถบำบัดจนไม่สามารถวัดค่าได้ (detection limit ของเครื่อง HPLC เท่ากับ 0.1 ppm) ภายในระยะเวลา 30 นาที (2) กระบวนการโอโซนเนชัน ที่สภาวะ pH 5.0 และปริมาณโอโซน 400 mg/hr สามารถบำบัดได้ 72.9% โดยใช้ระยะเวลาในการบำบัด 60 นาที และ (3) กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชัน ที่สภาวะ pH 5.0 และปริมาณโอโซน 400 mg/hr สามารถบำบัดฮอร์โมน MT จนไม่สามารถวัดค่าได้ ภายในระยะเวลา 15 นาที เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดพบว่า กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชันบำบัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการโฟโตไลซิส และกระบวนการโอโซนเนชัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าทางจลศาสตร์พบว่า ทั้ง 3 กระบวนการกลไกการบำบัดเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction)

คำสำคัญ : 17 แอลฟา-เมทิลเทสโทสเตอโรน; โฟโตไลซิส; โอโซนเนชัน; โฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชัน

Abstract

This research aimed to study the optimum conditions for removal of 17 alpha-methyltestosterone (MT) by using advanced oxidation processes (AOPs), i.e. photolysis, ozonation and photocatalytic ozonation, were employed to treat MT at the initial concentrations of 3.0 mg/L. The results show the optimum conditions for treating MT by AOPs: (1) photolysis at pH condition did not affect the efficiency of MT treatment, it can treat over 95% of all pH ranges until cannot be measured (detection limit of HPLC is 0.1 ppm) within 30 min, (2) ozonation at pH 5.0 and ozone dose 400 mg/hr; this optimum conditions can treat 72.9% within 60 min, and (3) photocatalytic ozonation at pH 5.0 and ozone dose 400 mg/hr can treat until cannot be measured within 15 min. For the comparison of efficacy of all processes, it was found that photocatalytic ozonation was the most effective process for MT treatment followed by photolysis and ozonation, respectively. Moreover, the kinetic of all 3 processes was found to be the first-order reaction.

Keywords : 17 Alpha-Methyltestosterone; Photolysis; Ozonation; Photocatalytic Ozonation

บทนำ

การเพาะเลี้ยงปลาในประเทศไทยเป็นที่นิยมอย่างมาก โดยในการเพาะเลี้ยงปลาบางสายพันธุ์จะนิยมเลี้ยงเฉพาะปลาเพศผู้ เนื่องจากเมื่อโตเต็มที่แล้วจะให้น้ำหนักตัวที่มากและมีขนาดตัวที่ใหญ่กว่าปลาเพศเมีย โดยวิธีที่นิยมกันมากที่สุดในปัจจุบัน คือการแปลงเพศปลาโดยใช้ฮอร์โมนเพศชาย ซึ่งฮอร์โมนที่นิยมใช้คือ 17 แอลฟา-เมทิลเทสโทสเตอโรน (17 Alpha-Methyltestosterone) หรือ MT ซึ่งเป็นฮอร์โมนเพศชายสังเคราะห์ที่นิยมในการแปลงเพศปลาโดยเฉพาะอย่างยิ่งปลานิล โดยทำการให้อาหารผสมฮอร์โมน MT ที่มากเกินไป ทั้งนี้อาจทำให้เกิดการสะสม MT ในบ่อแปลงเพศปลานิลได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ฮอร์โมน MT มีการตกค้างอยู่ในตะกอนดินก้นบ่อความเข้มข้นประมาณ 2.8-2.9 ng/g [1] และหากมีการแปลงเพศปลาโดยใช้น้ำที่เคยผ่านการแปลงเพศปลามาใช้อีกครั้งพบว่า อัตราการเป็นเพศผู้ขึ้นเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ [2] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการตกค้างของฮอร์โมน MT ในน้ำ ดังนั้นหากมีการปล่อยน้ำเสียหรือขูดลอกตะกอนอาจทำให้ฮอร์โมน MT ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง และอาจจะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้ จากงานวิจัยพบว่าฮอร์โมน MT อาจเป็นสารก่อมะเร็ง เนื่องจากไปกระตุ้นให้เกิดเนื้องอกที่ไม่ใช่มะเร็ง (Nonmalignant Tumors) ในตับ [3] และได้ถูกจัดเป็น

สารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (Endocrine Disrupting Compound; EDC) โดยทำให้ระดับไทรโธไธโรนของปลาซิวขาวสาร (Medaka) ลดลงเมื่อได้รับฮอร์โมน MT ความเข้มข้นมากกว่า 46.8 ng/L [4] โดยปกติจากบ่อปลานิลที่ทำการแปลงเพศปลานั้นจะต้องมีการเปลี่ยนน้ำเป็นระยะ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมีการเน่าเสียซึ่งมักจะถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้ ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการบำบัดฮอร์โมน MT ที่มีการปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง ได้แก่ กระบวนการโฟโตไลซิส (Photolysis) กระบวนการโอโซนเนชัน (Ozonation) และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชัน (Photocatalytic Ozonation) โดยจะศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของกระบวนการทั้ง 3 กระบวนการ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดฮอร์โมน MT ไม่ให้เป็นพิษหรือส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบริเวณใกล้เคียงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาทดลองในระดับ Laboratory scale โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์

แบบ Batch ที่มีความเข้มข้นของฮอร์โมน MT ที่เริ่มต้น 3.0 mg/L ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการที่สภาวะอุณหภูมิห้อง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง 3 กระบวนการ ดังนี้

1) กระบวนการโฟโตไลซิส: ศึกษา pH ที่เหมาะสมที่สภาวะ pH ต่างๆ ได้แก่ 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0 และใช้หลอด UV-C ที่ค่าความยาวคลื่น 254 nm

2) กระบวนการโอโซนเนชัน: ศึกษา pH ที่เหมาะสมที่สภาวะ pH ต่างๆ ได้แก่ 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0 โดยควบคุมปริมาณโอโซนที่ 300 mg/hr และศึกษาปริมาณโอโซนที่เหมาะสม ที่ปริมาณ 200, 250, 300, 350 และ 400 mg/hr ที่สภาวะ pH ที่เหมาะสม

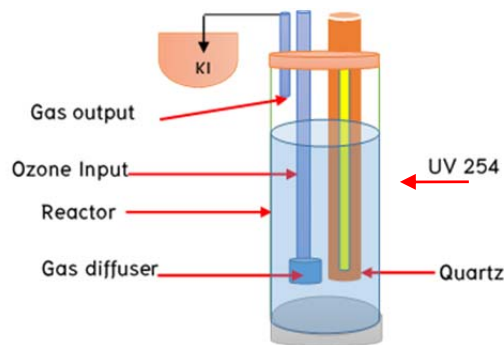
3) กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชัน: ศึกษาปริมาณโอโซนที่เหมาะสม ที่ปริมาณ 200, 250,

300, 350 และ 400 mg/hr ที่สภาวะ pH ที่เหมาะสม และใช้หลอด UV-C ที่ค่าความยาวคลื่น 254 nm

ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 0, 4, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 45 และ 60 นาที เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมน MT ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)

ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษา

ทั้งนี้การศึกษาสภาวะการบำบัดด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงทั้ง 3 กระบวนการ ดำเนินการทดลองภายในถังปฏิกิริยาทรงกระบอกขนาดความจุ 1.2 ลิตร มีฝาปิด เจาะรูสำหรับใส่ท่อโอโซน และติดตั้งหลอดอัลตราไวโอเล็ต (UV-C lamp) ที่บรรจุภายในหลอดควอทซ์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ถังปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่ใช้สำหรับงานวิจัย

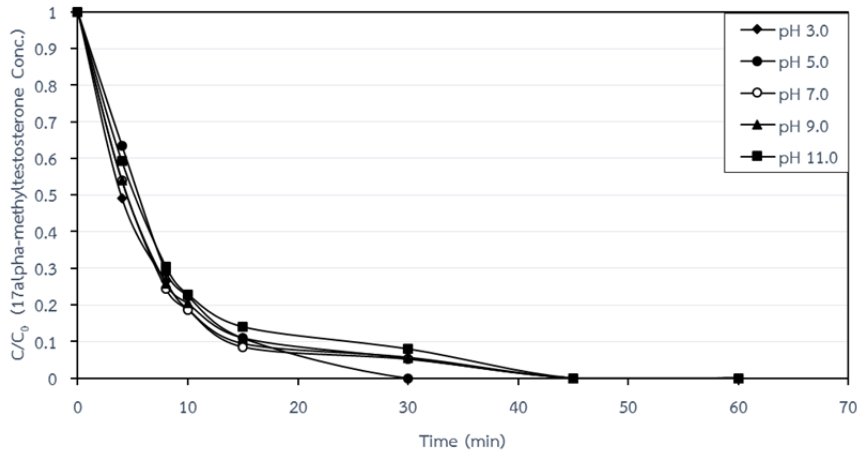
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนเนชัน และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชัน แสดงดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของ pH ต่อประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส ที่สภาวะ pH ต่างๆ (pH 3.0, 5.0, 7.0, 9.0

และ 11.0) โดยศึกษาที่ความเข้มข้นฮอร์โมน MT เริ่มต้น 3.0 mg/L ผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะ pH 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0 มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน โดยสามารถบำบัดฮอร์โมน MT จนไม่สามารถวัดค่าได้ (detection limit ของเครื่อง HPLC เท่ากับ 0.1 ppm) ภายในระยะเวลาการบำบัด 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้น pH ที่เหมาะสมของกระบวนการโฟโตไลซิสในการบำบัดฮอร์โมน MT จึงเลือกที่สภาวะ pH 5.0 เป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นค่า pH เดียวกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ และเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการปรับ pH ของน้ำก่อนทำการบำบัดสารปนเปื้อน



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส ที่สภาวะ pH ต่างๆ

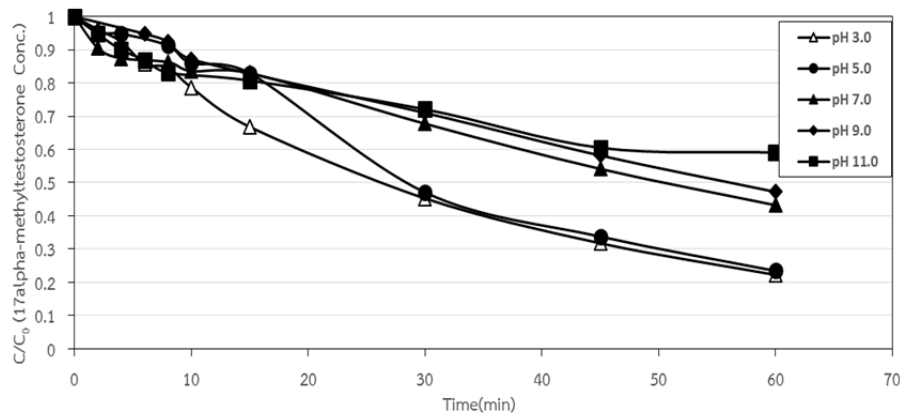
จากผลการทดลองข้างต้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vulliet et al. (2010) [5] ที่พบว่า pH ไม่มีผลต่อการบำบัดด้วยกระบวนการโฟโตไลซิสในการบำบัดฮอร์โมน MT ทั้งนี้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 254 nm สามารถทำปฏิกิริยาโฟโตไลซิสโดยตรง (Direct photolysis) กับสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยาโดยอ้อม (Indirect photolysis) โดยแสงจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำได้เป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดการออกซิเดชันกับสารต่อไป โดยอนุมูลอิสระจะมีศักยภาพในการออกซิไดซ์สูง สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและไม่มีความเฉพาะเจาะจงในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งจะเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ [6] ดังสมการ 1-3



ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่น

ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของ pH ต่อประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่น ที่สภาวะ pH ต่างๆ (pH 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0) โดยควบคุมปริมาณโอโซนที่ 300 mg/hr และความเข้มข้นฮอร์โมน MT เริ่มต้นที่ 3.0 mg/L ผลการศึกษพบว่าที่สภาวะ pH 3.0 จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฮอร์โมน MT ได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 77.8% (ที่เวลาการบำบัด 60 นาที) และเหลือปริมาณ MT ในน้ำ เท่ากับ 0.66 mg/L นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด MT มีแนวโน้มลดลงเมื่อปรับสภาวะ pH ให้สูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 76.6%, 56.8%, 52.8% และ 40.9% ที่สภาวะ pH 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด MT ด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่นที่สภาวะ pH ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโอโซนชั้น ที่สภาวะ pH ต่างๆ

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่ม pH เป็นการเพิ่มอนุมูลไฮดรอกซิล (OH^\bullet) หากมี OH^\bullet มากเกินไป จะทำให้เกิดการรวมตัวกันเองได้ ส่งผลให้ OH^\bullet ในระบบลดลง [7] ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฮอร์โมน MT ลดลงไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bledzka et al. [8] ที่พบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้น จะทำให้มี OH^\bullet เพิ่มขึ้น แล้วเกิดการเปลี่ยนรูปใหม่ไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (HO_2^\bullet) ซึ่ง HO_2^\bullet ทำปฏิกิริยากับ OH^\bullet ได้ดีกว่า ทำให้ OH^\bullet ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับตัวฮอร์โมน MT ได้เท่าที่ควร ดังนั้นปฏิกิริยานี้จึงเกิดได้ไม่ดีที่ pH สูงๆ

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ที่สภาวะ pH 3.0 และ pH 5.0 ประสิทธิภาพในการบำบัดฮอร์โมน MT ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโอโซนชั้น จึงเลือกที่สภาวะ pH 5.0 เพื่อลดค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการปรับ pH

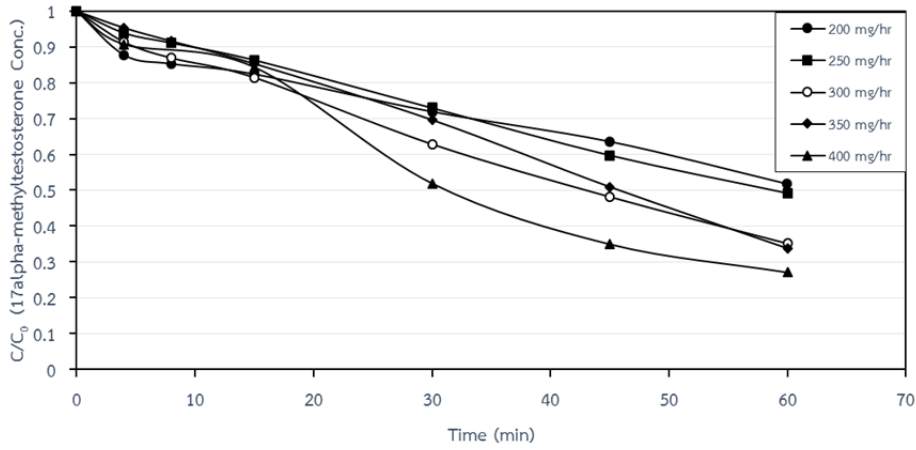
ผลการศึกษาปริมาณโอโซนที่เหมาะสม

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณโอโซนต่อประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโอโซนชั้น ที่สภาวะปริมาณโอโซนต่างๆ (200, 250, 300, 350 และ 400 mg/hr) โดยควบคุมสภาวะ pH ที่เหมาะสม (pH 5.0) และความเข้มข้น MT เริ่มต้นที่ 3.0 mg/L ผลการศึกษาพบว่าที่ปริมาณโอโซนสูงสุด 400 mg/hr สามารถบำบัดฮอร์โมน MT ได้ดีที่สุด

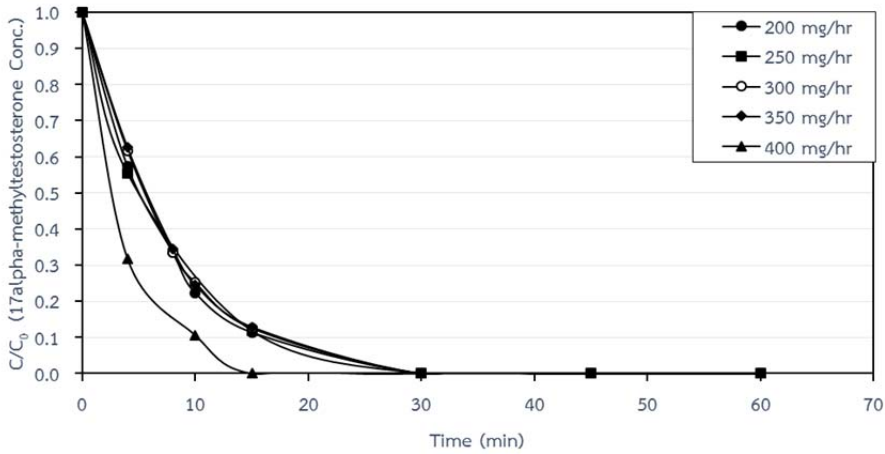
โดยบำบัดได้ 72.9% และเหลือปริมาณฮอร์โมน MT ในน้ำ 0.78 mg/L รองลงมาเป็นที่ปริมาณโอโซน 350, 300, 250 และ 200 mg/hr บำบัดฮอร์โมน MT ได้ 66.2%, 64.9%, 50.8% และ 48.2% ยังคงเหลือฮอร์โมน MT ในน้ำ 0.99, 1.04, 1.45 และ 1.63 mg/L ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด MT ด้วยกระบวนการโอโซนชั้นที่สภาวะค่าปริมาณโอโซนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกโอโซนชั้น

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโฟโตไลซิส และกระบวนการโอโซนชั้นในการบำบัดฮอร์โมน MT ซึ่งได้สภาวะดังนี้ กระบวนการโฟโตไลซิสสภาวะ pH ไม่มีผลต่อการบำบัดฮอร์โมน MT โดยประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันทุกค่า pH และกระบวนการโอโซนชั้นบำบัดได้ดีที่สภาวะ pH 5.0 ดังนั้นในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกโอโซนชั้น จึงทำการศึกษาที่ pH 5.0 โดยให้รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV-C) ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และความเข้มข้นฮอร์โมน MT เริ่มต้นที่ 3.0 mg/L ที่สภาวะปริมาณโอโซนต่างๆ (200, 250, 300, 350 และ 400 mg/hr) ผลจากการศึกษาพบว่า ที่ปริมาณโอโซน 400 mg/hr บำบัดได้ดีที่สุด โดยสามารถบำบัดฮอร์โมน MT จนกระทั่งไม่สามารถวัดค่าได้ (detection limit ของเครื่อง HPLC เท่ากับ 0.1 ppm) ภายในระยะเวลาการบำบัด 15 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5

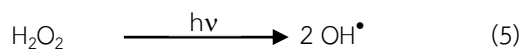
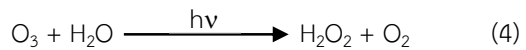


รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโอโซนชั้น ที่ค่าปริมาณโอโซนต่างๆ



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนชั้น ที่ค่าปริมาณโอโซนต่างๆ

การสลายตัวของโอโซนในสภาวะก๊าซภายใต้อิทธิพลของแสง UV จะได้โมเลกุลของออกซิเจนและอะตอมของออกซิเจน หลังจากนั้นออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้ hydroxyl radical (OH[•]) เป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนการสลายตัวของโอโซนในสายละลายที่เป็นน้ำ เมื่อกระตุ้นด้วยแสง UV จะได้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) และออกซิเจนเป็นผลิตภัณฑ์ หลังจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) จะแยกเป็น OH[•] 2 โมเลกุล ดังสมการที่ 4-5 โดยที่แสง UV จะส่งผลต่อการสลายตัวของโอโซนเมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรด [9]

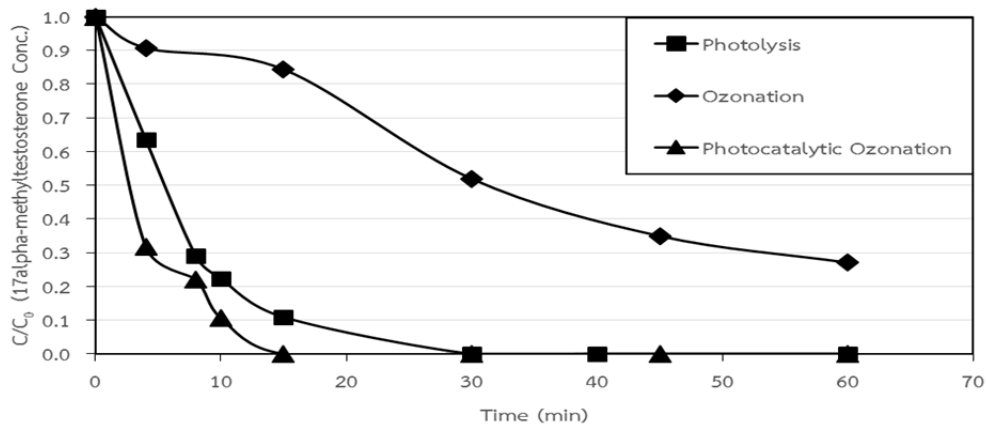


เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนชั้น และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนชั้น

ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการทั้งสามกระบวนการ จะเลือกเปรียบเทียบที่สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละกระบวนการ ดังนี้

- กระบวนการโฟโตไลซิส สภาวะที่เหมาะสม คือ pH 5.0 และ UV-C 254 nm
- กระบวนการโอโซนเนชั่น สภาวะที่เหมาะสม คือ pH 5.0 และปริมาณโอโซน 400 mg/hr
- กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชั่น สภาวะที่เหมาะสม คือ pH 5.0 ปริมาณโอโซน 400 mg/hr และ UV-C 254 nm

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการทั้งสามกระบวนการแสดงดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ากระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชั่น สามารถบำบัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือกระบวนการโฟโตไลซิส และกระบวนการโอโซนเนชั่นตามลำดับ

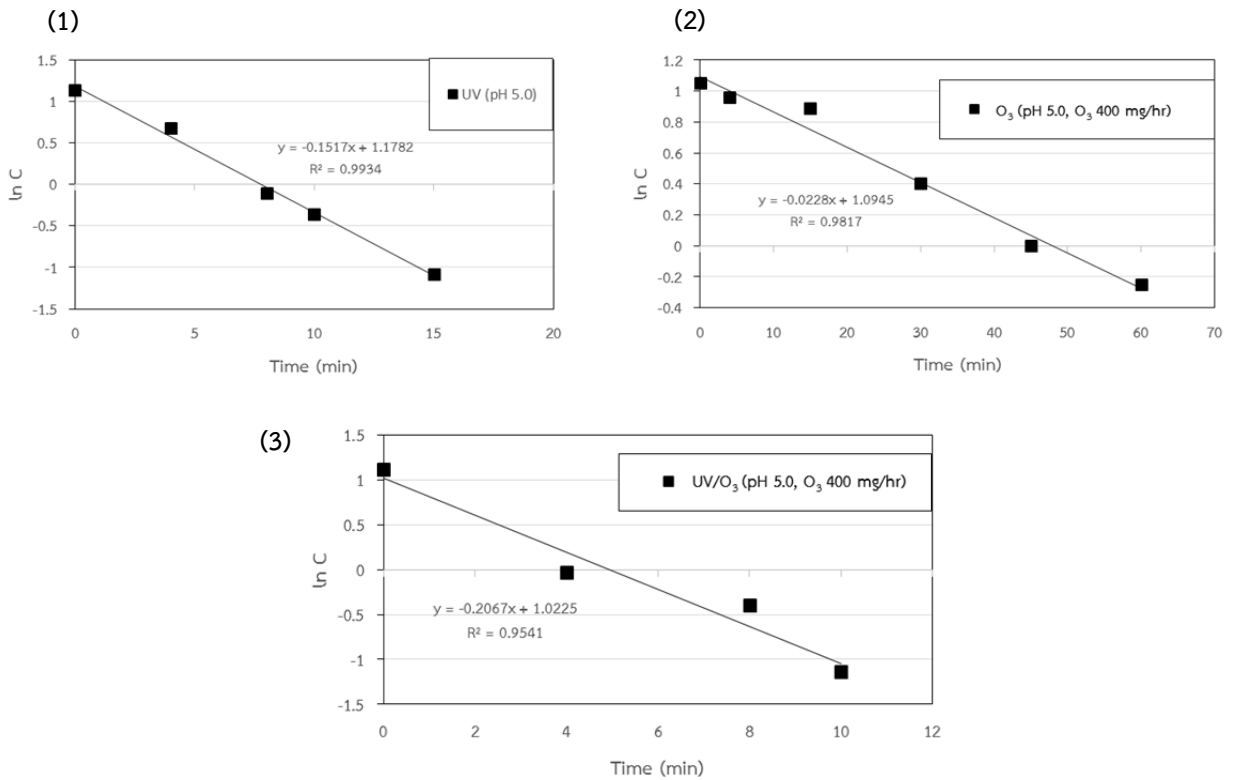


รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนเนชั่น และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชั่น

เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของแต่ละกระบวนการ

จากการศึกษาการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการทั้งสามกระบวนการ (กระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนเนชั่น และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชั่น) ที่สภาวะบำบัดที่เหมาะสม ได้ทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัด โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร MT (C) และเวลาในการบำบัด (time) พบว่าทั้งสามกระบวนการแสดงปฏิกิริยาในการบำบัดฮอร์โมน MT เป็นแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction) โดยแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของฮอร์โมน MT กับเวลาในการบำบัดในรูปของ $\ln C$ (C คือ ความเข้มข้นที่ระยะเวลาต่างๆ) กับเวลา (time) ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยจะพิจารณาค่า R^2 ที่มี

แนวโน้มเข้าใกล้ 1.0 มากที่สุด ซึ่งเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ จะได้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ที่ให้ค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.9541-0.9934 และให้ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate constant, k) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยทั้งสามกระบวนการเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction) ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ต้องการบำบัด โดยหากในระบบมีความเข้มข้นของฮอร์โมน MT สูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะย่อยสลายฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการทั้งสามกระบวนการจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของฮอร์โมน MT เริ่มต้นในระบบ



รูปที่ 7 อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของการบำบัดฮอร์โมน MT ที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วย (1) กระบวนการโฟโตไลซิส (2) กระบวนการโอโซนเนชั่น และ (3) กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชั่น

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละกระบวนการ

กระบวนการโฟโตไลซิส สามารถบำบัดฮอร์โมน MT ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3.0 mg/L ด้วยสถานะที่ pH 5.0 และ UV-C 70 mW/cm² ภายในเวลา 30 นาที มีค่าใช้จ่ายในกระบวนการบำบัดทั้งสิ้น 9.21 บาท/ลบ.ม

กระบวนการโอโซนเนชั่น ที่สามารถบำบัดฮอร์โมน MT ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3.0 mg/L ได้ด้วยสถานะที่ pH 5.0 และปริมาณโอโซน 400 mg/hr โดยใช้เวลาในการ

บำบัด 60 นาที มีค่าใช้จ่ายในกระบวนการบำบัดทั้งสิ้น 21 บาท/ลบ.ม

กระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนเนชั่น สามารถบำบัดฮอร์โมน MT ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3.0 mg/L ได้ด้วยสถานะที่ pH 5 ปริมาณโอโซน 400 mg/hr และ UV-C 70 mW/cm² โดยใช้เวลาในการบำบัด 15 นาที มีค่าใช้จ่ายในกระบวนการบำบัดทั้งสิ้น 9.86 บาท/ลบ.ม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง

กระบวนการ AOPs	ค่าใช้จ่าย (Baht/m ³)
Photolysis (pH 5.0, UV, 30 min)	ค่าไฟฟ้า (หลอด UV-C) 9.21
รวม	9.21
Ozonation (pH 5.0, 60 min)	ค่าไฟฟ้า (เครื่องผลิตโอโซน) 21.00
รวม	21.00
Photocatalytic Ozonation (pH 5.0, UV, 15 min)	ค่าไฟฟ้า (เครื่องผลิตโอโซน) 5.25
	ค่าไฟฟ้า (หลอด UV-C) 4.61
รวม	9.86

สรุป

จากผลการศึกษาการบำบัดฮอร์โมน MT ด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนชัน และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนชัน สามารถสรุปได้ดังนี้ กระบวนการโฟโตไลซิส พบว่า pH ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดฮอร์โมน MT โดยสามารถบำบัดฮอร์โมน MT จนไม่สามารถวัดค่าได้ (detection limit ของเครื่อง HPLC เท่ากับ 0.1 ppm) ภายในระยะเวลาการบำบัด 30 นาที กระบวนการโอโซนชัน สภาวะที่เหมาะสมคือ pH 5.0 และปริมาณโอโซน 400 mg/hr สามารถบำบัดได้ 72.94% ใช้ระยะเวลาการบำบัด 60 นาที และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนชัน สภาวะที่เหมาะสมคือ pH 5.0 และปริมาณโอโซน 400 mg/hr สามารถบำบัดฮอร์โมน MT จนไม่สามารถวัดค่าได้ (detection limit ของเครื่อง HPLC เท่ากับ 0.1 ppm) ภายในระยะเวลาการบำบัด 15 นาที สำหรับจลนพลศาสตร์ของทั้งสามกระบวนการ (กระบวนการโฟโตไลซิส กระบวนการโอโซนชัน และกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนชัน) พบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction) โดยให้ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate constant, k) เท่ากับ 0.1517, 0.0228 และ 0.9541 ต่อนาที ตามลำดับในการศึกษาครั้งนี้หากพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดพบว่า กระบวนการโฟโตไลซิส จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีและราคาถูกที่สุด แต่หากนำไปประยุกต์ใช้ในสถานที่จริงจะมีปัญหาเกี่ยวกับความขุ่นของน้ำที่จะขัดขวางกระบวนการบำบัด ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนกระบวนการโอโซนชันเพียงกระบวนการเดียวไม่เพียงพอสำหรับการบำบัดฮอร์โมน MT ได้หมด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโอโซนชันแล้ว จะมีค่าใช้จ่ายที่ไม่แตกต่างจากกระบวนการโฟโตไลซิสมากนัก แต่ให้ประสิทธิภาพที่ดีและไม่มีข้อจำกัดเรื่องความขุ่นของน้ำที่จะบำบัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากมหาวิทยาลัยพะเยา ผ่านงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fitzpatrick, M.S., Contreras-Sánchez, M. and Schreck, C. 2000. Fate of methyltestosterone in the pond environment: detection of MT in soil after treatment with MT food. In: McElwee, K., Burke, D., Niles, M., Cummings, X. and Egna, H. (Editors). Seventeenth annual technical report Pond dynamicx/Aquaculture CRSP. Corvallis: Oregon: Oregon State University, Oregon. 109-112.
- [2] Yenpoeng, T., Prompakdee, W., Ngamvongchon, S. and Wattanamahard, T. 2013. Study on hormone (17 alpha methyltestosterone) residue level of sex reversal Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.) seed production in the water recirculation system. Inland Fisheries Research and Development Bureau, Department of Fisheries. (in Thai)
- [3] Soe, K.L., Soe, M. and Gluud, C. 1992. Liver pathology associated with the use of anabolic-androgenic steroids. *Liver Int.* 12: 73-79.
- [4] Kang, I.J., Yokota, H., Oshima, Y., Tsuruda, Y., Shimasaki, Y. and Honjo, T. 2008. The effects of methyltestosterone on the sexual development and reproduction of adult medaka (*Oryzias latipes*). *Aquat. Toxicol.* 87: 37-46.
- [5] Vulliet, E., Falletta, M., Marote, P., Lomberget, T., Paisse, J.O. and Loustalot, M.F.G. 2010. Light induced degradation of testosterone in waters. *Sci. Total Environ.* 408: 3554-3559.
- [6] De Laat, J.E. and Dore, M. 1994. Degradation of chloroethanes in dilute aqueous solution by H₂O₂/UV. *Water Res.* 28(12): 2507-2519.

- [7] Kajitvichyanukul, P. 2005. Application of advanced oxidation processes as pretreatment method for medical wastewater. Department of Environmental Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- [8] Bledzaka, D., Gmurek, M., Olak, M., Miller, J.S. and Ledakowicz, S. 2010. Photodegradation and advanced oxidation of endocrine disruptors in aqueous solutions. *Catal. Today*. 151: 125-130.
- [9] Ku, Y., Su, W.J. and Shen, Y.S. 1996. Decomposition kinetics of ozone in aqueous solution. *Ind. Eng. Chem. Res.* 35: 3369-3374.