

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยสารไทเทเนียมไดออกไซด์ Leachate Treatment with Titanium Dioxide (TiO₂)

สัฏฐวิชญ์ สารพันธ์ (Sudthawit Sarapunth)^{1*} ดร.นิดา ชัยมูล (Dr.Nida Chaimoon)**

ดร.เพชร เพ็งชัย (Dr.Petch Pengchai)**

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย สถานีฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม การทดลองหาสภาวะ ที่เหมาะสม ทำโดยเครื่องจาร์ทดสอบ และนำผลที่ได้ไปทดลองในภาคสนามด้วยปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ที่ใช้ในการทดลองคือ 10 15 20 25 และ 30 กรัม/ลิตร ระยะเวลาทวนผสม 4 5 และ 6 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่าปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ จำนวน 10 กรัม/ลิตร ระยะเวลาทวนผสม 5 ชั่วโมง และค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 7 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Index) เท่ากับ 11 มีประสิทธิภาพการบำบัด ซีโอดี ดีที่สุดคือ ร้อยละ 77.5 และผลการทดลองหาค่าความเป็นกรด-เบส ที่มีความเหมาะสม โดยการปรับค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำชะมูลฝอยเป็น 2 4 6 8 และ 10 ตามลำดับ พบว่า ความเป็นกรดในช่วง 2-4 จะลดค่า ซีโอดี ได้ดีที่สุดใน การทดลองภาคสนามซึ่งใช้ในสภาพจริงต้องคำนึงถึง ความปลอดภัยของอุปกรณ์และผู้ปฏิบัติงาน จึงได้ปรับค่าความเป็นกรด เท่ากับ 4.5 ปริมาณไทเทเนียมได-ออกไซด์ (TiO₂) จำนวน 10 กรัม/ลิตร ระยะเวลาทวนผสม 5 ชั่วโมง รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Index) เท่ากับ 8 ผลการวิจัยภาคสนามพบว่าประสิทธิภาพการ บำบัดค่า ซีโอดี เฉลี่ยร้อยละ 49.2 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี เฉลี่ยร้อยละ 47.5

ABSTRACT

This research aimed to use titanium dioxide (TiO₂) as a catalyst with ultraviolet light for leachate treatment in Chiang-Yuen municipal solid waste landfill ,Mahasarakham Province. Optimum condition was tested in laboratory scale by jar test and applied to full scale test in field. The jar test was conducted by varying doses of TiO₂ at 10, 15, 20, 25 and 30 g/L and mixing duration at 4, 5 and 6 hours. It was found that 10 g/L of TiO₂ and 5 hours mixing duration and 11 UV index gave the highest COD removal efficiency of 77.5 % The effect of leachate pH was also investigated by varying pH of the leachate at 2, 4, 6, 8 and 10 The lower pH lead to higher COD removal efficiency but the pH in range of 2-4 could damage the equipment. There fore pH 4.5 was applied in the field along with 10 g/L of TiO₂, 5 hours mixing duration and 8 UV index. The results from the field test showed that the average COD removal efficiency was 49.2 % and the average BOD removal efficiency was 47.5 %.

คำสำคัญ: น้ำชะมูลฝอย ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) โฟโตแคตตาไลติก

Keywords: Leachate, Titanium Dioxide (TiO₂), Photocatalytic

¹ Correspondent author : Somsiansarapunth@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทนำ

การฝังกลบมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลของประเทศไทย ได้มีการออกแบบระบบรองรับน้ำชะมูลฝอยชุมชนเบื้องต้นเป็นแบบบ่อฝัง (Sanitary Stabilization Pond) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ยังเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะเป็นระบบที่ง่ายแก่การดูแลรักษาไม่มีระบบเทคนิคที่ซับซ้อนและเพียงพอแก่การบำบัดคุณภาพของน้ำชะมูลฝอย [1] ภายหลังที่ปริมาณมูลฝอยมีจำนวนมากขึ้นการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและขบวนการฝังกลบในระยะที่ 2 ส่วนผสมของสารอินทรีย์และสารปนเปื้อนที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีความเข้มข้นสูงขึ้น [1] หากไม่ดำเนินการบำบัดที่ถูกต้องก็จะก่อให้เกิดผลเสียต่อน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน [2-3] ส่งผลกระทบที่เป็นอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศวิทยา [4]

กระบวนการบำบัดน้ำเสียนั้นประกอบด้วยวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีววิทยา เช่น วิธีการตกตะกอนด้วยการกรอง การดูดซับกลิ่นและสีด้วยถ่านกัมมันต์ การแลกเปลี่ยนไอออน กระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับและกระบวนการเมมเบรนแบบจุ่มตัว [5-6] นอกเหนือที่กล่าวมาแล้ว กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก ซึ่งใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีแถบช่องว่างพลังงานประมาณ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่นที่ให้พลังงานมากกว่าแถบช่องว่างอิเล็กตรอน (hole) [7-8] โดยใช้ค่า BOD COD เป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH และสถานะความเข้มของแสง [8] โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ตกกระทบไปยังไทเทเนียมไดออกไซด์ จะส่งผลให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลและซูเปอร์ออกไซด์ประจุลบ คือ ลักษณะความเป็นผลึกในรูปรูไทน์และอะนาเทสขนาดของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกให้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจาก

มีการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอน ช่องว่างของอิเล็กตรอนน้อย อนุภาพในการย่อยสลายด้วยแสงและมีความสามารถในการดูดซับผิวสูง นอกจากนี้พบว่าสามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่มาเกาะอยู่บนผิวหน้าของสารเร่งปฏิกิริยาดังแสงให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ช่วยกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา และเชื้อโรคบางชนิดได้เช่นกัน [9-10] (ภาพที่ 1)

น้ำชะมูลฝอยของสถานีฝังกลบมูลฝอยโดยส่วนมากยังมีค่าความสกปรกและการบำบัดที่ไม่ได้มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง เช่นเดียวกันกับน้ำชะมูลฝอยของสถานีฝังกลบมูลฝอยของเทศบาลตำบลเชียงยืน คุณภาพน้ำเสียในระบบบำบัดยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และน้ำเสียที่เกิดขึ้นถูกกักบริเวณไม่สามารถปล่อยหรือระบายทิ้งได้ จำเป็นที่จะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข หรือบำบัดให้มีคุณภาพที่ดีก่อนปล่อยออกไป เทคโนโลยี PCO (Photocatalytic Oxidation) จะช่วยประหยัดพลังงาน ช่วยให้การบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียและค่าก่อสร้างเป็นไปด้วยความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรงบริเวณรอบสถานีฝังกลบมูลฝอย อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณของเสียในรูปของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) เป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ชนิดหนึ่งที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อการบำบัดทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีความคงตัวไม่เปลี่ยนรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยาและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีรูปแบบของผลึกอยู่ 3 ชนิด เนื่องจากการจัดเรียงตัวของออกตรอะตอมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ไทเทเนียมไดออกไซด์มีเฟสที่สำคัญ 3 เฟส คือ รูไทน์ อะนาเทส และบรูคไต์ ซึ่งแต่ละเฟสจะเหมาะกับการใช้งานในด้านที่ต่างกัน [11-12] (ภาพที่ 2) ได้แก่

1) รูไทล์ (Rutile) สามารถโน้มน้ำให้มีเสถียรภาพได้ที่อุณหภูมิสูง ๆ ในอุตสาหกรรมจะใช้ไทเทเนียม-ไดออกไซด์ ชนิดนี้เป็นส่วนใหญ่ เช่น โรงงานสี โรงงานเครื่องสำอาง โรงงานทำอาหารและบางครั้งพบในหินอัคนี

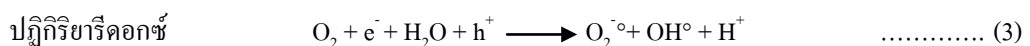
2) อะนาเทส (Anatase) สามารถโน้มน้ำให้มีเสถียรภาพได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า รูไทล์ ผลึกชนิดนี้นิยมใช้ในกระบวนการฉายแสงชั้นสูง

3) บรูกไคต์ (Brookite) เป็นผลึกที่พบในแร่เท่านั้นและมีโครงสร้างเป็นแบบออร์โธโรมบิก (orthorhombic) ทั้งรูไทล์และอะนาเทส มีโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ผลึกทั้งสองแบบถือว่าเป็นโครงสร้างที่พบได้ทั่วไปเพราะสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายและยังเป็นที่นิยมใช้ในด้านการทำบัติน้ำเสีย

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปอะนาเทสและรูไทล์ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงมากกว่าบรูกไคต์เนื่องจากมีการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอน

ช่องว่างอิเล็กตรอนน้อยกว่า บรูกไคต์และมีความสามารถในการดูดซับแสงสูงกว่าบรูกไคต์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปผลึกอะนาเทส จะมีประสิทธิภาพมากกว่ารูปผลึกรูไทล์ ซึ่งคาดว่าในรูปผลึกรูไทล์นั้นมีการสูญเสียพื้นที่ผิวที่ว่างไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงซึ่งจะทำให้สูญเสียพื้นที่ผิวในการทำหน้าที่ยึดจับอนุภาคของสารประกอบอินทรีย์ ดังนั้นในการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ควรควบคุมอนุภาคให้อยู่ในระดับที่เล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวการดูดซับ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยไทเทเนียมได-ออกไซด์ จัดเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการลดต้นทุนของระบบบำบัดน้ำเสียเนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์พอเพียงไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการสร้างแสงสว่าง

สมการการเกิดปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง [14] เป็นดังนี้



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และความเข้มของแสง UV ช่วงระยะเวลาในการกวนหรือสัมผัส และค่า pH ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

วิธีการวิจัย

1. แหล่งกำเนิดน้ำชะมูลฝอย

สถานีกำจัดมูลฝอย เทศบาลตำบลเชียงยืน อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดมหาสารคาม มูลฝอยฝังกลบ

พื้นที่ฝังกลบ 18.8 ไร่ ปริมาณมูลฝอย 67 ตัน/วัน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ทดสอบตัวอย่างน้ำด้วย Jar test ทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น pH BOD COD ใช้ถังเก็บน้ำขนาด 2,000 ลิตร เพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมใกล้เคียงบ่อบำบัดจริงด้วยการทดสอบด้วยเครื่องกวนโดยใช้สารกึ่งตัวนำไทเทเนียม ไดออกไซด์

3. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1 การทดลองตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยด้วย Jar test นอกห้องปฏิบัติการ (ชั้นดาดฟ้าอาคาร) ทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

3.2 การทดลองในภาคสนามซึ่งจะทำการทดลองและวิจัยในสภาพที่เหมือนจริง โดยใช้ถังเก็บน้ำไฟเบอร์กลาส ทรงกลมขนาด 2,000 ลิตร ติดตั้งเครื่องกวนแมกเนติกสเตอโร (Magnetic stirrer) หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ในสภาวะอากาศโล่งและแสงแดดส่องถึง

3.3 โทเทเนียมไดออกไซด์ ในรูปอะนาเทส ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 น้ำหนักโมเลกุล 79.87 โมลลาร์ สีขาว

3.4 ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งรายงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ใน พ.ศ. 2550 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อวันของจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทยสูงทุกจังหวัด มีค่าระหว่าง 4.5-5.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (4.5-5.5 kW.h/m²-day) โดยที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้มีความเข้มของรังสี UV สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนภาคเหนือจะมีความเข้มของรังสี UV น้อยที่สุด แต่ค่าความเข้มของรังสี UV ในประเทศไทยเฉลี่ยแล้วมีค่ามากกว่า 4 กิโลจูลต่อตารางเมตรในหนึ่งวัน (kJ/m²-day) [15]

4. วิธีดำเนินการทดลอง

4.1 การศึกษาหาปริมาณโทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

ในการหาปริมาณโทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมนอกห้องปฏิบัติการในการบำบัด ข้อ 3.1 โดยการทดลองที่ค่าปริมาณโทเทเนียมไดออกไซด์แตกต่างกัน เริ่มต้นที่ 10 กรัม/ลิตร ระยะเวลาในการกวนสัมผัส 4 5 และ 6 ชั่วโมง ใช้บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ต่อชุด ๆ ละ 2 ตัวอย่าง และทำการทดลองซ้ำ 15 20 25 จนถึง 30 กรัม/ลิตร เก็บตัวอย่างทุกชุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น COD, BOD เสร็จแล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาแนวโน้มของโทเทเนียมไดออกไซด์ ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมและนำข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนต่อไป โดย

ใช้ความเข้มรังสี UV จากแสงพลังงานอาทิตย์ ดัชนีชี้วัดรังสีอัลตราไวโอเลต (UV Index) อ่านค่าได้จากข้อมูลพยากรณ์อากาศอุตุนิยมวิทยา ของจังหวัดมหาสารคาม ในวันที่ทำการทดลอง [16-17]

4.2 การศึกษาหาผลของ pH ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย

การหาค่า pH ที่เหมาะสมนี้จะเอาตัวอย่างที่ได้จาก 4.1 ดีที่สุดมาปรับค่า pH เป็น 2 4 6 8 และ 10 โดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ ด้วยกรดไนตริก 1 โมล หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล ปรับให้ได้ค่า pH ตามที่กำหนด ใช้ระยะเวลาในการกวน 4 5 และ 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุกชุดการทดลอง ทั้งก่อนและหลังการทดลอง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ COD BOD เพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างในสภาพต่าง ๆ ของความเป็นกรด กลาง และเบส สถานะใดจะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด

4.3 การทดลองภาคสนาม สถานีกำจัดมูลฝอยเทศบาลตำบลเชียงยืน

ทดลองกับตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียจากสถานีกำจัดมูลฝอยเทศบาลตำบลเชียงยืน เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของโทเทเนียมไดออกไซด์ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยว่าจะมีความสามารถในการบำบัดได้มากน้อยเพียงใด โดยนำเอาผลที่ได้จากการหาปริมาณโทเทเนียมไดออกไซด์และระยะเวลาที่เหมาะสมในหัวข้อ 4.1 และนำค่าความเหมาะสมความเป็นกรด-เบส จากหัวข้อ 4.2 มาใช้ในขั้นตอนการทดลองภาคสนาม ออกแบบใบพัดและกำลังมอเตอร์ที่จะใช้กวนสัมผัส โดยใช้ถังเก็บน้ำไฟเบอร์กลาส ทรงกลมขนาด 2,000 ลิตร ติดตั้งเครื่องกวนแมกเนติก สเตอโร (Magnetic stirrer) หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ในสภาวะอากาศโล่งและแสงแดดส่องถึง เก็บตัวอย่างน้ำชะ มูลฝอย จำนวน 3 ตัวอย่าง ๆ ละ 1,500 ลิตร ประกอบไปด้วยน้ำชะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด บ่อบำบัดไร้อากาศ และบ่อน้ำนอกโครงการ ดำเนินการทดลองครั้งละหนึ่งตัวอย่าง ปรับค่าความเป็นกรด-เบส เติมสารโทเทเนียมไดออกไซด์ กวนสัมผัสสารโทเทเนียมได

ออกไซด์เข้ากับน้ำชะมูลฝอย ตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการทดลองออกมา วิเคราะห์คุณภาพ

ผลการทดลอง

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษา ประสิทธิภาพในการบำบัดของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของสถานีฝักรบ อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานน้ำชะมูลฝอย

การทดลองภายใต้ Standard Method 1992 และคู่มือมาตรฐานการทดสอบคุณภาพน้ำเสีย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด พบว่า COD มีค่าเท่ากับ 16,447 มิลลิกรัม/ลิตร วิธี 5-day BOD พบว่า BOD₅ มีค่าเท่ากับ 7,350 มิลลิกรัม/ลิตร สัดส่วน BOD : COD เท่ากับ 0.45 วิธีทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103–105 °C พบว่าค่า TDS TS มีค่าเท่ากับ 13,019 มิลลิกรัม/ลิตร 578 มิลลิกรัม/ลิตร และ 13,557 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

2. ผลการทดลองหาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ เหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัด

การหาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม โดยการทดลองกับค่าปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ จำนวน 5 ตัวอย่างคือ 10 15 20 25 และ 30 กรัม/ลิตร ใช้บีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร จำนวน 3 ใบ ระยะเวลาในการกวน 4 5 และ 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุกชุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในการทดลองนี้เนื่องจากค่า BOD₅ ต้องใช้เวลานานในการวิเคราะห์อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของ COD เป็นหลัก ปรับค่า pH เท่ากับ 7 (ภาพที่ 3a, b)

ทดลองปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 10 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น COD ตั้งต้นเท่ากับ 9,971.6 มิลลิกรัม/ลิตร หลังบำบัดของสารไทเทเนียมได

ออกไซด์ระยะเวลาการกวนสัมผัส 4, 5 และ 6 ชั่วโมง UV Index เฉลี่ยเท่ากับ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ลดลงร้อยละ 70 77.5 และ 75.4 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 30 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น COD ตั้งต้นเท่ากับ 11,196 มิลลิกรัม/ลิตร หลังบำบัด UV Index เฉลี่ยเท่ากับ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ลดลงร้อยละ 33 20 และ 27 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ เกิด e_{CB}^- และ h_{CB}^+ ยังส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น [13] แต่ประสิทธิภาพ COD ไม่ได้เพิ่มมากขึ้นตามเนื่องจากปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไปอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์จะไปขัดขวางแสงโฟตอน ($h\nu$) ที่จะไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกให้ลดลงจึงทำให้ตัวออกซิไดส์ ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical; $OH^\bullet$) ลดลง [18]

ทดลองปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 20 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น COD ตั้งต้นเท่ากับ 5,732 มิลลิกรัม/ลิตร หลังบำบัดของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ ระยะเวลาการกวนสัมผัส 4 5 และ 6 ชั่วโมง UV Index เฉลี่ยเท่ากับ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ลดลงร้อยละ 9 22 และ 22 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 25 กรัม/ลิตร ความเข้มข้น COD ตั้งต้นเท่ากับ 6,717.6 มิลลิกรัม/ลิตร หลังบำบัด UV Index เฉลี่ยเท่ากับ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ลดลงร้อยละ 22 0 และ 11 ทั้งสองชุดการทดลองได้ผลการทดลองใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังที่ได้กล่าวไว้ในชุดการทดลองระหว่าง ปริมาณของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ 10 และ 30 กรัม/ลิตร

สรุปผลการศึกษาการหาปริมาณของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ และระยะเวลาการกวนสัมผัสที่ใช้บำบัดน้ำชะมูลฝอยของเทศบาลตำบลเชียงยืน ซึ่งทำการวิจัยทดลองนอกห้องปฏิบัติการโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลตจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในรูปแบบ

จาร์เทสต์ ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน ทั้ง 5 ชุดทดลองเนื่องจากทำการทดลองชุดละคาบเวลา ตัวแปรอิสระในการทดลองไม่สามารถควบคุมได้คือรังสีอัลตราไวโอเลต และก่อนการทดลองบางครั้งได้เกิดฝนตกในพื้นที่บ่อฝังกลบมูลฝอย จึงทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารปนเปื้อนในน้ำชะมูลฝอยลดลง (ตารางที่ 2) (ภาพที่ 5) ประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่เปลี่ยนแปลงไปสัมพันธ์กับค่า TiO_2 และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสม พบว่า TiO_2 ปริมาณ 10 กรัม/ลิตร ระยะเวลาการกวนผสม 5 ชั่วโมง ค่า COD ลดลงเท่ากับ 2,239 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 77.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยนี้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมคือ 10 กรัม/ลิตร ระยะเวลาการกวนผสม 5 ชั่วโมง (ภาพที่ 6)

3. ทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดของสารไทเทเนียมไดออกไซด์

การทดลองหาความเหมาะสมค่า pH กับค่า COD ก่อนเข้าระบบเท่ากับ 8,956.8 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพ การบำบัดดังนี้ pH 2 ค่า COD เท่ากับ 4,478 มิลลิกรัม/ลิตร pH 4 ค่า COD เท่ากับ 5,971.2 มิลลิกรัม/ลิตร, pH 6 ค่า COD เท่ากับ 7,464 มิลลิกรัม/ลิตร pH 8 ค่า COD เท่ากับ 8,210.4 มิลลิกรัม/ลิตร และ pH 10 ค่า COD เท่ากับ 7,164 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ รังสีอัลตราไวโอเลต (UV Index เท่ากับ 8) แสดงให้เห็นว่าสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต ในช่วงเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical; $\text{OH}^\bullet$) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ดีที่สุดเท่ากับ 2 ที่เหมาะสมกับสถานะของน้ำที่มีสภาพเป็นกรด [18-19] (ภาพที่ 6)

4. การทดลองหาความหนืดของน้ำชะมูลฝอย ด้วยเครื่อง Calibrated Viscometer

การทดลองหาความหนืดของน้ำชะมูลฝอย ตามมาตรฐาน ASTM 1992 มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบปั๊มและกำลังมอเตอร์

ในการกวนผสมน้ำชะมูลฝอย $\mu = (-0.0015X^2) - 0.0047x + 1.0944 \times 10^{-3} \text{ g-s/mm}^2 \text{ (cSt.)}$ และแนวโน้มความถูกต้องเข้าใกล้ศูนย์ เท่ากับ 0.0054 (ภาพที่ 7) ความหนืดสมมูลของน้ำชะมูลฝอย (Dynamics Viscosity) ที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ $1.025 \times 10^{-3} \text{ N-s/m}^2$ ซึ่งจะใช้ในการกวนผสมสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ ในรูปผงแขวนลอยไม่ให้เกิดตะกอนเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต โดยไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ (valence-band) จะเหนี่ยวนำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปที่แถบคอนดักชัน (conduction band)

5. ผลการทดลองในภาคสนาม

ผลของการวิจัยในภาคสนามพบว่า น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จำนวน 10 กรัม/ลิตร ใช้ระยะเวลาการกวนผสม 5 ชั่วโมง ปรับค่า pH เท่ากับ 4.5 ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยบ่อหมักไร้อากาศ และบ่อน้ำนอกโครงการ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ลดลงร้อยละ 42.0, 55.5 และ 50.0 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดค่า BOD ลดลงร้อยละ 37.8 60.6 และ 44.0 ตามลำดับ ลดลงได้จริง (ตารางที่ 3) สำหรับค่า TS ลดลงร้อยละ 23.4 23.3 และ 13.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 8-9)

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาจะพบว่าปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ 10 กรัม/ลิตร และระยะเวลาการกวนผสมที่ 5 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถลดปริมาณของ COD ได้ ร้อยละ 81 ความเป็นกรด-เบส มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตและความปลอดภัยของระบบ เห็นควรเลือกใช้ตัวอย่างการทดลองน้ำชะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดมูลฝอยต้นกำเนิดของเสียโดยใช้ค่าจำนวน 10 กรัม/ลิตร ระยะเวลาการกวนผสม 5 ชั่วโมง ปรับค่า pH เท่ากับ 4.5 ความหนืดสมมูลของน้ำชะมูลฝอย (Dynamics Viscosity) ที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ $10.25 \times 10^{-3} \text{ kg-s/m}^2$ ทดลองวิจัยน้ำชะมูลฝอยภาคสนาม

3 ตัวอย่าง คือ น้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบ บ่อบำบัด ไร้อากาศและบ่อน้ำนอกโครงการ ผลการวิจัยภาคสนามสถานีกำจัดมูลฝอยเปรียบเทียบกับผลการวิจัยในห้องปฏิบัติการ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยทั้งสามตัวอย่างลดลงอย่างมาก โดยประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ร้อยละ 42.0 55.5 และ 50.0 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดค่า BOD ร้อยละ 37.8 60.6 และ 44.0 ตามลำดับ สำหรับค่า TS ลดลงร้อยละ 23.4 23.3 และ 13.1 ตามลำดับ (มานพ 2550, กล่าวถึง : การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรงไม้สำหรับหลังด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารประกอบตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาใช้ TiO_2 5 มิลลิกรัม/ลิตร และหลอดรังสียูวีขนาด 60วัตต์ ระยะเวลาในการฉายแสง 5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียค่าเฉลี่ยของ COD ร้อยละ 33) โดยเห็นว่าผลการวิจัยนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการบำบัดกับบ่อบำบัด ไร้อากาศ (Anaerobic Pond) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ลดลงสูงสุดร้อยละ 55.5 และส่วนประสิทธิภาพการบำบัดค่า BOD ลดลงร้อยละ 60.6 สัดส่วนของค่า $\text{BOD}_5 : \text{COD}$ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 (Daniel E. Meeroff, Frederick Bloetscher. 2010, กล่าวถึง : ขบวนการโฟโตแคตตาไลซิสแบบใช้สารประกอบตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ ร่วมกับระบบเติมอากาศ บำบัดค่า COD ร้อยละ 90 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ 85 ในเวลา 4-6 ชั่วโมง)

ผลการวิจัยนี้ สรุปให้เห็นว่าการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ใช้สารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แบบผลึกอะนาเทส จำนวน 10 กรัม/ลิตร ใช้ระยะเวลาการผสม 5 ชั่วโมง ปรับค่า pH เท่ากับ 4.5 ใช้รังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถลดปริมาณค่า COD BOD ลงได้จริง และสามารถนำไปใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำชะมูลฝอย ลดความเป็นพิษและคุณภาพทางชีววิทยา เพื่อให้ขบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง จาก

สถานีกำจัดมูลฝอยก่อนปล่อยออกสู่ทางน้ำสาธารณะ และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน โดยการนำแหล่งพลังงานธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การวิจัยนี้ทดลองโดยการเตรียมตัวอย่างในรูปของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีความเสถียรทางเคมี ทนการกัดกร่อนของแสง มีความคงตัว ไม่เปลี่ยนรูปและมีราคาถูก เมื่อมีการใช้ซ้ำควรศึกษาว่ามีสารเจือปนที่จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลงหรือไม่และวิธีการเก็บผงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเทศบาลตำบลเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ที่ให้ทุนการศึกษา และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท สำนักงานสหกรณ์การเกษตรอำเภอเชียงยืน สัญญาเลขที่ MSD56Io125 ที่ให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment, Guide to the care system. Landfill waste (Online) Available from pdf. [searched on 2556; August 26] http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_garbage.html. 2002. Thai.
2. Renoua S, Givaudan J, Poulain S, Dirassouyan F, Moulin P. "Review: Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity." J. Hazard. Master. 2008; 150,468-496.

3. Marttinen S, Kettunen R, Sormunen K, Soimasuo R, Rintala J. "Screening of Physiccalchemical Methods for Removal of Organic Material, Nitrogen and Toxicity from Low Strength Landfill Leachates." *Chemosphere*, 2002; 46, 851–858.
4. Silva M, Dezotti G, Sant'Anna Jr. "Treatment and Detoxication of a Sanitarydfill Leachate." *Chemosphere*, 2004; 55, 207–214.
5. Zhongren Y, James E. :Nanoparticle and nanoporous carbon adsorbents for removal of trace organic contaminants from water. *J. Nanopart. Res.* 2005; 7: 477–487.
6. Anongrit K. advanced wastewater treatment processes (Advanced Wastewater Treatment Processes) documentation handfults of teaching: November 11,2555.(2) 25–11.; Thai.
7. Beydoun D, Amal R, Low G, McEvoy S. : Role of nanoparticles in photocatalysis, *J. Nanopart. Res.* 1999; 1: 439– 458.
8. Teh, Chao Min, and Abdul Rahman Mohamed. "Roles of titanium dioxide and iondoped titanium dioxide on photocatalytic degradation of organic pollutants (phenolic compounds and dyes) in aqueous solutions: a review." *Journal of Alloys and Compounds*. 2011; 509(5) : 1648–1660.
9. USEPA, Manual: Ground Water and Leachate Treatment Systems, Center for Environmental Research Information, 1995.
10. Processes photocatalysis Cisco happened. When the light particles onto the catalyst bed.; when I searched the http://www.nstda.or.th/tlo/inside.php?option=view_technology&id=41). 2552 October 1.
11. Crystalline titanium dioxide. Searched on October 15, 2552 from URL: <http://www.ruby.colorado.edu/~smyth/min/tio2.html>.; Thai.
12. Dinh NN, Oanh N, Tihn T, Long PD, Bernard MC, and Goff AHL. :Electrochromic properties of TiO₂ anatase thin films prepared by a dipping sol-gel method. *Thin Solid Film*. 2003; 423: 70–76.
13. Chen G, Luo G, Yang X, Sun Y, Wang J. :Anatase-TiO₂ nano-particle preparation with a micro-mixing technique and its photocatalytic performance. *Mat. Sci. Eng. A-Struct.* 200;380: 320–325.
14. Li X, Yue PL, Kutal C. : Synthesis and photocatalytic oxidation properties of iron doped Titanium Dioxide nanosemi conductor particle. *New J. Chem.* 2003; 27: 1264–1269.
15. Solar Map. Searched on October 15, 2557 from URL <http://www.thaisolarfuture.com/solarroof.php?cat=14.>, 12/10/2555.; Thai.
16. UV Index. Searched on May 15, 2557 from URL: <http://www.accuweather.com/en/th/maharakham/319122/weather-forecast/319122>.; Thai.
17. UV Index. Searched on July 8, 2557 from URL <http://www.accuweather.com/en/th/chiangyun/319129/weather-forecast/319129>.; Thai.

18. Muruganandham M, Shobana N, Swaminathan M. "Optimization of solar photocatalytic degradation condition of Reactive Yellow 14 azo dye in aqueous TiO_2 " Molecular catalysis A:Chemistry. 2005; 246:153.
19. Watson SS, Beydoun D, Scott JA, Amal R. : The effect of preparation method on the photoactivity of crystalline titanium dioxide particles. Chem. Eng. J. 2003; 95 : 210-220.

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์น้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบ

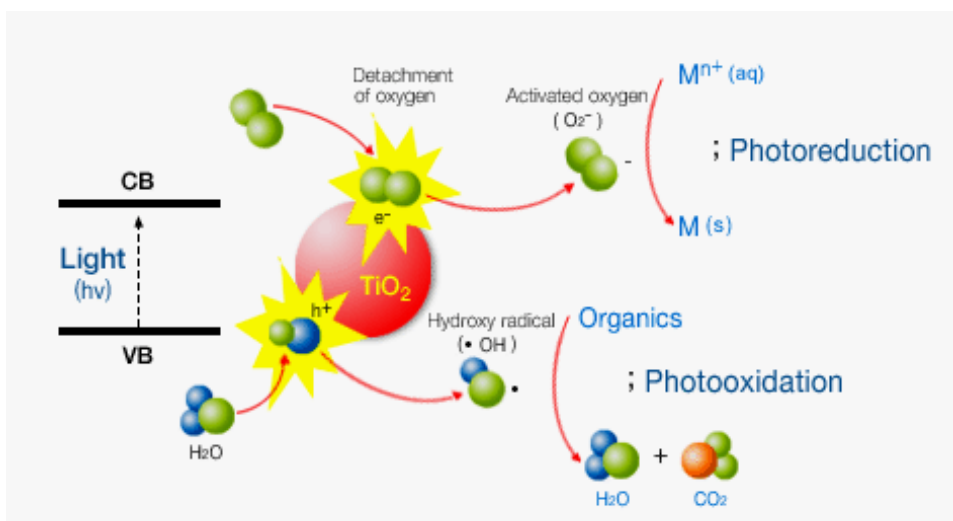
พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้ (มก./ลิตร)	ค่าที่พบทั่วไป (เขต ศรีสวัสดิ์:2553) (มก./ลิตร)
1. COD	16,477	3,500-30,000
2. BOD_5 (1 ml)	7,350	2,000-30,000
3. สัดส่วน BOD : COD	0.45 COD	0.5-1.0 COD
4. TDS	13,019	3,900-44,900
5. TSS	578	200-1,000
6. TS	13,557	-
7. pH	7.82	5.3-8.5

ตารางที่ 2 ปริมาณของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ และระยะเวลาการสัมผัส

ปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์	ปริมาณของ COD (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ก่อนเข้าระบบ	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
10 กรัม/ลิตร	9,971.6	2,986	2,239	2,450
15 กรัม/ลิตร	2,239.2	1,492.8	1,985.6	2,224.8
20 กรัม/ลิตร	5,732	5,224	4,478.4	4,478
25 กรัม/ลิตร	6,717.6	5,224.8	6,717.6	5,971.2
30 กรัม/ลิตร	11,196	7,464	8,956.8	8,210.4

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์น้ำชะมูลฝอย สถานีกำจัดมูลฝอยรวมเทศบาลตำบลเชียงยืน

พารามิเตอร์	ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย		ตัวอย่างน้ำบ่อหมักไร้อากาศ		ตัวอย่างน้ำบ่อน้ำนอกโครงการ	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
1. COD	19,200 มก./ล	11,200 มก./ล	3,200 มก./ล	1,432 มก./ล	9,600 มก./ล	4,800 มก./ล
2. BOD ₅	7,363 มก./ล	4,580 มก./ล	1,456 มก./ล	573 มก./ล	4,032 มก./ล	2,258 มก./ล
3. สัดส่วน						
BOD:COD	0.38	0.41	0.46	0.40	0.42	0.47
4. TDS	16,225 มก./ล	12,481 มก./ล	9,332 มก./ล	7,185 มก./ล	7,393 มก./ล	6,503 มก./ล
5. TSS	93 มก./ล	20 มก./ล	74 มก./ล	26 มก./ล	110 มก./ล	18 มก./ล
6. TS	16,318 มก./ล	12,501 มก./ล	9,406 มก./ล	7,211 มก./ล	7,503 มก./ล	6,521 มก./ล
7. PH	4.5	4.72	4.5	4.63	4.5	4.68



ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสที่เกิดขึ้น เมื่อมีการฉายแสงลงบนอนุภาคคะตะไลซิส (ที่มา:http://www.nstda.or.th/tlo/inside.php?option=view_technology&id=41)



ภาพที่ 2 ลักษณะโครงสร้างผลึกของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ (ที่มา:<http://www.siamchemi.com/ไทเทเนียมไดออกไซด์>)

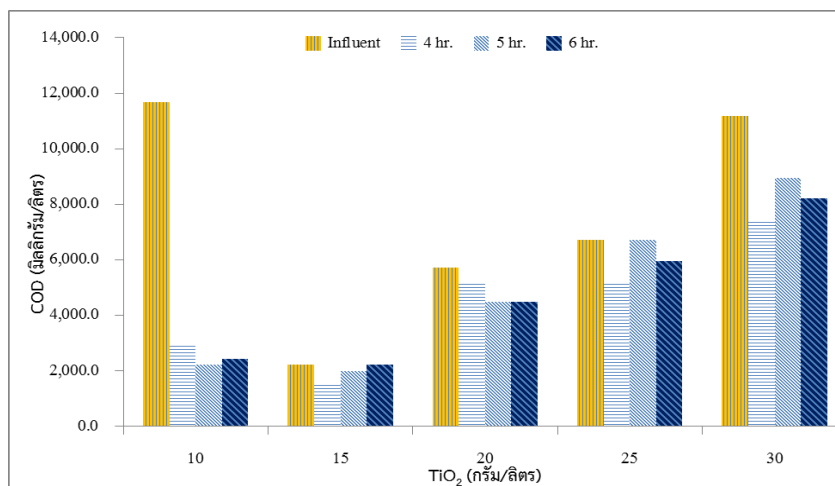


(a)

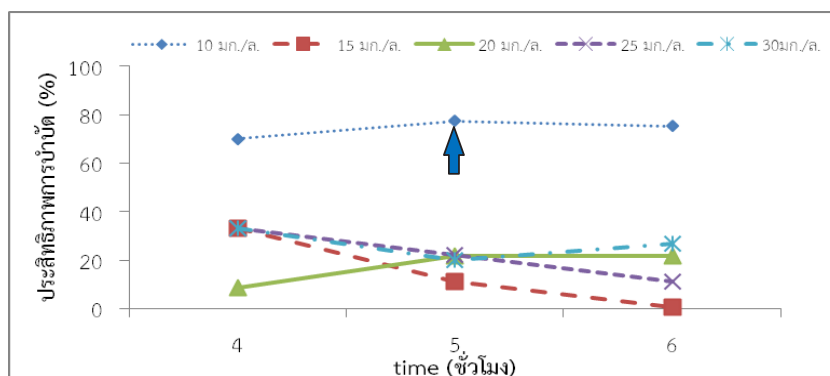


(b)

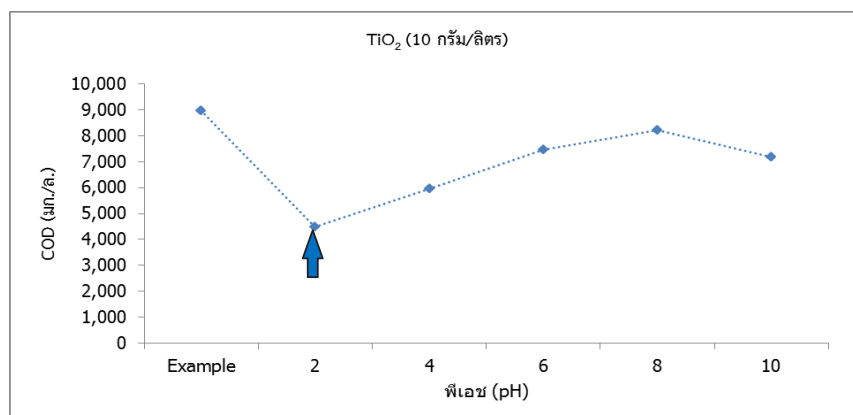
ภาพที่ 3 แสดงน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบ มีสีดำคล้ำ (a) เมื่อเติมสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ลงไปพบว่าสีของน้ำชะมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีน้ำตาล (b) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮดรอกซิลแรดิคัล ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ก่อนนำไปกวนผสมด้วยเครื่องจาร์เทสต์



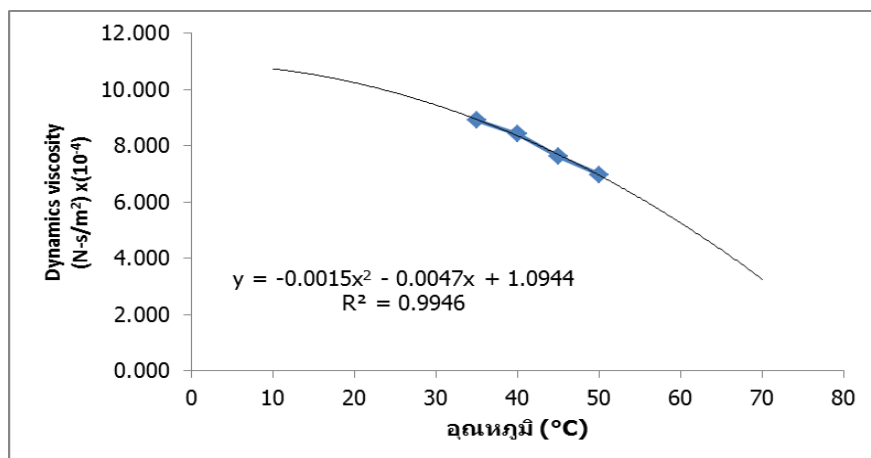
ภาพที่ 4 กราฟแสดงร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด COD สัมพันธ์กับปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนสัมผัส



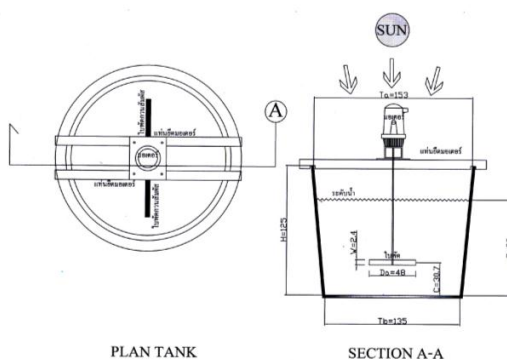
ภาพที่ 5 กราฟแสดงร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด COD สัมพันธ์กับปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนสัมผัส



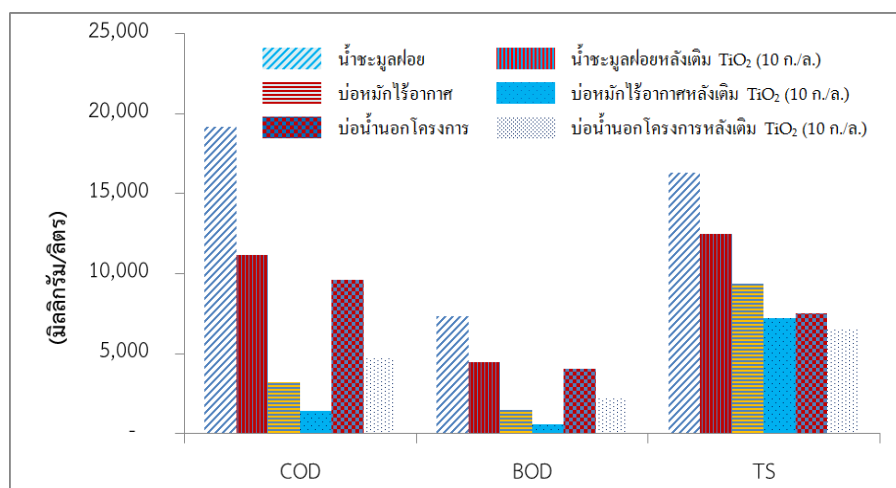
ภาพที่ 6 กราฟแสดงร้อยละประสิทธิภาพการบำบัด COD สัมพันธ์กับความเป็นกรด-เบส (pH)



ภาพที่ 7 กราฟความหนืดสมบูรณ์ของน้ำชะมูลฝอย



ภาพที่ 8 ชุดใบพัดและถังน้ำทดลองภาคสนาม



ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในภาคสนาม