



การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอทีในน้ำชะขยะมูลฝอย ด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส กรณีศึกษา หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

นิพาดา ขนานวุธ¹ และ พัชรารณณ์ ผู้อินทร์เที่ยง^{1*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

*Patcharaporn.phu@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการจัดการขยะส่วนใหญ่ใช้วิธีฝังกลบ เนื่องจากต้นทุนต่ำและสามารถรองรับปริมาณขยะได้จำนวนมาก แต่วิธีการฝังกลบยังมีข้อจำกัดบางส่วนซึ่งมีส่วนก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้ การเกิดน้ำชะขยะเป็นปัญหาส่วนหนึ่งที่พบงานวิจัยนี้จึงทำการวิจัยโดยการนำไทเทเนียมไดออกไซด์มาช่วยแก้ปัญหามำบดซีโอทีในน้ำชะขยะ ด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลตมาช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชะขยะ และน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี พบว่า ในการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ ร่วมกับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร กำลัง 30 วัตต์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำชะขยะมีค่าเฉลี่ย 14.28% ที่ความเร็วรอบของเครื่องจาร์เทส 50 รอบต่อนาที พีเอช 7 โดยให้แสงอัลตราไวโอเลต เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับบำบัดซีโอทีได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: บำบัดน้ำเสีย ซีโอที ไททาเนียมไดออกไซด์ โฟโตคะตะไลซิส



Evaluation of COD Removal Efficiency from Municipal Solid Leachate by Photocatalysis; A case study of Leachate from Nonthaburi Provincial Administrative Organization Landfill

Nipada Kananwut¹ and Patcharaporn Phuinthiang^{1*}

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

*Patcharaporn.phu@rmutr.ac.th

Abstract

At present, landfilling remains the predominant method of waste management due to its low cost and its capacity to accommodate large volumes of waste. However, landfilling has certain limitations that can contribute to environmental problems. The generation of leachate is one of the issues commonly encountered. This research investigated the use of Titanium Dioxide to treat COD in leachate using a light-catalyzed ultraviolet (UV) process to break down organic matter in leachate from the Nonthaburi Provincial Municipality landfill. The study found that using Titanium Dioxide in combination with a light-catalyzed UV process at a wavelength of 365 nm and a power of 30 watts achieved 14.28% COD removal efficiency in leachate at a jar test speed of 50 rpm, pH 7, and an optimal reaction time of 4 hours. This treatment offers a viable alternative for treating municipal solid waste leachate in the future.

Keywords: Wastewater treatment, COD, Titanium Dioxide, Photocatalysis

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของเศรษฐกิจในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ทำให้เกิดการสะสมของกองขยะจำนวนมาก ปัจจุบันการจัดการขยะในพื้นที่ดังกล่าวส่วนใหญ่ใช้วิธีฝังกลบ ซึ่งแม้จะเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากต้นทุนต่ำและสามารถรองรับปริมาณขยะจำนวนมากได้ แต่วิธีฝังกลบก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการเกิดน้ำชะขยะที่มีสารอินทรีย์ ย่อยสลายยาก โลหะหนัก และเชื้อโรคต่างๆ หากไม่มีระบบรวบรวมจัดเก็บและการบำบัดอย่างเหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน พื้นที่เกษตรกรรมโดยรอบ และสุขภาพของประชาชนในระยะยาว [1,2]

การใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis process) เป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และสารปนเปื้อนในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [3] ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงจำเป็นต้องใช้วัสดุเร่งปฏิกิริยา วัสดุเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มีคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านความเสถียร ไม่เป็นพิษ ราคาถูก มีแถบช่องว่างพลังงานประมาณ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ใช้แสงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร เมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต เกิดเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($\text{O}_2^{\cdot -}$) และอนุมูลไฮดรอกซิล ($\cdot\text{OH}$) ซึ่งอนุมูลทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง สามารถทำลายและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4, 5] สามารถย่อยสลายสารมลพิษได้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นผลผลิตสุดท้าย [6]

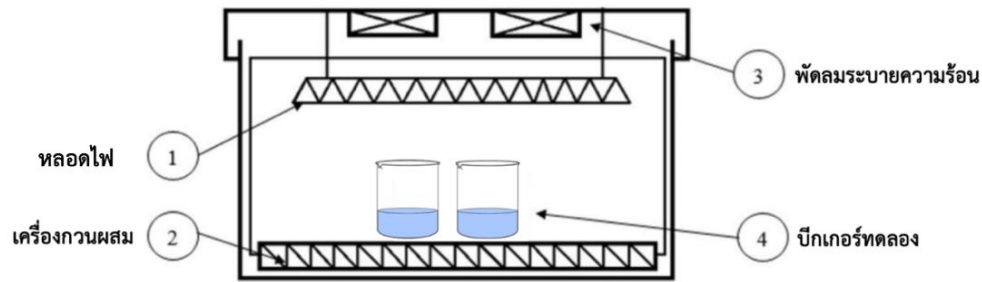
ในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมาย เพื่อใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตจากหลอดยูวีที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร ในการบำบัดน้ำชะขยะที่สภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ น้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะ ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตำบลคลองขวาง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนนทบุรี เพื่อให้เป็นอีกทางเลือกในการบำบัดน้ำชะขยะขั้นสูง และสามารถนำไปใช้ได้จริงในอนาคต

2. วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตำบลคลองขวาง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนนทบุรี ในขั้นตอนการทดลองการบำบัดใช้เครื่องกวนสารละลาย Jar test ทดลองในกล่องทดลองทึบแสง โดยมีแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร อยู่ภายใน ดังแสดงในภาพที่ 1

ไททาเนียมไดออกไซด์แบบเชิงการค้า P25 (Kemaus) นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ด้วยเครื่องมือขั้นสูง X-ray Diffractometer (XRD) และเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และทดสอบประสิทธิภาพของไททาเนียมไดออกไซด์เบื้องต้น โดยใช้สารเมทิลีนบลู (Methylene Blue) เป็นสารมลพิษสังเคราะห์ในน้ำ ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ ในปริมาณ 0.05 กรัม ทดสอบในกล่องทดลองทึบแสงเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 15, 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที และนำตัวอย่างไปวัดการสลายของสารเมทิลีนบลูด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer (Thermo Scientific, Spectronic 200)

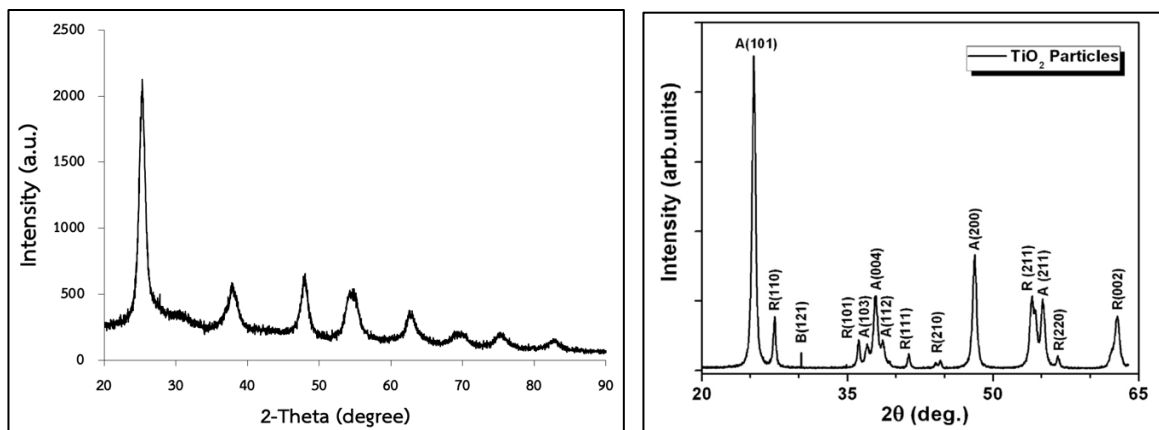
ในการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยการกำจัดซีโอดีในน้ำชะขยะมูลฝอย แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยทำการหาค่า pH ของน้ำชะขยะที่เหมาะสม โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร [7] และปรับค่า pH ของน้ำชะขยะ เท่ากับ 5, 7, และ 9 ทำการทดสอบเหมือนการทดสอบก่อนหน้า โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะที่เวลา 1, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง และนำน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี จากนั้นทำการหาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 กรัมต่อลิตร ภายใต้สภาวะ pH ที่เหมาะสมจากผลการทดลองข้างต้น เพื่อทำการเปรียบเทียบ PH ของน้ำชะขยะที่เหมาะสม และปริมาณไททาเนียมที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดน้ำชะขยะ



ภาพที่ 1 กล้องทดลองที่แสงที่ใช้ในการบวนการโฟโตคะตะไลซิส

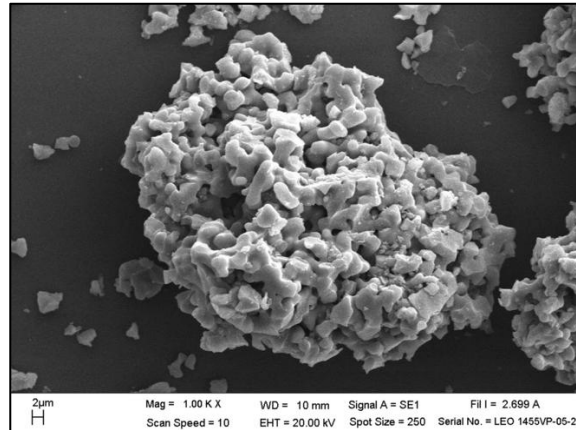
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ภาพที่ 2 (ก) ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์แบบเชิงการค้า P25 ด้วยเครื่อง XRD เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Carneiro, J. O., et.al.,2014 [8] ดังภาพที่ 2 (ข) ไททาเนียมไดออกไซด์ P25 เป็นเฟสอนาเทส (Anatase) โดยที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25° , 38° , 47° , และ 55° แสดงผลึกเฟสอนาเทส (101), (004), (200), และ (211) ตามลำดับ ซึ่งไททาเนียมไดออกไซด์ในผลึกเฟสอนาเทสเป็นที่ยอมรับใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส [9]



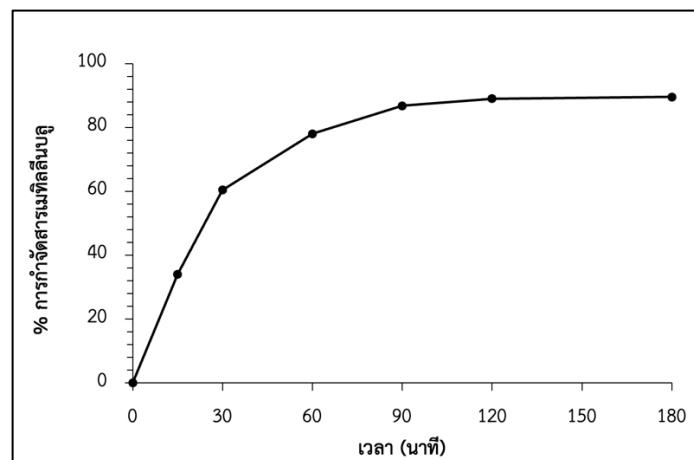
ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ XRD (ก) ไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ข) ไททาเนียมไดออกไซด์จากงานวิจัยของ Carneiro, J. O., et.al. [8]

สำหรับผลการวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณของไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย $\times 1000$ พบว่ามีลักษณะผิวเป็นขรุขระ และเป็นรูพรุน มีการกระจายตัวของอนุภาค แสดงถึงคุณสมบัติการดูดซับสารมลพิษได้ดี ส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่ดี ซึ่งภาพถ่าย SEM ดังแสดงในภาพที่ 3



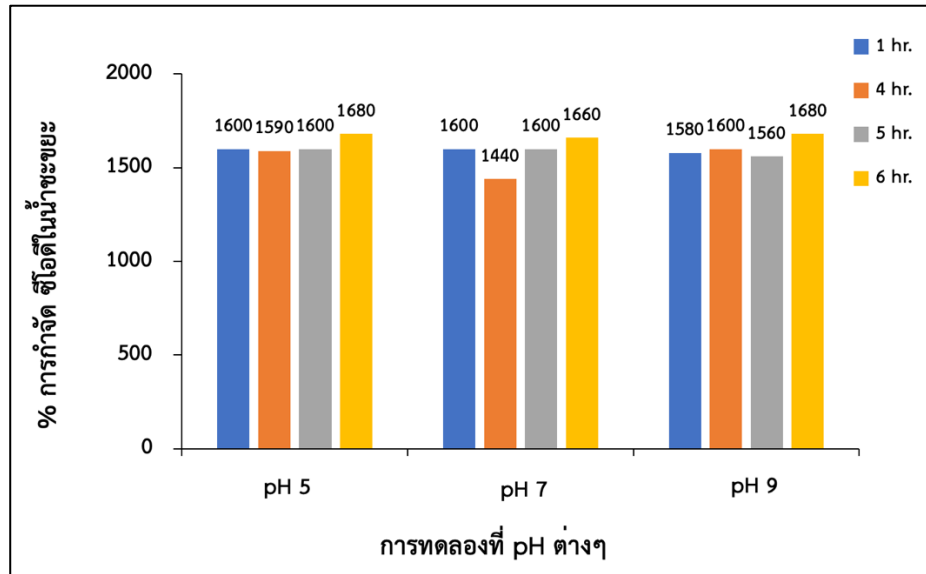
ภาพที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของไททาเนียมไดออกไซด์ P25

ผลการทดสอบไททาเนียมไดออกไซด์เบื้องต้นกับการบำบัดมลพิษสารเมทิลลีนบลู แสดงในภาพที่ 4 พบว่า ณ เวลา 15 และ 30 นาที ในที่มีดก่อนเปิดไฟ เพื่อเข้าสู่กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารเมทิลลีนบลูเท่ากับ 34.06 และ 60.44% ตามลำดับ และเมื่อเข้าสู่กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ผลการทดสอบ ณ นาที 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารเมทิลลีนบลูเท่ากับ 78.02, 86.81, 89.01, และ 89.56% ตามลำดับ จากผลการทดสอบเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำชะขยะได้

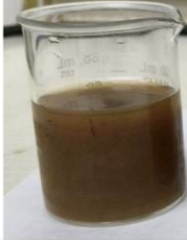


ภาพที่ 4 การทดสอบไททาเนียมไดออกไซด์เบื้องต้นกับการบำบัดมลพิษสารเมทิลลีนบลู

การบำบัดสารอินทรีย์ซีโอติในน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ทำการวิเคราะห์ผลซีโอติเริ่มต้น พบว่าน้ำชะขยะมีซีโอติเริ่มต้นอยู่ที่ 1,680 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดสอบการบำบัดการปรับ pH ของน้ำชะขยะเท่ากับ 5, 7, และ 9 และเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะที่เวลา 1, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง ผลการทดสอบ พบว่าที่ pH เท่ากับ 7 เมื่อฉายแสงด้วยอัลตราไวโอเลตในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ค่าซีโอติลดลงเท่ากับ 1,440 ดังนั้นจึงเลือกใช้สภาวะการฉายแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง และน้ำชะขยะ pH7 เป็นสภาวะที่เหมาะสม เพื่อทดสอบปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ซึ่งผลการทดสอบการบำบัดซีโอติในน้ำชะขยะและภาพน้ำชะขยะหลังผ่านการทดลองที่ pH ต่างๆ แสดงในภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



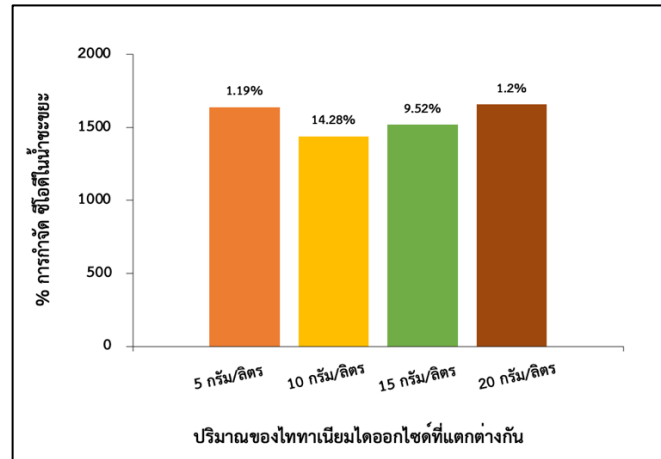
ภาพที่ 5 ผลการทดสอบการบำบัดซีโอดีในน้ำชะขยะด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

pH	ระยะเวลาการฉายแสง			
	1 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
pH 5				
pH 7				
pH 9				

ภาพที่ 6 น้ำชะขยะหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสที่ pH ต่างๆ

สำหรับทดสอบปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ใช้ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ต่างกัน คือ 5, 10, 15, และ 20 กรัมต่อลิตร โดยปรับ pH ของน้ำชะขยะเท่ากับ 7 และใช้ระยะเวลาในการให้รังสีอัลตราไวโอเลต เท่ากับ 4 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร มีความสามารถในการกำจัดซีโอดีในน้ำชะขยะได้ดีที่สุด ซีโอดีของน้ำชะขยะลดลงจาก 1,680 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 1,440 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลดลง 14.28% และปริมาณ

ไททาเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 15, 5, และ 20 กรัมต่อลิตร ทำให้ซีโอดีลดลง 9.52%, 1.19%, และ 1.2% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไปจะเพิ่มความขุ่นและการกระเจิงของแสง ทำให้ฟोटอนของแสงอันตร้าไวโอเล็ตส่องเข้าไปไม่ถึงพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [10] ส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดน้อยลง



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน

4. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ พบว่า ไททาเนียมไดออกไซด์มีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุน และมีผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทส เหมาะสมกับการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำชะขยะของหลุมฝังกลบขยะจากองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรีได้จริง โดยการปรับ pH ของน้ำชะขยะให้เป็น 7 และฉายแสงด้วยแสงอันตร้าไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง และใช้ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด สามารถลดค่าซีโอดีของน้ำชะขยะได้ 14.28% จากปริมาณซีโอดีเริ่มต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ที่สนับสนุนน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thailand State of Pollution Report 2022. (2023). Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment. AP CONNEX Co.,Ltd., 24-26. (In Thai)
- [2] Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32(4), 297–336.
- [3] Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. Nature, 238, 37–38.
- [4] Goswami, D.Y., Kreith, F., & Kreider, J.F. (2000). Principles of solar engineering: solar photochemical application. 2nd (Eds). Taylor & Francis, Philadelphia, 447–481.



- [5] Sujitra Nawarat. (2010). Microorganism removal from hospital wastewater using TiO₂ photocatalysis, ultraviolet-C and chlorination. [Master of Science]. Thammasat University. (In Thai)
- [6] Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A. (2005). TiO₂ photocatalysis: A historical overview and future prospects. Japanese Journal of Applied Physics., 44(12), 8269-8285.
- [7] Sudthawit Sarapunth., Nida Chaimoon., Peth Pengchai. (2016). Leachate Treatment with Titanium Dioxide, KKU Research Journal., 16(2), 36-48. (In Thai)
- [8] Carneiro, J. O., Vasconcelos, G., Azevedo, S., Jesus, C., Palha, C., Gomes, N., & Teixeira, V. (2014). The evaluation of the thermal behaviour of a mortar based brick masonry wall coated with TiO₂ nanoparticles: An experimental assessment towards energy efficient buildings. Energy and Buildings, 81, 1-8.
- [9] Phuangrat Khachitvichyanukul. (2014). Nanotechnology for the environment. Phitsanulok, Thailand : Naresuan University Press. (In Thai)
- [10] Malato, S., Fernández-Ibáñez, P., Maldonado, M. I., Blanco, J., & Gernjak, W. (2009). Decontamination of water by solar photocatalysis. Chemical Engineering Journal, 147(1), 1-59.