



วิทยานิพนธ์

การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

**TREATMENT OF WASTEWATER FROM SOFT DRINK
PRODUCTION PROCESS THROUGH PHOTOCATALYTIC
OXIDATION PROCESS BY SUNLIGHT WITH
TITANIUM DIOXIDE AS CATALYST**

นางสาวสวณีย์ บรรพจน์พิทักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

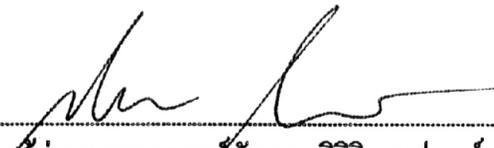
เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Treatment of Wastewater from Soft Drink Production Process Through Photocatalytic Oxidation Process by Sunlight with Titanium Dioxide as Catalyst

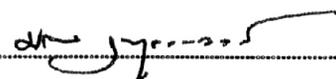
นามผู้วิจัย นางสาวสวณีย์ บรรพจน์พิทักษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

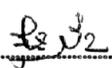
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปรกรณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มณฑล ชูานุดมวงศ์, Ph.D.)

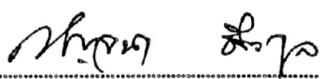
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วย
แสงอาทิตย์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Treatment of Wastewater from Soft Drink Production Process Through Photocatalytic Oxidation
Process by Sunlight with Titanium Dioxide as Catalyst

โดย

นางสาวสวณีย์ บรรพจน์พิทักษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

สวนีย์ บรรพจน์พิทักษ์ 2551: การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปรกรณ์, Ph.D. 161 หน้า

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม ประกอบด้วย สารอินทรีย์ เช่น สารให้ความหวานและสารเคมีจากการล้างขวด สามารถทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนแรกเป็นการทดลองเบื้องต้นที่ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีและทีโอซีในน้ำสังเคราะห์จากน้ำอัดลมกระป๋องของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันเบื้องต้นในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 3 และ 12 มีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะสูงสุดที่พีเอช 3 เท่ากับ 68.85% เมื่อใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซีจะสูงสุดที่พีเอช 12 เท่ากับ 38.44% เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ในน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม ได้แก่ พีเอช ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เวลา 30 นาที พบว่า ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 กรัม/ลิตร และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 มิลลิโมล/ลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีสูงสุด ส่วนพีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด ผลการทดลองจากการศึกษาในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในส่วนถัดไป และส่วนที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ในแบบจำลองรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที พบว่า กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซีสูงกว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 25.29% และ 18.74% ตามลำดับ

สวนีย์ บรรพจน์พิทักษ์

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

13 / 25 / 51

Sawanee Bunphotphithak 2008: Treatment of Wastewater from Soft Drink Production Process Through Photocatalytic Oxidation Process by Sunlight with Titanium Dioxide as Catalyst. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Sanya Sirivithayapakorn, Ph. D. 161 pages.

Wastewater from soft drink production process contains organic compounds such as sweeteners and chemicals from bottle washing that could potential cause environmental contamination. Wastewater treatment with photocatalytic oxidation process could be considered an alternative method. The purposes of this research were to study the treatment efficiency of wastewater from soft drink production process through photocatalytic oxidation by using sunlight as a sole light source with TiO_2 and TiO_2 combined with H_2O_2 as catalyst. The experiments comprised of 3 parts.

In the first part, preliminary experiments were carried out to evaluate the color and TOC removal efficiency of synthetic water from carbonated soft drink through photocatalytic oxidation in batch reactor with TiO_2 alone, H_2O_2 alone and TiO_2 combined with H_2O_2 at pH 3 and 12. The duration of each experiment was 30 minutes. It was found that the highest color removal efficiency at pH 3 was 68.85% when using TiO_2 as catalyst. The highest TOC removal efficiency at pH 12 was 38.44% when using H_2O_2 as catalyst. In the second part, experiments were carried out to evaluate the influence of selected parameters on photocatalytic oxidation. The three parameters of interest in this research were pH, TiO_2 dosage and H_2O_2 concentration. The duration of each experiment was 30 minutes. It was found that the maximum TOC removal occurred at TiO_2 dose of 3 g/l and H_2O_2 concentration of 5 mmol/l. The removal efficiency was not response to changes in pH. The results from this part were used in the next part. In the final part, experiments were carried out to evaluate the treatment efficiency of wastewater from soft drink production process through photocatalytic oxidation in open channel continuous-flow reactor. The treatment efficiency by immobilized TiO_2 alone and immobilized TiO_2 combined with H_2O_2 as catalyst were studied. The retention time was 30 minutes. It was found that the combination of TiO_2 and H_2O_2 was the most effective process for remove TOC. The average removal efficiency of TOC by TiO_2 alone and TiO_2 with H_2O_2 were 18.74% and 25.29% respectively.

Sawanee Bunphotphithak

Student's signature

S. Sanya Sirivithayapakorn 18 / 05 / 08

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คือ ผศ. ดร. มณฑล ฐานุตตมวงศ์ และ อ. ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจสอบโครงร่างต่างๆ และเป็นที่ปรึกษาตลอดจนการให้กำลังใจ ในการทำวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณศจี ใจแจ่ม และเจ้าหน้าที่ทุกๆ คน ของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่าน ทั้งเจ้าหน้าที่ธุรการ และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดามารดาและพี่น้อง รวมถึงเพื่อนและน้องทุกๆ คน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สวนีย์ บรรรพจน์พิทักษ์

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(13)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	104
สรุป	104
ข้อเสนอแนะ	105
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	106
ภาคผนวก	111
ภาคผนวก ก ลักษณะน้ำที่ใช้ในการทดลอง	112
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองเบื้องต้น	116
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลองของการศึกษาผลของพีเอช	
ปริมาณ TiO_2 และความเข้มข้นของ H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา	125
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดลองของการศึกษากระบวนการโฟโต	
คะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	138
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณ	155
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	161

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า BOD ₅ , ของแข็งทั้งหมด (total solids, TS), ค่าความกรด (acidity) และ pH ของน้ำ อัดลมแต่ละยี่ห้อ	8
2	ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม	8
3	ความยาวคลื่นในช่วงต่างๆของรังสีอัลตราไวโอเล็ต	13
4	เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ระหว่างรูไทล์และอนาเทส	15
5	คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	16
6	แผนการทดลองของการศึกษาเบื้องต้น	33
7	แผนการทดลองการศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO ₂ และปริมาณความเข้มข้น H ₂ O ₂ ต่อการเกิดปฏิกิริยา	34
8	แผนการทดลองกระบวนการ UV/TiO ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	39
9	วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์และการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ	39
10	สรุบน้ำำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	54
11	ค่าพีเอชเฉลี่ยของกระบวนการ UV/TiO ₂ , UV/H ₂ O ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	61
12	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำเฉลี่ยของกระบวนการ UV/TiO ₂ , UV/H ₂ O ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	62
13	ค่า C/C ₀ เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของกระบวนการ UV/TiO ₂ , UV/H ₂ O ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีของกระบวนการ UV/TiO ₂ , UV/H ₂ O ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	77
15	ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด	82
16	ค่าพีเอชเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	83
17	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียและร้อยละการระเหยของน้ำหลังจากผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	84
18	ค่า C/C_0 ของการกำจัดซีโอดีและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	85
19	ค่าพีเอชเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณ TiO ₂ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	86
20	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียและร้อยละการระเหยของน้ำหลังจากผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณ TiO ₂ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	87
21	ค่า C/C_0 ของการกำจัดซีโอดีและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ปริมาณ TiO ₂ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	88
22	ค่าพีเอชเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณความเข้มข้น H ₂ O ₂ 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียและร้อยละการระเหยของน้ำหลังจากผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	91
24	ค่า C/C_0 ของการกำจัดที่โอซีและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	91
25	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการ UV/ TiO_2 และ UV/ $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร	100
26	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำหลังการทดลองของกระบวนการ UV/ TiO_2 และ UV/ $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร	100
27	ค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีของกระบวนการ UV/ TiO_2 และ UV/ $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ หลังการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร	101

สารบัญญัตินำ (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	113
ก2	ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด	113
ข1	ค่าพีเอชของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂	117
ข2	ค่าพีเอชของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H ₂ O ₂	117
ข3	ค่าพีเอชของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H ₂ O ₂ /TiO ₂	118
ข4	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂	118
ข5	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H ₂ O ₂	119
ข6	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂	119
ข7	ผลการกำจัดสีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂	120
ข8	ผลการกำจัดสีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H ₂ O ₂	120
ข9	ผลการกำจัดสีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂	121
ข10	ผลการกำจัดที่ไอซีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂	121
ข11	ผลการกำจัดที่ไอซีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H ₂ O ₂	122
ข12	ผลการกำจัดที่ไอซีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂	122
ข13	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂	123
ข14	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H ₂ O ₂	123
ข15	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค1	ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	126
ค2	ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	126
ค3	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	127
ค4	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	127
ค5	ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	128
ค6	ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	128
ค7	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	129
ค8	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค9	ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	130
ค10	ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	130
ค11	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	131
ค12	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	131
ค13	ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	132
ค14	ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	132
ค15	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	133
ค16	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า	
ก17	ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	134
ก18	ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	134
ก19	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)หลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	135
ก20	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)หลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	135
ก21	ผลการกำจัดที่ไอซีในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	136
ก22	ผลการกำจัดที่ไอซีในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	136
ก23	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก24	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร	137
ง1	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	139
ง2	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	139
ง3	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	140
ง4	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	140
ง5	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	141
ง6	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	141
ง7	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	142
ง8	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	142

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง9 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	143
ง10 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	143
ง11 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	144
ง12 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	144
ง13 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	145
ง14 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	145
ง15 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	146
ง16 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	146
ง17 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	147
ง18 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	147

สารบัญญัตินำ (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง19	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	148
ง20	ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	148
ง21	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	149
ง22	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	149
ง23	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	150
ง24	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	150
ง25	ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	151
ง26	ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	151
ง27	ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง28	ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	152
ง29	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)	153
ง30	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)	153
ง31	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)	154
ง32	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)	154

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังกรรมวิธีการผลิตน้ำอ้ดลม	6
2	แผนผังกรรมวิธีการผลิตเครื่องดื่มน้ำอ้ดลมของ บริษัท เจริมสุข จำกัด (มหาชน)	7
3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกบนสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์	11
4	ร่างปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง	27
5	ชุดทดลองที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน	28
6	ชุดทดลองจริงที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน	29
7	ขั้นตอนการทดลองในการทดลองเบื้องต้น	35
8	ขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา	36
9	ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจกเคลือบ TiO_2	37
10	ขั้นตอนการทดลองกระบวนการ UV/ TiO_2 และ UV/ TiO_2 / H_2O_2 ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	40
11	แผนผังแสดงวิธีการทดลองทั้ง 3 การทดลอง	41
12	ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสังเคราะห์และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอ้ดลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ตัวเร่งปฏิกิริยา	42
13	ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสังเคราะห์ โดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	44
14	ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอ้ดลม โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	46
15	ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสังเคราะห์และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอ้ดลม โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ตัวอย่างการหาค่า C/C_0 ของการกำจัดสีหรือที่ไอซี	51
17	ลักษณะของน้ำสังเคราะห์จากน้ำเปปซี่ที่ระบ่อง	53
18	ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	56
19	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช	57
20	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช	58
21	ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	59
22	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช	59
23	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช	60
24	ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	63
25	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช	64
26	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปรับพีเอช	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	66
28	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช	67
29	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช	68
30	ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	70
31	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช	70
32	ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช	71
33	ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	73
34	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช	74
35	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช	75
36	เปรียบเทียบค่า C/C_0 เฉลี่ยของการกำจัดสีของกระบวนการ UV/ TiO_2 , UV/ H_2O_2 และ UV/ TiO_2 / H_2O_2 ทั้งในที่มืดและที่สว่าง	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	เปรียบเทียบค่า C/C_0 เหลือของการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการ UV/TiO ₂ , UV/H ₂ O ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ ทั้งในที่มืดและที่สว่าง	79
38	น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด	81
39	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12 โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	85
40	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ปริมาณ TiO ₂ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	89
41	ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีที่ปริมาณความเข้มข้น H ₂ O ₂ 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	92
42	ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	94
43	ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	95
44	ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ ร่วมกับ H ₂ O ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	97
45	ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ ร่วมกับ H ₂ O ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง	99
46	เปรียบเทียบค่า C/C_0 เหลือของการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการ UV/TiO ₂ และ UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ หลังการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิม น้ำเสีย ปริมาณ TiO ₂ 3 กรัม/ลิตร และความเข้มข้น H ₂ O ₂ 5 มิลลิโมล/ลิตร	102

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ก./ล.	=	กรัมต่อลิตร
พ.ศ.	=	พุทธศักราช
มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก./ล.-นาที่	=	มิลลิกรัมต่อลิตร-นาที่
ม.ป.ป.	=	ไม่ปรากฏปี
มม.	=	มิลลิเมตร
ชม.	=	ชั่วโมง
ซม.	=	เซนติเมตร
ซม. ³	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ล./มก.	=	ลิตรต่อมิลลิกรัม
°C	=	องศาเซลเซียส
$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	=	ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
τ	=	ระยะเวลา (วินาที)
Δx	=	ความยาวในแนวแกน x
Δy	=	ความยาวในแนวแกน y
A	=	พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)
A°	=	อังสตรอม
A%	=	ร้อยละการระเหยของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
AOPs	=	Advanced Oxidation Processes
B%	=	ร้อยละการระเหยของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H ₂ O ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
BOD ₅	=	Biochemical Oxygen Demand
C	=	ความเข้มข้นของสารที่บำบัดแล้ว (มิลลิกรัม/ลิตร)
C ₀	=	ความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
C%	=	ร้อยละการระเหยของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO ₂ และ H ₂ O ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
CB	=	แถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band)

C/C_0	=	ความเข้มข้นที่บำบัดแล้วต่อความเข้มข้นเริ่มต้น
COD	=	Chemical Oxygen Demand
d	=	ความลึก (เมตร)
D%	=	ร้อยละการระเหยของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_1	=	ค่า C/C_0 ของชุดควบคุมในที่มืด
D_2	=	ค่า C/C_0 ของน้ำเสียที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืด
D_{H1}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาในที่มืดของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_{H2}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มืดของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_{H3}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มืดของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_{T1}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาในที่มืดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_{T2}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและการดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_{T3}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวในที่มืดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D_{TH1}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาในที่มืดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D'_{TH1}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มืด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

D_{TH2}	= ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มีด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D'_{TH2}	= ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มีด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
D_{TH3}	= ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มีด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
D'_{TH3}	= ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวในที่มีด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
E	= พลังงานรวมของโฟตอนที่ตกกระทบ (อิเล็กตรอนโวลต์)
e^-	= อิเล็กตรอน
e^-_{cb}	= อิเล็กตรอนที่แถบการนำไฟฟ้า
Eg	= แถบพลังงาน (Valance Band)
eV	= อิเล็กตรอน โวลต์
g	= กรัม
g/cm^3	= กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
g/l	= กรัมต่อลิตร
HFCS	= น้ำเชื่อมข้าวโพดแบบฟรุคโตสสูง (High fructose corn syrup)
h ν	= อนุภาคของแสง (Photon)
h^+_{vb}	= โฮลที่แถบวาเลนซ์
I	= ค่าความเข้มแสง, ($\times 10$ ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)
k	= ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา, (s^{-1})
kcal/mole	= กิโลแคลอรีต่อโมล
L	= ความยาว (เซนติเมตร)
L_1	= ค่า C/C_0 ของชุดควบคุมในที่สว่าง
L_2	= ค่า C/C_0 ของน้ำเสียที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่าง

		และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
L'_{TH2}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา, กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
L_{TH3}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
L'_{TH3}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
min	=	นาที (minutes)
ml	=	มิลลิลิตร
mmol/l	=	มิลลิโมลต่อลิตร
m^3/s	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
N	=	จำนวนซ้ำ
n	=	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
nm	=	นาโนเมตร
O_2^-	=	ซูเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล (Superoxide ion radicals)
OH^\bullet	=	ไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radicals)
OH^-	=	ไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide ions)
P	=	เส้นขอบเปียกน้ำ (เมตร)

$P_{H_2O_2}$	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียวของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
$P'_{H_2O_2}$	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียวของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
P_{TiO_2}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 เพียงอย่างเดียวของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
P'_{TiO_2}	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 เพียงอย่างเดียว ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
$P_{TiO_2+H_2O_2}$	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
$P'_{TiO_2+H_2O_2}$	=	ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
pzc	=	point of zero charge
Q	=	อัตราการใช้ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
R	=	โมเลกุลของสารอินทรีย์
\dot{R}	=	อนุโมลอิสระของสารอินทรีย์
s	=	ความลาดเอียง (slope)
s^{-1}	=	ต่อวินาที
t	=	ระยะเวลาสัมผัส (วินาที)
T	=	อุณหภูมิ
T_1	=	ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

T_2	= ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่มืด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
T'_2	= ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
T_{2L}	= ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
T_3	= ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่มืด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
T'_3	= ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่างที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
T_{3L}	= ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่างที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS	= ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
TDS_{T0}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS_{TL}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS_{x0}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS_{xL}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง

	(มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS_{Y0}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS_{YL}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
TDS_{Z0}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
TDS_{ZL}	= ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
TOC	= สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon)
TS	= ของแข็งทั้งหมด (Total solids)
UV	= Ultraviolet
v	= ความเร็วในการไหล (เมตร/วินาที)
V	= ปริมาตรของน้ำ (มิลลิลิตร)
VB	= แถบวาเลนซ์ (Valance Band)
w	= ความกว้าง (เมตร)
w/w	= น้ำหนักโดยน้ำหนัก
X_1	= ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
X_2	= ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่มืดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
X_2'	= ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- X_{2L} = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- X_3 = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 ในที่มืด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- X_3' = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 ในที่สว่างที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- X_{3L} = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- Y_1 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- Y_2 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่มืดของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- Y_2' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย B% ของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- Y_{2L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย B% ของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- Y_3 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม H_2O_2 ในที่มืด
- Y_3' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม H_2O_2 ในที่สว่างที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย B% ของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- Y_{3L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย B% ของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- Z_1 = ความเข้มข้นของทีโอซีเริ่มต้น (มก./ล.) ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
- Z_2 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ของชุดควบคุมในที่มืดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
- Z_2' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ของชุดควบคุมในที่สว่างที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย C% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
- Z_{2L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ของชุดควบคุมในที่สว่างที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย C% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
- Z_3 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่มืด ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
- Z_3' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่างที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย C% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง
- Z_{3L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่างที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย C% ของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติก
ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Treatment of Wastewater from Soft Drink Production Process Through
Photocatalytic Oxidation Process by Sunlight with Titanium Dioxide as Catalyst

คำนำ

น้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำอัดลมจะมาจากกระบวนการผลิต อันได้แก่ น้ำล้างขวดบรรจุ
ภัณฑ์ น้ำล้างถังกรองน้ำ น้ำล้างถังเรซิน และน้ำล้างพื้นโรงงาน เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวจะมีค่า
ซีโอดีและบีโอดีสูง เนื่องจากน้ำอัดลมที่เหลืออยู่และสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด โดยทั่วไป
การบำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีและบีโอดีสูงจะเลือกใช้กระบวนการทางชีวภาพ เนื่องจากสามารถ
พร้อมที่จะรับความแปรปรวนของมลสารอินทรีย์ได้อย่างดี (Tang and An, 1995) แต่ก็มีค่าใช้จ่ายใน
การดำเนินระบบมาก เช่น ค่าใช้จ่ายในเรื่องการเติมอากาศ

Advanced Oxidation Processes (AOPs) เป็นเทคโนโลยีที่ประยุกต์ขึ้นมา เพื่อใช้ใน
กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการหนึ่งของ AOPs ที่น่าสนใจคือ กระบวนการโฟโตคะตะลิต
ิกออกซิเดชัน (Photocatalytic Oxidation) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานจากรังสียูวี
ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเลือกใช้นั้นมาก คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
เนื่องจากไม่เป็นพิษ มีความเสถียรภาพทางเคมี ราคาถูก (Karunakaran *et al.*, 2005) คือเมื่อ TiO_2
ได้รับพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 387 นาโนเมตร เช่น รังสียูวี อเล็กตรอนบริเวณผิว TiO_2
จะถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนส์ไปยังแถบนำไฟฟ้า ก็จะเกิดช่องว่างหรือ โฮล โดยที่อเล็กตรอนนั้น
สามารถกลับมารวมตัว (recombination) ได้อีก หรือไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ส่วนโฮลจะทำ
ปฏิกิริยากับโมเลกุลน้ำหรือไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\bullet) มา
ออกซิไดซ์ (Oxidize) สารอินทรีย์ (Tang and An, 1995; Kuo *et al.*, 2008) โดยประสิทธิภาพการ
บำบัดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าพีเอชปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เป็น
ต้น อีกทั้งกระบวนการนี้ไม่มีกากตะกอนที่ต้องมากำจัดในภายหลัง

โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมด้วย
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบบน

แผ่นกระจก และใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งการใช้แสงอาทิตย์เป็นการประหยัดพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ อีกทั้งการที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบบนแผ่นกระจกก็เป็นการลดค่าใช้จ่ายเช่นกัน เนื่องจากเมื่อดำเนินการเสร็จแล้วไม่ต้องแยกอนุภาค TiO_2 ออกจากน้ำเหมือนกับการใช้ TiO_2 ในรูปแบบแขวนลอย นอกจากนี้ในการทดลองได้ใช้ไทเทเนียม ไดออกไซด์ร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อดูถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจาก H_2O_2 เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง ทำให้เกิด OH^\cdot และ O_2 ในปฏิกิริยา ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้ สามารถช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดการเกิดรีคอมบินันซ์ได้ด้วย (Muruganandham and Swaminathan, 2004; Saquib *et al.*, 2008)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และ ปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

ขอบเขตการศึกษา

1. การทดลองได้ใช้น้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) โรงงานปทุมธานี และน้ำสังเคราะห์

2. การทดลองใช้แสงอาทิตย์ วันที่แดดจัดช่วงเวลา 10.30 น.- 14.30 น. เป็นแหล่งกำเนิดแสงตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550

3. การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่ใช้ TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยที่ TiO_2 จะถูกเคลือบบนแผ่นกระจก ทำการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง ที่มีอัตราเร็วคงที่ค่าเดียวตลอดการทดลอง

4. การศึกษาผลของพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ทำการทดลองในระบบแบตช์ (Batch) ที่มีสถานะ ดังนี้

4.1 ค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองมีค่าแปรผัน คือ พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

4.2 ปริมาณ TiO_2 ที่ใช้ในการทดลองมีค่าแปรผันคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

4.3 ปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่ใช้ในการทดลองมีค่าแปรผันคือ 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

4.4 ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที

5. พารามิเตอร์ของคุณลักษณะน้ำสังเคราะห์และน้ำเสียที่ศึกษา คือ พีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด สี บีโอดี ซีโอดี และทีโอดี

6. พารามิเตอร์ที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพการบำบัด คือ พีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด สี ซีโอดี และทีโอดี

การตรวจเอกสาร

1. น้ำอัดลม (Soft drink)

น้ำอัดลม คือ เครื่องดื่มที่ไม่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ ซึ่งโดยทั่วไปคำว่า “Soft drink” จะใช้กับเฉพาะเครื่องดื่มเย็น รวมถึงพวก carbonated drink ด้วย แต่จะไม่รวมถึงพวก ซ็อกโกแลต, ชา และกาแฟ น้ำอัดลมที่บรรจุขวดหรือกระป๋องโดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท โดยแบ่งตามลักษณะเฉพาะของกลิ่นรส และสีของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ประเภทที่ 1 น้ำอัดลมรสโคล่า หรือน้ำดำ (Black Carbonated drinks) โดยน้ำอัดลมประเภทนี้จะปรุงแต่งด้วยหัวน้ำเชื้อโคล่า ซึ่งมีความเข้มข้นที่สกัดจากส่วนใบของต้น โคล่าอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณของคาเฟอีนแต่ละยี่ห้อก็จะแตกต่างกันออกไป สำหรับสีน้ำตาลเข้มในส่วนนี้ส่วนใหญ่แล้วจะมาจากสีผสมอาหารที่เป็นสีของน้ำตาลเคียวไหม้ (caramel)

ประเภทที่ 2 น้ำอัดลมที่ไม่ใช่โคล่า (Fruit Flavoured Drinks/Lime drinks) ได้แก่ น้ำอัดลมสีขาวใส ที่ปรุงแต่งด้วยหัวน้ำเชื้อเลมอน-ไลม์ ปรุงแต่งกลิ่นรสเลียนแบบน้ำผลไม้ เช่น องุ่น ส้ม มะนาว ลิ้นจี่ น้ำหวานอัดลม และน้ำอัดลมที่สีเหมือนโคล่า เช่น รูทเบียร์ เป็นต้น ซึ่งน้ำอัดลมเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะไม่มีคาเฟอีน เนื่องจากไม่ได้ปรุงแต่งด้วยหัวน้ำเชื้อชนิดโคล่า แต่ก็อาจมีการเติมคาเฟอีนสกัดเล็กน้อย เพื่อให้ได้ฤทธิ์กระตุ้นของคาเฟอีน ทำให้รู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่าเมื่อดื่ม

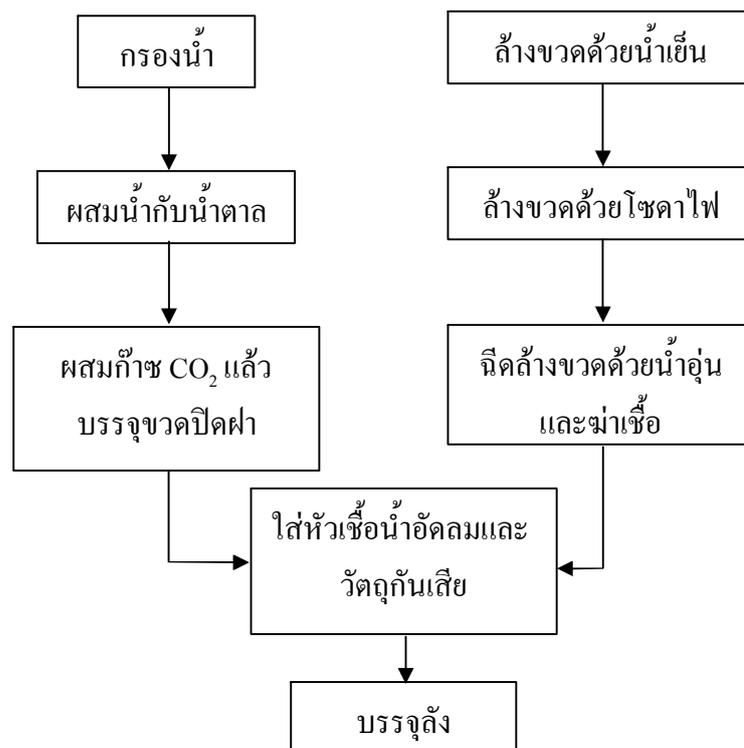
ส่วนประกอบของน้ำอัดลมนั้นจะประกอบด้วย น้ำ (Water) เป็นส่วนผสมที่มีอยู่ 90% ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมาจากน้ำบาดาล, คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide), สี (Colors) ที่ได้มาจากสีธรรมชาติและสีสังเคราะห์, คาเฟอีน (Caffeine) คาเฟอีนจะเป็นส่วนประกอบที่ได้จากธรรมชาติที่มาจากพืช เช่น เมล็ดกาแฟ, ใบชา, เมล็ดโคล่า และเมล็ดโกโก้ เป็นต้น, สารเพิ่มความเปรี้ยว (Acidulants) เช่น กรดมาลิก (Malic acid), กรดทาทาริก (Tartaric acid), สารให้ความหวาน (Sweeteners) เช่น ซูโครส (Sucrose), น้ำเชื่อมข้าวโพดแบบฟรุคโตสสูง (High fructose corn syrup, HFCS), ซุกการ์เคน (Sugarcane), ซุกการ์บีท (Sugarbeets) และ น้ำเชื่อมข้าวโพด (Corn syrup) ซึ่งจะมีอยู่ถึง 10.5-13.6 เปอร์เซ็นต์, วัตถุกันเสีย (Preservative), กลิ่นรส (Flavor) กลิ่นรสจากธรรมชาติจะได้มาจาก เครื่องเทศ, สมุนไพร, หัวเชื้อธรรมชาติ และน้ำมัน ถ้าเป็นกลิ่นรส ผลไม้ เช่น ส้ม และ

เลมอน-ไลม์ (lemon-lime) ที่ผสมกันเป็นหัวเชื้อธรรมชาติ และแร่ธาตุ (Mineral) เช่น โพแทสเซียม, โซเดียม เป็นต้น

2. กระบวนการผลิตน้ำอัดลม

การผลิตน้ำอัดลมจะมีกรรมวิธีการผลิต แสดงดังภาพที่ 1 (กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ,ม.ป.ป.) ดังนี้

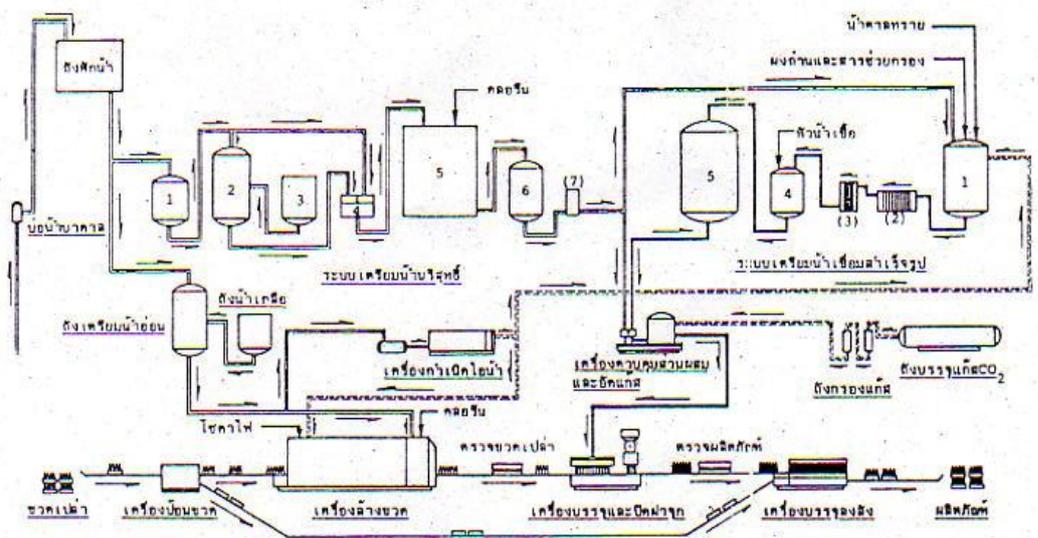
ขั้นตอนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่กรองน้ำที่จะใช้ผลิตน้ำอัดลมให้สะอาด ตวงให้ได้จำนวนตามต้องการ นำไปผสมกับน้ำตาลและหัวเชื้อน้ำอัดลม ซึ่งเป็นส่วนผสมเข้มข้นที่ใส่สีปรุงอาหารไว้ตามต้องการแล้วผสมวัตถุดิบเสีย อันได้แก่ กรดเบนโซอิก การผลิตในขั้นนี้จะได้เป็นน้ำหวานจากนั้นบรรจุน้ำหวานลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ บรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงในขวด แล้วปิดฝาทันที หลังจากนั้นนำไปบรรจุลงเพื่อรอส่งไปจำหน่ายต่อไป



ภาพที่ 1 แผนผังกรรมวิธีการผลิตน้ำอัดลม

ที่มา: กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (ม.ป.ป.)

และภาพที่ 2 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตน้ำอัดลมของบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน)



ระบบเตรียมน้ำบริสุทธิ์

1. ถังกรองทราย
2. Cation Exchanger
3. ถังกรวด
4. ถังปรับพีเอช
5. ถังฆ่าเชื้อจุลินทรีย์
6. ถังถ่าน
7. ถังกรองชนิดละเอียด

ระบบเตรียมน้ำเชื่อมสำเร็จรูป

1. ถังเตรียมน้ำเชื่อม
2. เครื่องกรองน้ำเชื่อม
3. Heat Exchanger
4. ถังผสมน้ำเชื่อมสำเร็จรูป
5. ถังปั๊ม

ภาพที่ 2 แผนผังกรรมวิธีการผลิตเครื่องดื่มน้ำอัดลมของ บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน)

ที่มา: ข้อมูลจากบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) (ม.ป.ป.)

3. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมจะมีแหล่งที่มาจากน้ำเสียเครื่องล้างขวด ซึ่งน้ำเสียจากส่วนนี้จะมากถึง 90% มีค่าบีโอดี ความเป็นด่าง และของแข็งแขวนลอยสูง เนื่องมาจากน้ำอัดลมและสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดขวด และมาจากน้ำทิ้งจากระบบประปา น้ำทิ้งในส่วนนี้จะมาจากน้ำล้างถังกรองน้ำ (Back wash) น้ำล้างเรซิน น้ำล้างพื้นโรงงานซึ่งจะมีสภาพเป็นด่าง เนื่องจาก

สารเคมีที่ใช้ล้าง น้ำล้างถังผสมหัวเชื้อ และถังผสมน้ำเชื่อม (Nemerow, 1978) นอกจากนี้ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545) กล่าวว่า ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำอัดลมจะมีค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 150-2400 มก./ล. และค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 50-400 มก./ล. ลักษณะของ น้ำอัดลมและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า BOD₅, ของแข็งทั้งหมด (total solids, TS), ค่าความกรด (acidity) และ พีเอชของน้ำ อัดลมแต่ละยี่ห้อ

ยี่ห้อเครื่องดื่ม	BOD ₅ , mg/l	Total solids, mg/l	Acidity		pH
			Mineral, mg/l	Total, mg/l	
Coca-Cola	67,400	114,900	244	1,526	2.4
Pepsi-Cola	79,500	122,000	248	1,466	2.5
Mission Orange	84,300	141,300	570	1,579	3.0
Wagner Lift	64,600	110,800	316	2,253	3.4
Tom Collins, Jr.	66,600	106,900	353	1,246	3.2
Canada Dry					
Quinine water	64,500	101,300	1,181	3,150	2.4
Average	71,200	116,200	490	1,870	

ที่มา: Porges and Struzeski (1961)

ตารางที่ 2 ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม

Characteristic	Value
pH	10.8
Phenolphthalein alkalinity, mg/l	150
Total alkalinity, mg/l	290
5-day BOD, mg/l	430
Suspended solids, mg/l	220

ที่มา: Porges and Struzeski (1961)

4. กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน (Photocatalytic Oxidation) หรือกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยตัวเร่งปฏิกิริยา

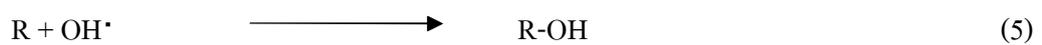
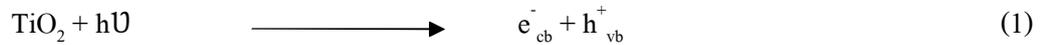
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเร่งปฏิกิริยาโฟโตรีแอคชัน ซึ่งในกระบวนการเร่งปฏิกิริยานี้เป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalysis) คือการเร่งที่ผิวหน้าระหว่างสถานะที่ต่างกันของระบบที่มีมากกว่าหนึ่งสถานะ โดยทั่วไปโมเลกุลทั่วไปของสารตั้งต้นจะถูกดูดซับ (adsorbed) ไว้บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในแง่ของการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนและบางพันธะของ โมเลกุลจะเริ่มสลาย (วูทรีนันท์, 2544)

ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันนั้น จะมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ โลหะตัวนำ (Transition Metal) เช่น ทองแดง โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ แคดเมียมซัลไฟด์ สังกะสีออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย วาเลนซ์แบนด์ (Valence Band) และคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) ที่อยู่โดยไม่ได้ติดกันถูกคั่นด้วยแบนด์แก๊ป (Band Gap) ซึ่งมีแถบพลังงาน (Eg) กั้นอยู่

กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันในสารละลาย คือ เมื่ออิเล็กตรอน (Electron, e-) ที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์ ได้รับพลังงานจากแสง (hν) ซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าแถบพลังงาน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ ในขณะเดียวกัน ที่บริเวณวาเลนซ์แบนด์จะเกิดโฮล (hole, h⁺_{vb}) ซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในวาเลนซ์แบนด์ ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในแถบความนำแทนด้วยสัญลักษณ์ e⁻_{cb} ซึ่ง h⁺_{vb} และ e⁻_{cb} สามารถที่จะกลับมาอยู่ในสภาวะเดิมได้อีก เรียกว่า รีคอมบิเนชัน (Recombination) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันและที่ผิวหน้าระหว่างของแข็งและของเหลว อิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากคอนดักชันแบนด์ ไปยังตัวรับอิเล็กตรอน (Electron Acceptor) ในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ส่วนอีกด้านหนึ่งคือวาเลนซ์แบนด์ซึ่งมีโฮลจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยสารละลายทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Electron Donor) ในสภาวะปกติ ซึ่งโฮลที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี

5. กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (UV/TiO₂)

กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ด้วยสมการ (Al-Ekabi *et al.*, 1991)



เมื่อ $h\nu$ = อนุภาคของแสง (photon)

h^+_{vb} = โฮลที่แถบวาเลนซ์

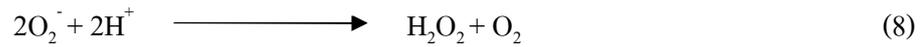
e^-_{cb} = อิเล็กตรอนที่แถบความนำ

OH^\bullet = ไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radicals)

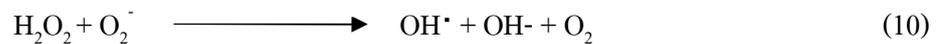
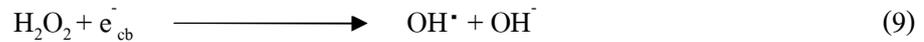
O_2^- = ซุปเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล (Superoxide ion radicals)

R = โมเลกุลของสารอินทรีย์ (Organic molecule)

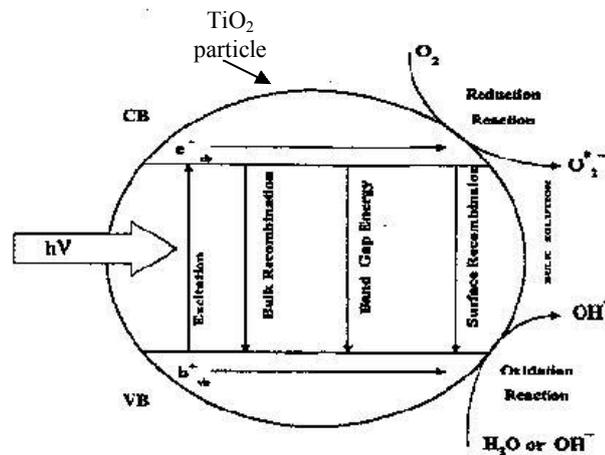
เมื่อสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงยูวีที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแบนด์แก๊ป (~3.2 eV) ทำให้อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์เคลื่อนที่ไปยังแถบความนำเกิดเป็น e^-_{cb} และ h^+_{vb} อิเล็กตรอนที่แถบความนำ (e^-_{cb}) ทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลออกซิเจนที่ดูดซับไว้บนไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้โมเลกุลออกซิเจนเปลี่ยนไปเป็นซุปเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล (Saquib *et al.*, 2008) ส่วนโฮลที่แถบวาเลนซ์สามารถรับอิเล็กตรอนจาก โมเลกุลสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในสารละลายโดยตรง หรือไฮดรอกซิลไอออน ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล และยังทำให้โมเลกุลของน้ำ ที่ดูดซับไว้บนไทเทเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ด้วยเช่นกัน ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัล เป็นสารที่มีอำนาจออกซิไดซ์สูง มีความไวในการทำปฏิกิริยาสูง และทำหน้าที่สลายโมเลกุลสารอินทรีย์ในสารละลายที่ดูดซับไว้หรืออยู่ใกล้ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนซุปเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล สามารถที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังสมการ



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เกิดขึ้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ โดยจะทำปฏิกิริยากับ e^-_{cb} ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังสมการ



ปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกบนสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกบนสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์
ที่มา: สิริชัย (2543)

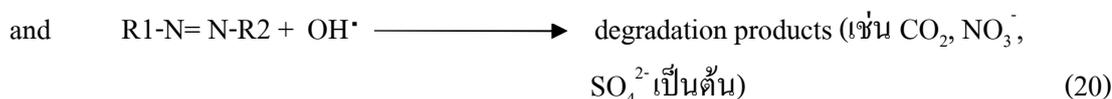
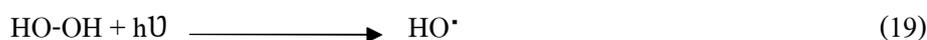
6. กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UV/H₂O₂)

กระบวนการออกซิเดชันโดย UV/H₂O₂ เป็นปฏิกิริยาขั้นเดียวโดย H₂O₂ แตกตัวให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลหรือ OH[•] ซึ่ง OH[•] นี้สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (RH) โดยมีหรือไม่มีโฟตอน กลายเป็นอนุมูลอิสระของสารอินทรีย์ (R[•]) ซึ่งมีความไวต่อการทำปฏิกิริยาสูงและสามารถออกซิไดซ์ต่อไปได้ ปฏิกิริยาต่าง ๆ ของกระบวนการออกซิเดชันของ UV/H₂O₂ แสดงดังสมการต่อไปนี้



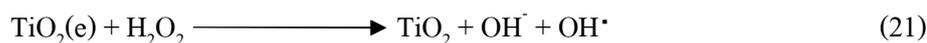
การย่อยสลายสารอินทรีย์อาจทำได้โดยตรงโดยการกระตุ้นจากรังสียูวีซึ่งสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ OH^\bullet ที่เกิดขึ้นก่อน ซึ่งยูวีความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร สามารถให้ประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการใช้ H_2O_2 ร่วมกับหลอดปรอทที่ให้ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ซึ่งใช้กันโดยทั่วไปและหากตัวทำปฏิกิริยามีไม่จำกัด การกำจัดพิษของสารอินทรีย์สามารถกระทำได้โดยสมบูรณ์ โดยเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หากสารพิษเป็นสารอินทรีย์ก็ จะกลายเป็นเกลือในขั้นสุดท้าย (อุษาพร, 2545)

นอกจากนี้ Costa *et al.* (2004) พบว่า การใช้แสงยูวีคลื่นสั้นจะทำให้ H_2O_2 แยกตัวออกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิด OH^\bullet มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง เพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยากับตัวออกซิเดนท์ที่สูงขึ้น ทำให้ย่อยสลายได้เร็วขึ้น ดังสมการ



7. กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UV/TiO₂/H₂O₂)

กระบวนการนี้เป็นการนำกระบวนการ UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂ มารวมกัน จึงมีแหล่งที่ทำให้เกิด OH^\bullet อยู่ 2 แห่ง ได้แก่ H_2O_2 และ TiO₂ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (Tang and An, 1995) ดังสมการ





โดยกระบวนการการบำบัดโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นกว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเห็นได้จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถทำให้เกิด OH^\bullet และ O_2 ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้สามารถช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น อีกทั้ง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ยังสามารถลดการเกิดรีคอมบินันซ์ ได้อีกด้วย (Muraganandham and Swaminathan, 2004)

8. รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Radiation)

ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ คือ รังสียูวีเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-400 นาโนเมตร มีคุณสมบัติไม่แตกตัว รังสียูวีแบ่งได้เป็น UV-A UV-B และ UV-C ความยาว ช่วงต่างๆ ของรังสียูวี แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความยาวคลื่นในช่วงต่างๆของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ประเภทรังสี	ความยาวคลื่น (nm)
UV A, long wave	400-315
UV B, medium wave	315-280
UV C, short wave	280-100
Far or vacuum UV	200-10
Extreme or deep UV	120-10

ที่มา: Tobiska and Nusinov (2004)

แหล่งกำเนิดของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (อุษาพร, 2545) มาจาก 2 แหล่งคือ

8.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่ปล่อยรังสีออกมาหลายความยาวคลื่นซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตและคลื่นแสงที่เดินทางมายังโลก จะถูกดูดซับไว้โดยชั้น

บรรยากาศ สำหรับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 320 นาโนเมตร เมื่อเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ ความเข้มของรังสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะถูกโอโซนที่ชั้นสตราโตสเฟียร์ดูดซับไว้ ดังนั้นจะไม่มีรังสีที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 288 นาโนเมตร ตกลงมาถึงพื้นโลกเลย

8.2 แหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น วัตถุทุกชนิดที่ถูกทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่า 2500 เคลวิน จะสามารถปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ วัตถุประสงค์หลักที่มนุษย์นำรังสีนี้มาใช้ก็เพื่อประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต ชนิดของรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถแบ่งได้โดย ชนิดของ gas discharge หรือ fluorescent lamp หรือ แหล่งกำเนิดของแสงซึ่งทั้งหมดสามารถปล่อยความยาวคลื่นในช่วงที่ต่ำกว่า 260 นาโนเมตร ได้และสามารถทำให้เกิดโอโซนที่ใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อโรค

9. สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะลิสติกออกซิเดชัน

สารกึ่งตัวนำที่นำมาทำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะลิสติกมีหลายชนิด ได้แก่ TiO_2 , ZnO , WO_3 , CdS , ZnS , SrTiO_2 และ $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (Lakshmi *et al.*, 1995) โดยแต่ละตัวมีลักษณะที่แตกต่างกัน TiO_2 เป็นสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาเป็นตัวคะตะลิสต์ เพราะว่ามีคุณสมบัติ ดังนี้ มีความสามารถละลายน้ำต่ำ มีความเสถียรภาพ ไม่แพง ไม่เป็นพิษ ทนต่อการกัดกร่อน (Karunakaran *et al.*, 2005; Aceituno *et al.*, 2002) มีพื้นที่ผิวมาก มีแบนด์แก๊ปขนาดใหญ่ (สิริชัย, 2543) จึงป้องกันการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล เมื่อเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำตัวอื่น และสามารถแตกโฟตอนออกมาได้ที่ ความยาวคลื่นต่ำกว่า 387 นาโนเมตร (Shifu *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง

TiO_2 จะอยู่ในรูปของผลึก 3 รูป คือ รูไทล์ ไคร์โรไทล์ และอนาเทส โดยมีการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ระหว่างรูไทล์และอนาเทส ไว้ในตารางที่ 4 ซึ่งในรูปของรูไทล์จะไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นตัวคะตะลิสต์ เพราะเกิดการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮลสูง มีความสามารถในการดูดซับผิวต่ำกว่าอนาเทส และอนาเทสกระตุ้นเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่ารูไทล์ (Mohamed and Al-Esaimi, 2006) ในปัจจุบันจึงเป็นที่นิยมใช้อนาเทสมากกว่าแบบอื่น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ระหว่างรูไทล์และอนาเทส

คุณสมบัติ	Rutile	Anatase
Crytalline form	Orthorhombic	Orthorhombic
Band gap energy (eV)	3.030	3.200
Hardness (Mohs)	6.0-7.0	5.5-6.0
Density (g/cm ³)	4.250	3.894
Gibbs free energy, Δ	-212.6	-211.4
G _f ^o (kcal/mole)	4.593	3.784
Lattice constant, a(A ^o)	2.959	9.515
Lattice constant, c(A ^o)	1858 ^o c	Changes to rutile at high
Meiting point		temperature \approx 800 ^o c

ที่มา: วิไลวรรณ (2548)

10. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂)

H₂O₂ เป็นสารออกซิเดนท์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะมีสภาพเสถียรคงตัวเมื่อบริสุทธิ์ เป็นสารออกซิเดนท์ที่แข็งแรง มีค่า Oxidation potential เท่ากับ 1.8 eV มีการนำ H₂O₂ ไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมไม้ ทางด้านสิ่งแวดล้อมก็มีการนำมาใช้บำบัดทั้งในน้ำ อากาศ น้ำเสีย ดิน และกากตะกอน คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Property	H ₂ O ₂ concentration/weight-%				
	30	35	50	70	90
Density, $\rho/\text{g cm}^{-3}$					
T=0°C	-	1.1441	1.2110	1.3071	1.4136
T=20°C	-	1.1312	1.1953	1.2886	1.3920
T=25°C	1.1081	1.1282	1.1914	1.2839	1.3867
Viscosity, $\mu/\text{mPa s}$					
T=0°C	-	1.82	1.87	1.93	1.88
T=20°C	-	1.11	1.17	1.23	1.26
Refractive index, n_D^{20}	-	1.3563	1.3672	1.3827	1.3995
Melting point, $\text{mp}/^\circ\text{C}$	-25.7	-33	-52.2	-40.3	-11.9
Boiling point, $\text{bp}/^\circ\text{C}$	106.2	107.9	113.8	125.5	141.3
pH	-	4.6	4.3	4.4	5.1

ที่มา: Oppenlander (2003)

11. การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับ คือ การเกาะติดของก๊าซหรือสารละลายบนพื้นผิวของของแข็ง เช่น การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ โดยที่ของแข็งที่สารปนเปื้อนถูกดูดซับบนผิวของแข็ง จะเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) และสารปนเปื้อนในของเหลวที่ถูกดูดซับบนผิวของแข็ง เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) (เกรียงศักดิ์, 2546)

สุจินต์ (2544) กล่าวว่า การดูดซับแบ่งได้ 2 ขั้นตอน คือ การดูดซับทางฟิสิกส์ (physisorption) และการดูดซับทางเคมี (chemisorption) เมื่อโมเลกุลของสารใดๆ ในของเหลวเคลื่อนตัวมาสัมผัสบริเวณผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดของตัวดูดซับ โมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waal' s force) ขั้นตอนนี้เป็นการดูดซับทางฟิสิกส์ การเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นชั้นๆตาม

ความเข้มข้นของสารละลาย จากนั้นจะเกิดการดูดซับทางเคมีขึ้น โดยมีพลังงานหนึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง โมเลกุลของตัวดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับกลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (irreversible) สำหรับการดูดซับทางฟิสิกส์สามารถแปรสภาพกลับได้ (reversible) ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุล

ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอินทรีย์ไปตามผิวตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอยู่ 4 ลักษณะที่เกิดขึ้น (เกรียงศักดิ์, 2546; สุชาติ, 2546) ได้แก่

1. การเคลื่อนที่ที่ขงของเหลวทั้งก้อน (Bulk Fluid Transport) สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนที่จากน้ำเสียสู่ขอบด้านนอกของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิว การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น โดยการพา

2. การเคลื่อนที่บริเวณฟิล์มใกล้ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา (Film Transport) โมเลกุลของสารถูกดูดติดของน้ำเสียจะแพร่ผ่านชั้นน้ำที่อยู่ล้อมรอบของผิวตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าของการเคลื่อนที่ทั้งก้อน

3. การกระจายภายในโพรงของตัวเร่งปฏิกิริยา (Intraparticle/Pore Diffusion) สารถูกดูดติดผิวของน้ำเสียจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปใน Macropore แล้วตามด้วย Micropore ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะเคลื่อนที่ได้ช้า

4. การเกาะติดทางกายภาพ (Actual Physical Attachment) เป็นการเคลื่อนที่สารดูดติดผิวของน้ำเสียไหลผ่านเข้าไปในตัวเร่งปฏิกิริยาจนกระทั่งเกิดแรงทางกายภาพ เป็นการเคลื่อนที่ค่อนข้างเร็ว กลไกที่เกิดขึ้น คือ พันธะไฮโดรเจน (H bonding), แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) และแรงไฟฟ้าสถิต

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Factors affecting adsorption) (สุจินต์, 2544) ดังนี้

1. ธรรมชาติของ โมเลกุล โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ

1.1 พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น แต่ไม่เพียงพอ โครงสร้างรูพรุนก็ช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถ

ในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาด โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของ โมเลกุลของตัวดูดซับ ได้การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น

1.2 ขนาดของวัตถุ เมื่อขนาดลดลง พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับ เพิ่มขึ้นด้วย

2. ธรรมชาติของ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ

2.1 ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายสูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึง ปฏิกิริยาของตัวทำละลาย และต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

2.2 น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล ถ้าโมเลกุลของสารที่เป็นตัวถูกดูดซับเป็น สารอินทรีย์ ถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้นการดูดซับก็จะเพิ่มมากขึ้นเพราะการเพิ่มน้ำหนัก โมเลกุล

2.3 ความมีขั้วของโมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายมากขึ้น

Aceituno *et al.* (2002) กล่าวว่า ที่พื้นผิวของ โมเลกุล TiO_2 จะมีทั้งมีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้น TiO_2 จะเป็นตัวดูดซับ (adsorbent) ที่ดีสำหรับ โมเลกุลสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว

3. ผลของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถ ในการดูดซับผิวจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (exothermic)

12. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน

12.1 ค่าพีเอช

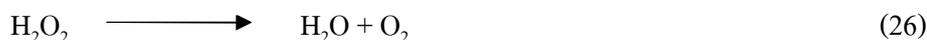
ประสิทธิภาพในการโฟโตออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในสารละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยที่ สำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการดูดเกาะของ สารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ในสารละลายเพราะประจุไฟฟ้าที่ผิว

ของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเมื่อค่าพีเอชสูงหรือต่ำ โดยประจุที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นบวกที่ค่าพีเอชต่ำและจะเป็นลบเมื่อค่าพีเอชสูง (อุษาพร, 2545) เช่นเดียวกับ Bahnamann *et al.* (2007) และ Saquib *et al.* (2008) ที่กล่าวว่าประจุไฟฟ้าบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถที่จะเป็นอนุภาคไฟฟ้าบวกและอนุภาคไฟฟ้าลบ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและด่าง ดังสมการ



ทั้งนี้ต้องดูถึงค่า point of zero charge (pzc) ของ TiO_2 (pzc ของ TiO_2 ที่ $\text{pH} \approx 6.25$) ด้วย ดังนั้นในสภาวะที่เป็นกรด ($\text{pH} < 6.25$) ประจุบนผิว TiO_2 ก็จะเป็นบวกแต่ถ้าสภาวะที่เป็นด่าง ($\text{pH} > 6.25$) ประจุบนผิว TiO_2 ก็จะเป็นลบ

Muruganandham and Swaminathan (2004) รายงานว่า ในการใช้กระบวนการโฟโตออกซิเดชัน ในการกำจัดสีรีแอกทีฟออเรนจ์ 4 นั้น ผลของพีเอชซึ่งทดลองทำในช่วงพีเอช 1 ถึง 8 พบว่าการเพิ่มขึ้นของพีเอชจาก 1 ไป 3 จะเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายสีจาก 10.32 ไปเป็น 88.68% และการเพิ่มของพีเอชจาก 3 ไปเป็น 8 จะลดประสิทธิภาพการย่อยสลายสีจาก 88.68 ไปเป็น 10.22% ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจากการรีดักชันของ $[\text{OH}^\bullet]$ ภายใต้สภาวะนี้นั้น H_2O_2 จะได้รับการย่อยสลายโดยใช้แสง (Photodecomposition) ไปเป็นน้ำและออกซิเจนมากกว่า OH^\bullet ดังสมการ



แต่ในทางตรงกันข้าม Behnajady *et al.* (2004) รายงานว่า ในการกำจัดสีย้อมแอซิดออเรนจ์ 7 นั้นหลังจากที่ค่าพีเอชลดต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง เนื่องจากการลดลงของ $[\text{OH}^\bullet]$ เช่นเดียวกับ Lakshmi *et al.* (1995) ที่ทำการย่อยสลายเมทีลีนบลูโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติก พบว่า อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าพีเอชโดยจะอยู่ในช่วงพีเอช 6.9-8.0

12.2 ปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์

หน้าที่ของไทเทเนียมไดออกไซด์นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวคะตะลิสต์แล้วยังทำหน้าที่เป็นสารดูดซับที่ผิวอธิบายได้จาก L-H อัตราการดูดซับของสารขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวตัว

แคตาลิสต์ ปริมาณและขนาดของตัวคะตะลิสต์ ซึ่งปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกส่วนมากเกิดที่ผิวของตัวคะตะลิสต์ (สิริชัย, 2543)

Lakshmi *et al.* (1995) ทำการย่อยสลายเมทิลีนบลูโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลติก พบว่า อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ ก็จะเป็นการเพิ่มจำนวนอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วย จำนวนของโฟตอนที่ถูกดูดซับ และจำนวน โมเลกุลของสีย้อมที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ Muruganandham *et al.* (2006) รายงานเพิ่มอีกว่ายังเนื่องมาจาก เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของอนุภาคในพื้นที่ของการฉายแสง แต่ วุทธินันท์ (2544) พบว่า ปริมาณไทเทเนียม ไดออกไซด์มากเกินไปในสารละลายจะทำให้ปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันลดลงเนื่องจากอนุภาคที่มากเกินไปของไทเทเนียมไดออกไซด์จะไปขัดขวางแสงยูวีที่ส่องลงไป ในสารละลาย ทำให้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ถูกระตุ้นด้วยอนุภาคของแสง และปริมาณไฮดรอกซิลเรดิคัลลดลง

12.3 ปริมาณความเข้มแสง

ความเข้มแสง คือ พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ซึ่งพลังงานแสงนี้จะอยู่ในรูปของโฟตอน จากสมมติฐานของไอน์สไตน์ ว่าด้วย 1 โฟตอนจะทำให้เกิด 1 โฟโตอิเล็กตรอน ดังนั้นจำนวนโฟโตอิเล็กตรอน แปรผันตาม จำนวนโฟตอน แปรผันตาม ความเข้มของแสง โดยเมื่อลดความเข้มแสงลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงตามไปด้วย เมื่อความเข้มแสงเป็นศูนย์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงมากจนถือว่าไม่เกิดปฏิกิริยา (ลัดดา, 2545)

Behnajady *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาการทำลายด้วยแสง (photodestruction) ของแอซิดออเรนจ์ 7 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟยูวีซี 30 วัตต์ ความเข้มแสงเท่ากับ 1.5×10^5 Einstein $^{-1}$ s $^{-1}$ และหลอดไฟยูวีซี 8 วัตต์ ความเข้มแสงเท่ากับ 5×10^6 Einstein $^{-1}$ s $^{-1}$ พบว่า อัตราการย่อยสลายของการใช้หลอดไฟ 30 วัตต์ จะสูงมากกว่าหลอดไฟ 8 วัตต์ ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็เพิ่มขึ้นด้วย

เช่นเดียวกับ Muruganandham and Swaminathan (2004) พบว่า การเพิ่มความเข้มแสงจาก 16 วัตต์ ไปเป็น 62 วัตต์ จะเพิ่มการย่อยสลายสีจาก 50.69% ไปเป็น 79.86% และเพิ่มการ

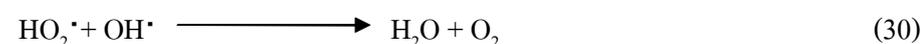
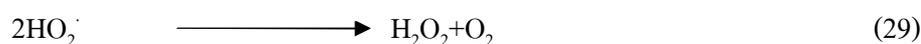
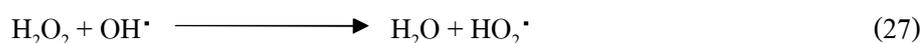
ย่อยสลายจาก 18.66% ไปเป็น 45.69% ที่เวลา 60 นาที เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ $[\text{OH}^\bullet]$ อัตราของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 จะขึ้นโดยตรงกับพลังงานแสงที่ตกลงมา ที่ความเข้มแสงสูงจะเกิด OH^\bullet มาก ทำให้อัตราการกำจัดเพิ่มมากขึ้น

12.4 ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น

Muruganandham and Swaminathan (2004) กล่าวว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจะลดอัตราการย่อยสลายสีจาก 93.47% ไปเป็น 60.97% และการย่อยสลายจาก 69.90% ไปเป็น 24.62% ที่ 60 นาที เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงการลอดผ่านของโฟตอนเข้าสู่สารละลายจะลดลง ดังนั้น ความเข้มข้นของ OH^\bullet ก็ลดลงด้วย เช่นเดียวกับ Saquib *et al.* (2008) ที่กล่าวว่าอัตราการย่อยสลายจะลดลงพร้อมกับความเข้มข้นของสีย้อมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นที่หนาแน่นของสีย้อมจะขัดขวางแสงไปยังผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ OH^\bullet และ O_2^\bullet ลดลง

12.5 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Behnajady *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น เมื่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก OH^\bullet จำนวนมากเข้าทำลาย aromatic ring อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Muruganandham and Swaminathan (2004) และ Aleboye *et al.* (2005) ที่รายงานว่า การที่การย่อยสลายสีและการย่อยสลายสูงขึ้น โดยการเติม H_2O_2 เนื่องจาก เป็นการเพิ่มปริมาณ OH^\bullet แต่เปอร์เซ็นต์การบำบัดจะเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่าหนึ่งจากนั้นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอีกเปอร์เซ็นต์การบำบัดจะลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนเกินจะทำปฏิกิริยากับ OH^\bullet ต่อไป ก่อให้เกิดเป็นน้ำและออกซิเจน ทำให้ปริมาณ OH^\bullet ลดลง ดังสมการ



12.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิซิสเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากอัตราการทำปฏิกิริยาของ e_{cb}^- และ h_{vb}^+ กับสารปนเปื้อนในสารละลายมีค่ามากกว่าอัตราการกลับมารวมตัวกันใหม่ของ e_{cb}^- และ h_{vb}^+ และอาจเนื่องมาจากความถี่ในการชนของโมเลกุลมีมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และอาจเนื่องมาจากการลดลงของพลังงานการกระตุ้นในการทำปฏิกิริยา (วุทธินันท์, 2544)

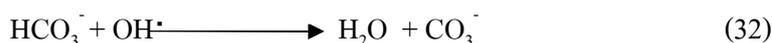
12.7 ปริมาณออกซิเจนละลาย

อัตราการเกิดปฏิกิริยา เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิซิส เพราะออกซิเจนจะยึดเกาะบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำหน้าที่ยึดจับ e_{cb}^- ที่แถบความนำ ทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์ไอออน และจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และด้วยเหตุนี้ก็เป็นผลให้ออกซิเจนทำหน้าที่เป็นตัวยึดเวลา การกลับมารวมตัวกันใหม่ ของ e_{cb}^- และ h_{vb}^+ นอกจากนี้ออกซิเจนยังทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (อุษาพร, 2545)

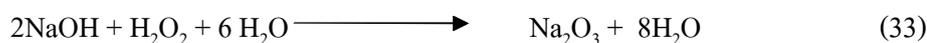
12.8 ปริมาณอ็อกซิเจนบวก-ลบในสารละลาย

โดยปกติแล้วในน้ำเสียนั้นจะมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอ็อกซิเจนบางชนิดจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาและบางชนิดจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา น้ำเสียที่ถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ หากมีความเข้มข้นของโลหะสูง อาจจะต้องทำการบำบัดขั้นต้นเพื่อกำจัดโลหะออกบางส่วน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน

Muruganandham and Swaminathan (2004) ได้ศึกษาผลของสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อช่วยในปฏิกิริยาของสีย้อม เช่น Na_2CO_3 , $NaCl$, $NaOH$ ในการกำจัดสีด้วยแสง (Photodecolourisation) พบว่า Na_2CO_3 ทำให้อัตราการกำจัดลดลง เนื่องจากจะไปแย่งจับ OH^\bullet ซึ่งเป็นผลจากการบอเนตและไบคาร์บอเนตไอออน ดังสมการ



เช่นเดียวกับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะยับยั้งอัตราการกำจัด เนื่องจากความเข้มข้นของ H_2O_2 ลดลงโดยปฏิกิริยาของ NaOH กับ H_2O_2 และการเติม NaOH ทำให้สารละลายมีสภาพเป็นด่าง ซึ่งจะลดการเกิดกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน ดังสมการ



ส่วนการเติม NaCl ไม่มีผลต่ออัตราการกำจัด

13. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริชัย (2543) ได้ศึกษาผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียสีข้อมซึ่งเป็นสีที่ใช้ในโรงงานผลิตกระดาษ พบว่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยสำคัญของปฏิกิริยาโดยเมื่อเติมก๊าซไนโตรเจนแทนการเติมอากาศทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีลดลงจาก 100% เป็น 85.6, 67.2 และ 45.3% ของโทนสีน้ำเงิน โทนสีแดง และโทนสีเหลือง ตามลำดับ ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นน้ำเสียสีสังเคราะห์มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตาม L-H model และเมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 ก./ล. พบว่า โทนสีน้ำเงินมีค่าเท่ากับ 2.5846 มก./ล-นาที และ 0.0217 ล./มก. ตามลำดับ โทนสีแดงมีค่าเท่ากับ 1.5706 มก./ล-นาที และ 0.0256 ล./มก. ตามลำดับ และโทนสีเหลืองมีค่าเท่ากับ 1.5218 มก./ล-นาที และ 0.0302 ล./มก. ตามลำดับ นอกจากนี้ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับโทนสีน้ำเงิน โทนสีแดง และโทนสีเหลือง คือ 1.0, 3.0 และ 2.0 มก./ล. และยังพบอีกว่า โทนสีที่สามารถบำบัดซีโอดีและทีโอซี ได้ง่ายที่สุด คือ โทนสีน้ำเงิน รองลงมาคือ โทนสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ

วุทธินันท์ (2544) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสีข้อมผ้าด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมคือ 5 กรัม/ลิตร จึงจะให้ค่าการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสูงสุด ส่วนค่าความเข้มข้นสีข้อมผ้าเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ที่จะให้ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด และสุดท้ายการเปลี่ยนความเข้มข้นแสงยูวีจาก 9.10 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร เป็น 1.08 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมลดลง และปฏิกิริยาจะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่มีการฉายแสงยูวี

ธีรวิทย์ (2544) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการ Advance Oxidation Processes โดยใช้แสงยูวีและ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า สภาพที่เหมาะสมของระบบ UV/ H_2O_2 ในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีและซีโอดีคือที่สถานะพีเอช เท่ากับ 9 ความเข้มข้นของ H_2O_2 เท่ากับ 7,500 มก./ลิตร และเวลาสัมผัสเป็น 240 นาที เป็นสภาพที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดีและซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 60.3% และ 48.4% ตามลำดับ

ลัดดา (2545) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ 17 และสีรีแอกทีฟบลู 19 ด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ากระบวนการโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สีทั้ง 2 ชนิด มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ค่าพีเอช 4, ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 มิลลิโมลาร์, ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 20 มก./ล. และที่ความเข้มแสง 9.10 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร ส่วนกระบวนการที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด สำหรับสีรีแอกทีฟ 17 คือค่าพีเอชที่ 10, ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิโมลาร์ และสีรีแอกทีฟบลู 19 คือ ค่าพีเอชที่ 10, ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 มิลลิโมลาร์ ส่วนค่าความเข้มข้นสีที่เริ่มต้นที่เหมาะสม และความเข้มแสงที่เหมาะสมของสีทั้ง 2 ชนิด เท่ากับ 20 มก./ล. และ 9.10 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ นั่นคือ กระบวนการที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่ากระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

อุษาพร (2545) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบ ด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิเดนต์ และไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า การใช้กระบวนการนี้ในการบำบัดขั้นต้นนั้นไม่เหมาะสม ควรผ่านระบบบำบัดขั้นต้นเพื่อลดความเข้มข้นของน้ำเสียก่อน ให้เหลือไม่เกิน 700 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และสี พบว่าเมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ที่พีเอช 3 ประสิทธิภาพดีที่สุด และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2000 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ซีโอดี และสี เท่ากับ 50% 81.65% และ 84.38% ตามลำดับ

ดวงกมล (2546) ได้ศึกษาการสลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนตะกั่วในสารละลายด้วยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า สภาพที่

เหมาะสมสำหรับการสลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนตะกั่วคือ อัตราส่วนระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนตะกั่วต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1: 20 ที่ค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นของสารละลายเป็น 3 และ ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะอื่นๆ คือ สังกะสี และ แคลเซียม พบว่าสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน

พวงรัตน์และอภิชน (ม.ป.ป.) ได้ศึกษา พฤติกรรมการดูดซับโครเมียมบนผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าพีเอชที่มีค่าอยู่ในสภาวะกรดทำให้เกิดการดูดซับโครเมียมได้ดีกว่าในสภาวะต่าง โดยค่าพีเอชที่ทำให้เกิดการดูดซับโครเมียมบนผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดีที่สุดคือที่พีเอช 5 โดยมีค่าการดูดซับสูงสุดที่ 2.14 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ 3 กรัมต่อลิตร

Kuo and Ho (2001) ได้ศึกษาการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ตรึงบนใบพัดกวนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใช้แสงอาทิตย์และหลอดยูวีแบบปรอทความดันต่ำเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสง ค่าพีเอชและความเข้มข้นของสีย้อม พบว่า การใช้แสงอาทิตย์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดีกว่าการใช้หลอดยูวีและประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นที่ค่าพีเอชเป็นกรดและที่ความเข้มข้นของสีย้อมต่ำสุด 5 ไมโครโมลาร์

Behnajady *et al.* (2004) ได้ศึกษาการทำลายโครงสร้างโดยใช้แสง ของแอซิดออเรนจ์ 7 (AO7) โดยใช้ UV/ H₂O₂ พบว่า สำหรับการทำลายด้วยแสง (Photodestruction) ของ AO7 นั้น ปริมาณ H₂O₂ ที่เหมาะสมคือ 80 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราย่อยสลายที่คงที่ของ AO7 ภายใต้สภาวะกลางและต่าง จะดีกว่าสภาวะเป็นกรด และการใช้ EtOH จะไปยับยั้งกระบวนการ Photodestruction ของ AO7

Muruganandham and Swaminathan (2004) ได้ศึกษาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชันของสีย้อมรีแอกทีฟ ด้วยกระบวนการ UV/H₂O₂ พบว่า ในการทดลองนั้นทั้งการใช้ UV/H₂O₂ และ Solar/H₂O₂ เป็นแหล่งของแสงนั้น ประสิทธิภาพของทั้ง 2 ชนิดสามารถใช้ได้กับการย่อยสลาย สีย้อมรีแอกทีฟ โดยสภาวะการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพดีจะอยู่ที่ พีเอช 3 และปริมาณของ H₂O₂ เท่ากับ 20 มิลลิโมล และสารเคมีที่เติมลงไปช่วยในปฏิกิริยา คือ Na₂CO₃ และ NaOH ที่เข้มข้น จะไปยับยั้งประสิทธิภาพการกำจัดในกระบวนการ โฟโตเคมีคัลออกซิเดชัน และในปี 2006 Muruganandham *et al.* ได้ศึกษาแอดวานซ์ออกซิเดชันของการกำจัดสีสีย้อมรีแอกทีฟเฟลโล 14 โดยศึกษาการเปรียบเทียบของกระบวนการ UV/TiO₂ , UV/ H₂O₂, UV/ H₂O₂/Fe²⁺ พบว่าการเติม H₂O₂ ที่ปริมาณ

ความเข้มข้น 5-25 มิลลิโมล/ลิตร จะเพิ่มอัตราการย่อยสลายสีจาก 40.1 ไปเป็น 60.1% ที่เวลา 60 นาที และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 จนเกิน 25 มิลลิโมล/ลิตร อัตราการย่อยสลายสีจะลดลงจาก 60.1 ไปเป็น 59.2% ซึ่งอย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่เหมาะสมคือ 20 มิลลิโมล/ลิตร

Costa *et al.* (2004) ได้ศึกษาการย่อยสลายด้วยแสงสีข้อมฟ้าโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์หรือแสงยูวีพบว่า การกำจัดสีไบลบลูรามซอล และ สีผสมกัน ระหว่างบลูรามซอล กับเรดหรือเฮลโลโปรเซียลต้องใช้เวลา 3 ชั่วโมง กำจัดได้ 70% แต่ถ้าไม่มีไบลบลูรามซอลประสิทธิภาพของการกำจัดสีเรดหรือเฮลโลโปรเซียลจะเป็น 93% และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้อยกว่ารังสียูวี

Aleboye *et al.* (2005) ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่ควบคุมใน UV/ H_2O_2 ของการกำจัดสีแอซิดบลู 74 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมในการย่อยสลายสี คือ ค่าพีเอช ในช่วงระหว่าง 3.5-5.5 อัตราการย่อยสลายสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H_2O_2 ขึ้นเรื่อยๆจนถึง 0.05 โมลต่อลิตร เช่นเดียวกับ Modirshahla and Bennajady (2006) ที่ได้ศึกษาโฟโตออกซิเดชันในการย่อยสลายมาลาโคลกรีน (MG) โดยใช้กระบวนการ UV/ H_2O_2 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด MG นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H_2O_2 จนถึง 300 โมลต่อลิตร

Villanueva and Martinez (2007) ได้ศึกษาสีข้อมแอซิดออเรนจ์ 7 ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์รูปแบบแขวนลอยและเปอร์ซัลเฟตอออน ($S_2O_8^{2-}$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีซีโอดีและค่าพีเอช พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 85% จากความเข้มข้นของสี 0.20 มิลลิโมลาร์ ที่ค่าพีเอช 3 และเมื่อใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับเปอร์ซัลเฟตอออนจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 70%

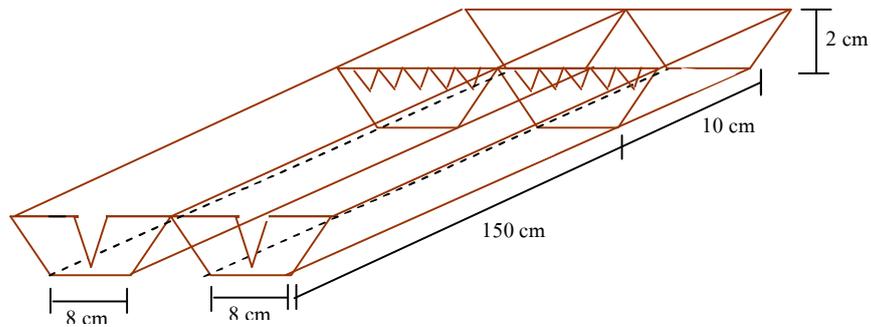
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน

1.1 รางปฏิกรณ์ (Reactor)

รางปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง แสดงดังภาพที่ 4 ทำจากแผ่นอะคริลิกใส หนา 0.4 มม. มีลักษณะเป็นราง 2 รางติดกัน (1 คู่) ทำจำนวน 8 ราง โดยในแต่ละรางมีขนาดกว้าง 8 ซม. ยาว 160 ซม. และลึก 2 ซม. โดยด้านบนของแผ่นกั้นน้ำจะมีลักษณะเป็นฟันปลา ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปิดไว้ด้วยฝาย (weir) ชนิดสามเหลี่ยมมุม 90 องศา (V-notch weir 90°)



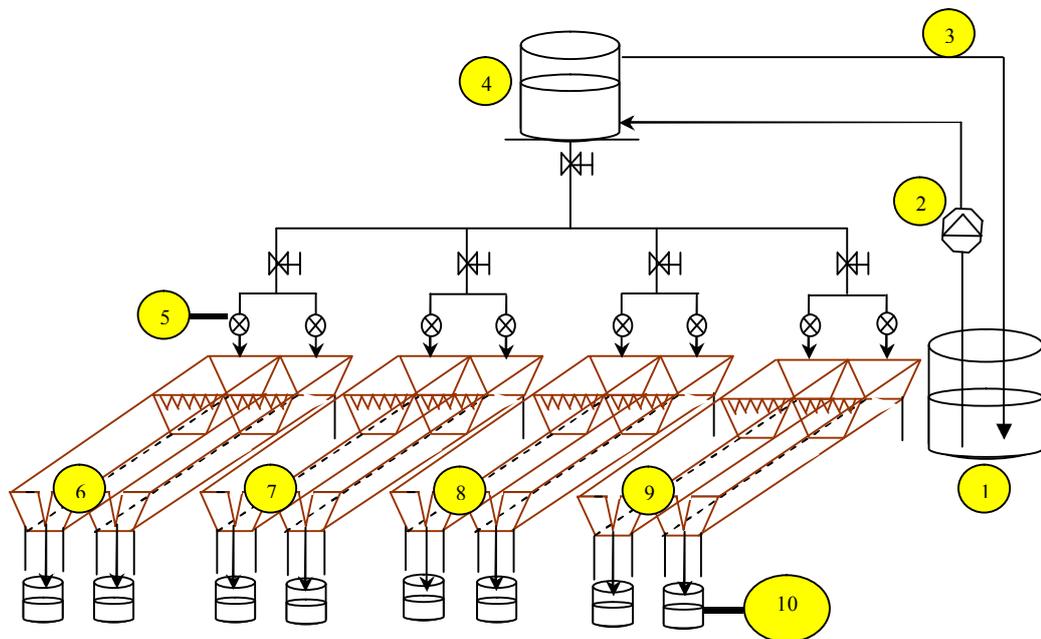
ภาพที่ 4 รางปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.2 แผ่นกระจกใส หนา 0.2 มม. ขนาดกว้าง 8 ซม. ยาว 30 ซม. โดยแผ่นกระจกนี้จะถูกนำไปวางในรางปฏิกรณ์ รางละ 5 แผ่น ซึ่งแผ่นกระจกที่ใช้ในการทดลองจะมีทั้งที่เป็นแผ่นกระจกใสเปล่า และแผ่นกระจกใสที่เคลือบด้วยผง TiO_2 (รายละเอียดการเคลือบกระจกจะกล่าวในหัวข้อต่อไป)

1.3 เครื่องสูบน้ำ (Pump)

1.4 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ขาดังเหล็ก สายยางซิลิโคน ถังน้ำพลาสติก ตัวปรับอัตราการไหลของน้ำ เป็นต้น

นำองค์ประกอบทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 5 และ 6 โดยน้ำเสียที่อยู่ในถังพักน้ำเข้า (Influent) จะถูกเครื่องสูบน้ำสูบขึ้นมาเข้าสู่ถังพักน้ำเสีย จากถังพักน้ำเสีย น้ำเสียจะถูกปล่อยลงในรางปฏิกรณ์ ที่ภายในบรรจุแผ่นกระจกใสและแผ่นกระจกใสเคลือบ TiO_2 โดยการปล่อยน้ำเสียนั้นจะควบคุมอัตราการไหลโดยตัวปรับอัตราการไหลของน้ำที่ติดตั้งไว้ที่ปลายสายยางซิลิโคนที่นำน้ำเสียเข้าสู่รางปฏิกรณ์ จากนั้นน้ำเสียที่ไหลผ่านรางปฏิกรณ์ก็จะออกมาเข้าสู่ถังพักน้ำออก (Effluent)



- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 ถังพักน้ำเข้า (Influent) | 5 ตัวปรับอัตราการไหล |
| 2 เครื่องสูบน้ำ (Pump) | 6,7 รางปฏิกรณ์ในที่สว่าง |
| 3 สายน้ำล้น | 8,9 รางปฏิกรณ์ในที่มืด |
| 4 ถังพักน้ำเสียก่อนเข้ารางปฏิกรณ์ | 10 ถังพักน้ำออก (Effluent) |

หมายเหตุ ภายในรางปฏิกรณ์ทั้งในที่มืดและที่สว่าง จะเป็นกระจกใส

เปล่า 1 ราง กระจกใสเคลือบ TiO_2 3 ราง

ภาพที่ 5 ชุดทดลองที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน



ภาพที่ 6 ชุดทดลองจริงที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน

2. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 827 pH lab Metrohm
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง max 250 g รุ่น TR-254 Denver Instrument
4. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง max 3100 g รุ่น MP 3000-Chyo
5. หลอดย่อย (Digestion Vassels) สำหรับทำซีไอดี
6. เตาอบ (Oven) รุ่น Fisher Scientific
7. เครื่องดูดสุญญากาศ (Vaccum pump) พร้อมขวดสุญญากาศ (ครุภัณฑ์ World Bank, ROER A008891) และชุดกรอง
8. เครื่องอ่างน้ำ (Water bath) รุ่น memmert
9. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) รุ่น Frozen

10. เครื่องที่ไอซี รุ่น TOC-5000A Total organic carbon analyzer SHIMADZU
11. เครื่องวัดสภาพน้ำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น ORION model 160
12. เครื่องวัดความเข้มแสง (UV-light meter) รุ่น UV-light meter model UV-340 ของบริษัทอินเวอร์ทรอน คอร์เปอเรชัน จำกัด ที่วัดความเข้มแสงในช่วงความยาวคลื่น 280-315 นาโนเมตร
13. เครื่องเติมอากาศ (Air pump) รุ่น ACO-9903
14. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Stirring hot plate) รุ่น Framo-Gerate technile M21/1 พร้อมแท่งกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Barr)
15. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
16. เครื่องจาร์เทส รุ่น Flocculater 5 SW STUART Scientific
17. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น double beam HR TACHr U-2800
18. โถทำแห้ง (Desicator) รุ่น COAX Group Corporation LTD Model 2T70

สารเคมี

1. ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 powder) ของบริษัท Ridel-Dettaem GmbH ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ขนาดอนุภาค 0.5-1.0 ไมครอน
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% (w/w) Analytical Reagent Grade UNIVAR Ajax Fine chem.
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น ของบริษัท J.T. Baker Analytical Reagent Grade

4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ของบริษัท Merck Analytical Reagent Grade

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำสังเคราะห์จากน้ำอัตรคมกระป๋องของ บริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน)
2. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัตรคมที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดของบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) โรงงานปทุมธานี

วิธีการ

1. การศึกษาคุณลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ของแข็ง ละลายน้ำทั้งหมด บีโอดี ซีโอดี และทีโอดี เพื่อดูคุณลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียก่อนทำการทดลอง

2. การศึกษาเบื้องต้น

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันในการบำบัดน้ำอัตรคม ทำการทดลองแบบแบตช์ (Batch) ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

2.1 การทดลองกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2)

ทดลองโดยใช้น้ำสังเคราะห์จากน้ำเป็ปซี่กระป๋องนำมาเจือจาง 25% 500 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร ในสภาวะที่ไม่มีการปรับพีเอช ($\text{pH} \approx 3$) และมีการปรับพีเอชให้เป็นพีเอช 12 ทดลองทั้งในที่มืดและที่สว่าง ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที

วัดความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองนำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า สี ทีโอซี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

2.2 การทดลองกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ H_2O_2)

วิธีการทดลองทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 โดยเปลี่ยนจากการเติม TiO_2 3 กรัม/ลิตร เป็นการเติม H_2O_2 20 มิลลิโมล/ลิตร

2.3 การทดลองกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2 / H_2O_2)

วิธีการทดลองทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 โดยเปลี่ยนจากการเติม TiO_2 3 กรัม/ลิตร เพียงอย่างเดียวเป็นการเติม TiO_2 3 กรัม/ลิตร ร่วมกับ H_2O_2 20 มิลลิโมล/ลิตร

สรุปแผนการทดลองของการศึกษาเบื้องต้น แสดงดังตารางที่ 6 และภาพที่ 7

3. การทดลองเพื่อศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน

ทำการทดลองแบบแบตช์ (Batch) ใช้ตัวอย่างน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง และทดลองทั้งในที่มืดและที่สว่าง การทดลองมีดังนี้

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยา

การทดลองใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ปริมาณ TiO_2 1.5 กรัม/ลิตร ที่ค่าพีเอชที่มีค่าแปรผันคือ พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12 ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที วัดความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ซีไอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา

การทดลองใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชตามที่ได้จากข้อ 3.1 ที่ ปริมาณ TiO_2 ที่มีค่าแปรผัน คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที วัดความเข้ม แสงอาทิตย์และอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง นำตัวอย่างน้ำเสียมา วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ซีไอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ตารางที่ 6 แผนการทดลองของการศึกษาเบื้องต้น

การทดลอง	สภาวะ	ค่าแปรผัน	ตัวเร่งปฏิกิริยา
UV/ TiO_2	มืด	ไม่ปรับพีเอช/ปรับพีเอช 12	ไม่เติม (ชุดควบคุม) TiO_2 3 g/l
	สว่าง	ไม่ปรับพีเอช/ปรับพีเอช 12	ไม่เติม (ชุดควบคุม) TiO_2 3 g/l
UV/ H_2O_2	มืด	ไม่ปรับพีเอช/ปรับพีเอช 12	ไม่เติม (ชุดควบคุม) H_2O_2 20 mmol/l
	สว่าง	ไม่ปรับพีเอช/ปรับพีเอช 12	ไม่เติม (ชุดควบคุม) H_2O_2 20 mmol/l
UV/ TiO_2 / H_2O_2	มืด	ไม่ปรับพีเอช/ปรับพีเอช 12	ไม่เติม (ชุดควบคุม) TiO_2 3 g/l+ H_2O_2 20 mmol/l
	สว่าง	ไม่ปรับพีเอช/ปรับพีเอช 12	ไม่เติม (ชุดควบคุม) TiO_2 3 g/l+ H_2O_2 20 mmol/l

หมายเหตุ ในการทดลองใช้น้ำตั้งเคราะห์ ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และใช้แสงอาทิตย์เป็น แหล่งกำเนิดแสงทำการทดลอง 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 แผนการทดลองการศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา

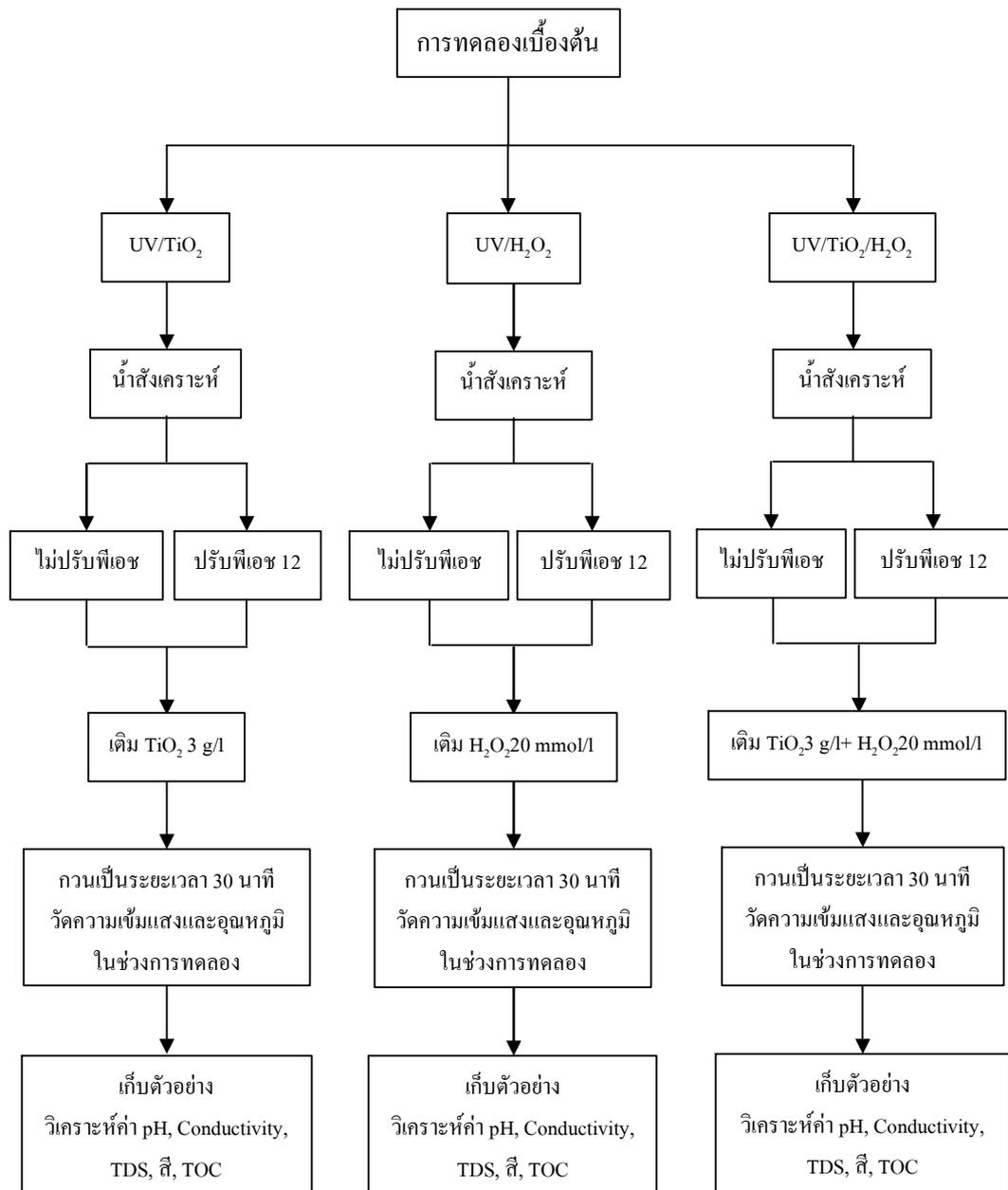
การทดลอง	กำหนดค่าแปรผัน	ช่วงค่าแปรผัน	กำหนดค่าคงที่
ผลของค่าพีเอช	ค่าพีเอช	3, 5, 7, 9 และ 12	ปริมาณ TiO_2 1.5 g/l
ผลของปริมาณ TiO_2	ปริมาณ TiO_2	1, 2, 3, 4 และ 5 g/l	ค่าพีเอชที่ได้จาก ขั้นที่ 3.1
ผลของปริมาณความ เข้มข้น H_2O_2	ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2	5, 10, 15, 20 และ 25 mmol/l	ค่าพีเอชและปริมาณ TiO_2 ที่ได้จากขั้นที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

หมายเหตุ ในการทดลองได้ทำชุดควบคุม (ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ปรับพีเอช) ทั้งในที่มืดและที่สว่าง ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และใช้แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำการทดลอง 3 ชั่วโมง

3.3 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา

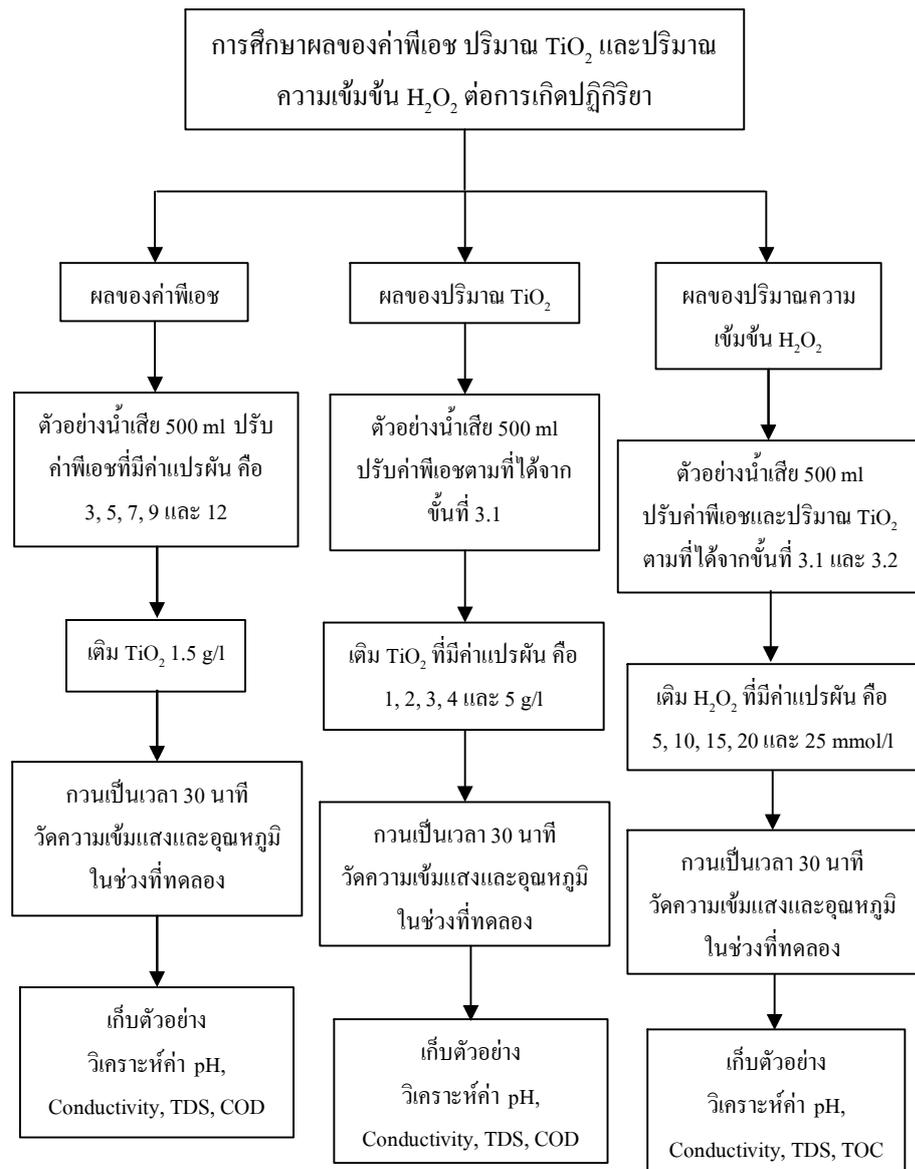
การทดลองใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชและปริมาณ TiO_2 ตามที่ได้จากข้อ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ ที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ที่มีค่าแปรผัน คือ 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที วัดความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทีโอซี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

สรุปแผนการทดลองการศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา แสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทดลองในการทดลองเบื้องต้น

หมายเหตุ การทดลองได้ทำชุดควบคุม (ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ปรับพีเอช) ทั้งในที่มืดและที่สว่าง และใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

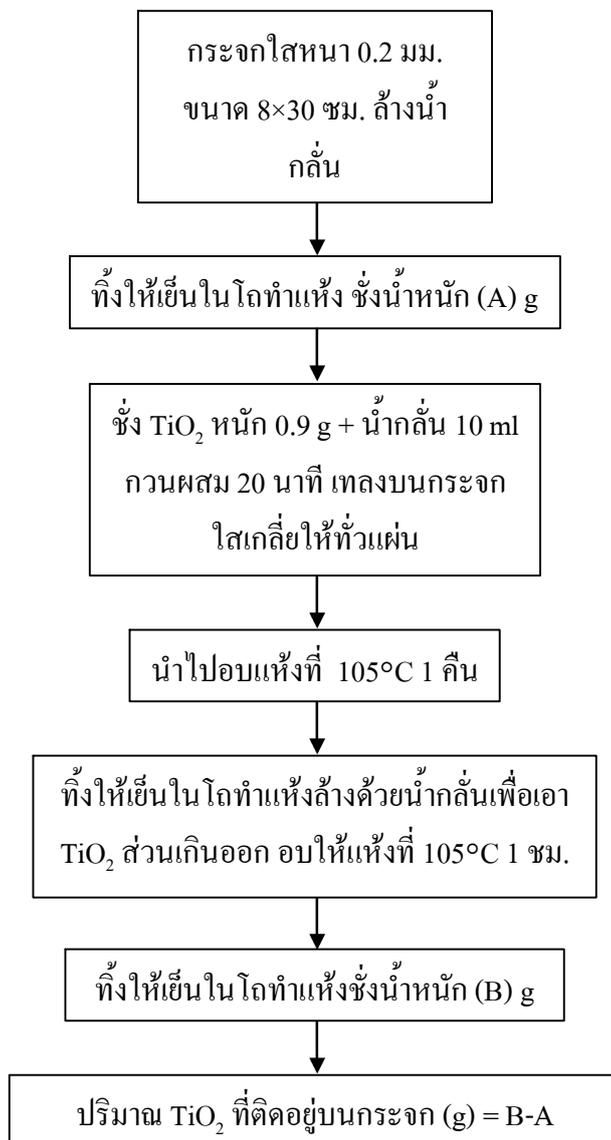


ภาพที่ 8 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา

หมายเหตุ ในการทดลองได้ทำ ชุดควบคุม (ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ปรับพีเอช) ทั้งในที่มืดและที่สว่าง ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และใช้แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. การศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2) และที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$)

4.1 การเตรียมแผ่นกระจกเคลือบ TiO_2 แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจกเคลือบ TiO_2
หมายเหตุ ปริมาณ TiO_2 ที่ใช้มาจากในขั้นตอนที่ 3.2

4.2 การทดลองกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2)

ทำการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง โดยที่ตรงตัวเร่งปฏิกิริยา คือ TiO_2 ใบบนแผ่นกระจกใส ใช้น้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด มีค่าอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 3.33×10^{-7} ลูกบาศก์เมตร/วินาที โดยอัตราการไหลวัดโดยใช้กระบอกตวงเก็บน้ำเสีย 10 มิลลิลิตรในเวลา 30 วินาที ที่ค่าพีเอชจากข้อ 3.1 ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำการทดลองทั้งในที่มืดและที่สว่าง ทำการวัดความเข้มแสงและอุณหภูมิในช่วงที่ทำการทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทีโอซี และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

แผนการทดลองแสดงดังตารางที่ 8

4.3 การทดลองกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.2 แต่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ H_2O_2 เพิ่มลงไปในการทดลอง ซึ่งปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ที่ใช้มาจากในขั้นตอนที่ 3.3

แผนการทดลอง แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 10

5. พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ดังนี้

- 5.1 พีเอช (pH)
- 5.2 สภาพนำไฟฟ้า (conductivity)
- 5.3 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)
- 5.4 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)
- 5.5 ทีโอซี (Total Organic Carbon, TOC)
- 5.6 สี (color) สืบได้จากค่าดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่น 312 นาโนเมตร
- 5.7 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS)

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 แผนการทดลองกระบวนการ UV/TiO₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

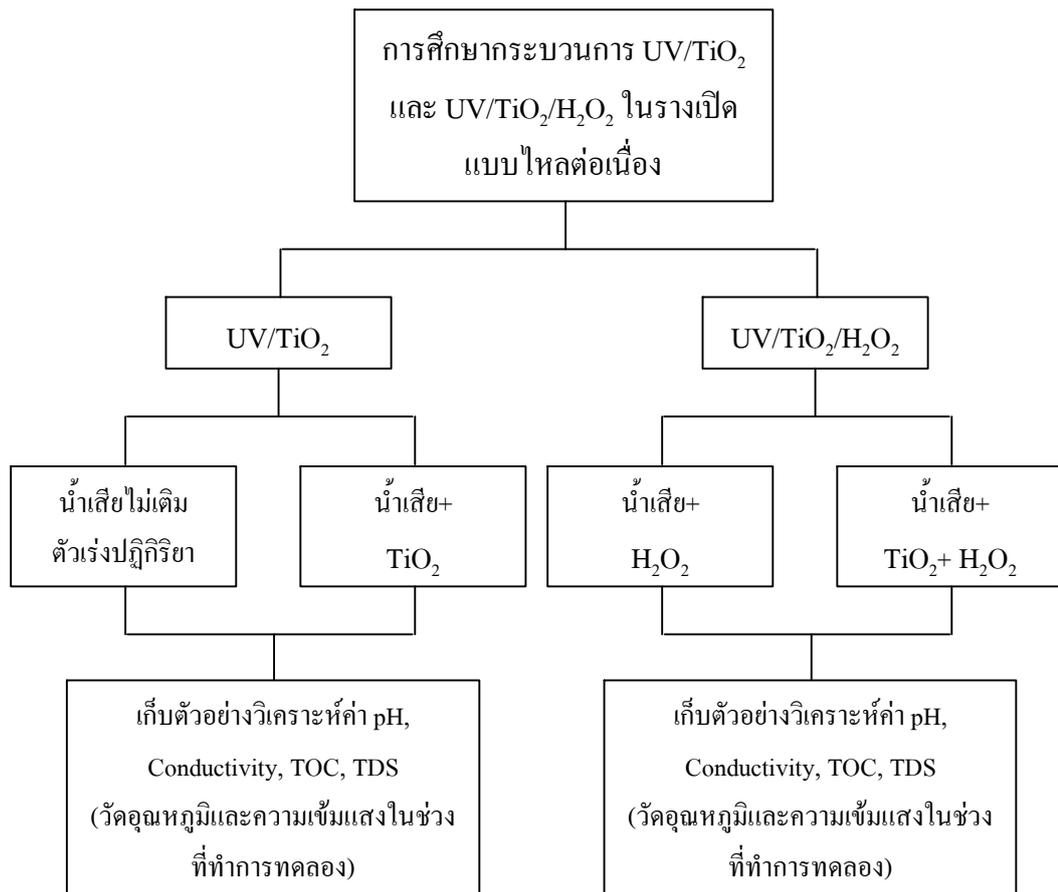
การทดลอง	สภาวะ	รูปแบบการทดลอง
UV/TiO ₂	ที่มีด	ตัวอย่างน้ำเสียไม่มี TiO ₂
		ตัวอย่างน้ำเสีย+ TiO ₂
	ที่สว่าง	ตัวอย่างน้ำเสียไม่มี TiO ₂
		ตัวอย่างน้ำเสีย+ TiO ₂
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂	ที่มีด	ตัวอย่างน้ำเสีย+ H ₂ O ₂
		ตัวอย่างน้ำเสีย+ TiO ₂ + H ₂ O ₂
	ที่สว่าง	ตัวอย่างน้ำเสีย+ H ₂ O ₂
		ตัวอย่างน้ำเสีย+ TiO ₂ + H ₂ O ₂

หมายเหตุ ทดลองที่อัตราการไหลเท่ากับ 3.33×10^{-7} ลูกบาศก์เมตร/วินาที ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงทำการทดลอง 9 ชั่วโมง

ตารางที่ 9 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์และการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

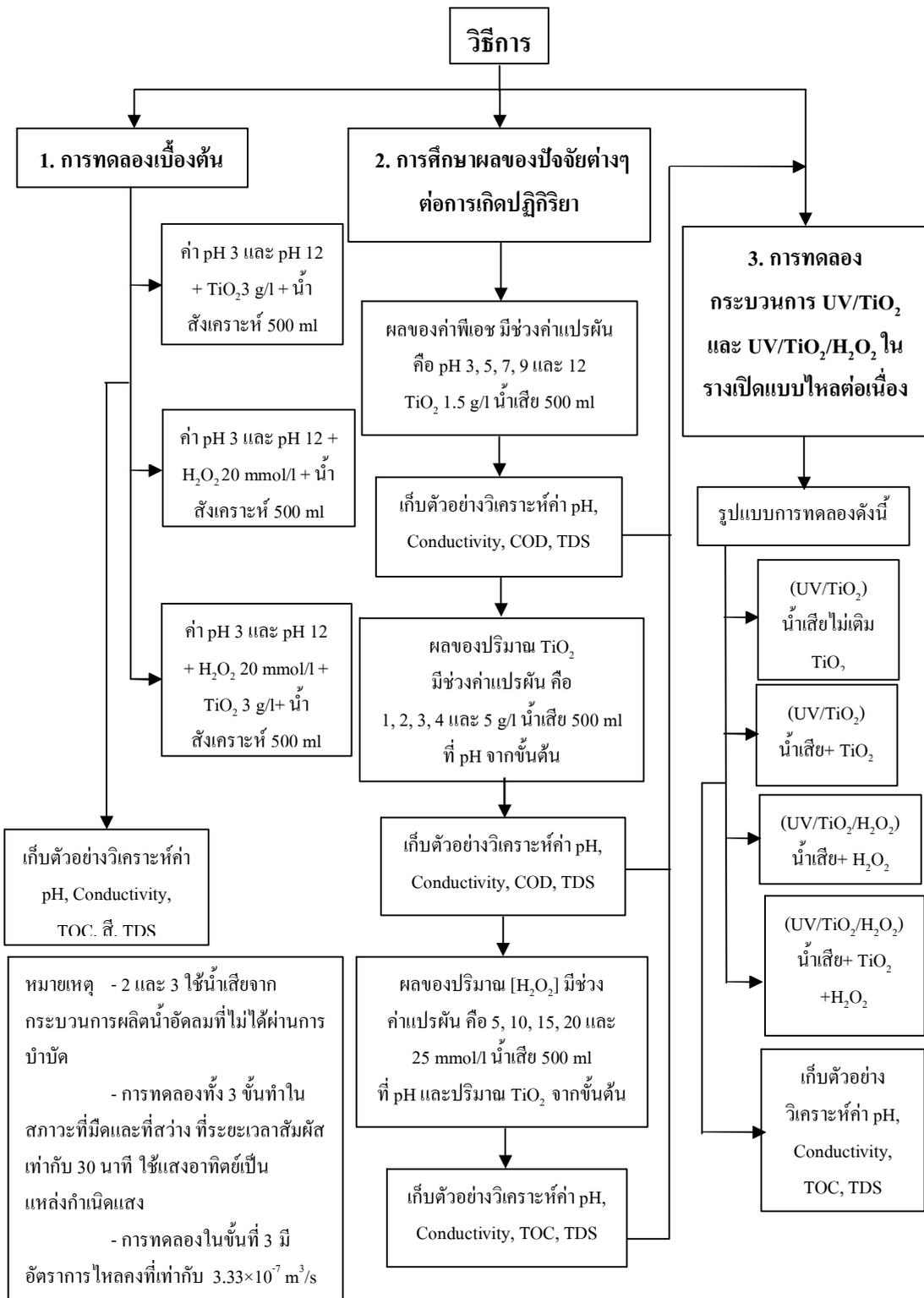
พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	วิธีเก็บรักษาตัวอย่าง
พีเอช	pH meter	วัดทันทีที่จุดเก็บ
สภาพนำไฟฟ้า	Conductivity meter	วัดทันทีที่จุดเก็บ
ทีโอซี	เครื่อง TOC	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C
ซีโอดี	วิธีฟลักซ์ปิด แบบไตเตรชัน	เก็บในขวดแก้วรับ pH < 2 แช่เย็น
บีโอดี	วิธีวิเคราะห์แบบเจือจาง	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C
สี	เครื่อง spectrophotometer	ทำการวิเคราะห์โดยเร็ว
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	GF/C filtration and drying at 105°C	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C

วิธีการวิเคราะห์จะใช้ตามคู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของมนัสิน ดัชนีเวสสัน (2543)



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการทดลองกระบวนการ UV/TiO₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂
ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

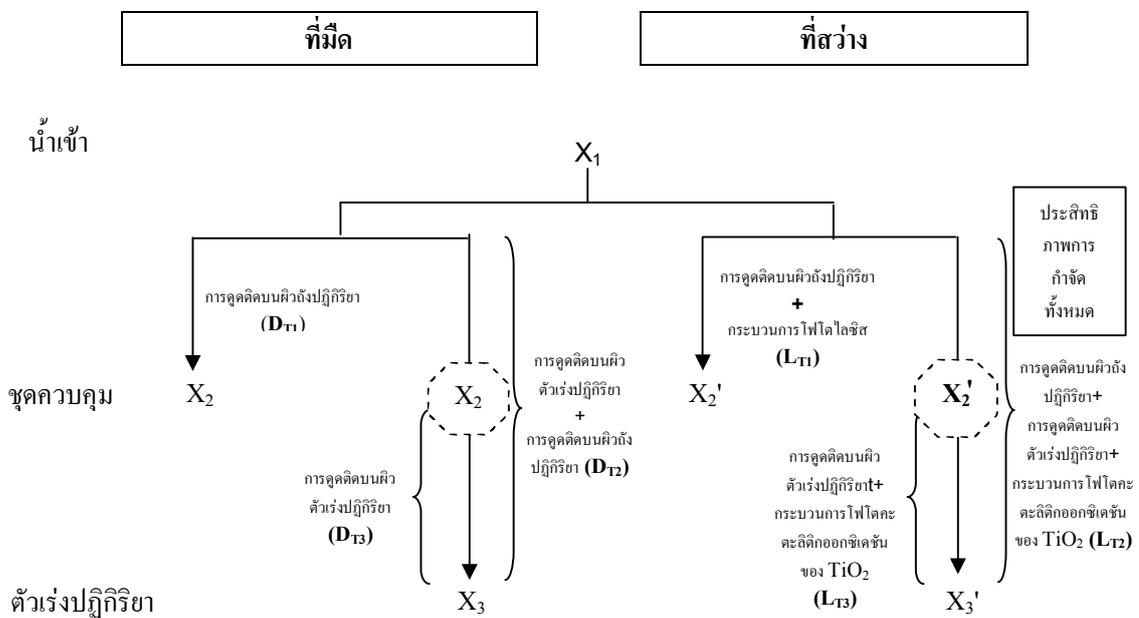
วิธีการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แผนผังแสดงวิธีการทดลองทั้ง 3 การทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูล ความเข้มข้นของสี ซีไอดี และทีไอซี ที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะต้องนำค่าที่ได้มาปรับค่าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่แท้จริง โดยคำนวณจากร้อยละการระเหยของน้ำในแต่ละชุดควบคุม เนื่องจากการระเหยของน้ำจากอุณหภูมิ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด ทีไอซีเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากประสิทธิภาพที่แท้จริง ดังนั้นต้องนำการระเหยของน้ำไปปรับเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริง (Chan *et al.*, 2003) ซึ่งขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพที่แท้จริง แสดงดังภาพที่ 12 13 14 และ 15 โดยที่ในการทดลองเบื้องต้นใช้ขั้นตอนการคำนวณดังภาพที่ 12 13 และ 15 การทดลองการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการเกิดปฏิกิริยาใช้ขั้นตอนการคำนวณดังภาพที่ 12 และ 15 ส่วนการทดลองในร่างเปิดแบบไหลต่อเนื่องใช้ขั้นตอนการคำนวณดังภาพที่ 12 และ 14



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสังเคราะห์และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำตาลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิสต์ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยให้

X_1 = ความเข้มข้นของซีไอดี, ทีไอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น

X_2 = ความเข้มข้นของซีไอดี, ทีไอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่มืด

X_3 = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 ในที่มีด

D_{T1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาในที่มีด

$$= \left(\frac{X_1 - X_2}{X_1} \right) \times 100\%$$

D_{T2} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและการดูดซับตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีด

$$= \left(\frac{X_1 - X_3}{X_1} \right) \times 100\%$$

D_{T3} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวในที่มีด

$$= D_{T2} - D_{T1}$$

X_2' = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A%

$$= X_{2L} \times (1 - A\%)$$

X_3' = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 ในที่สว่างที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A%

$$= X_{3L} \times (1 - A\%)$$

X_{2L} = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A%

X_{3L} = ความเข้มข้นของซีโอดี, ทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย A%

A% = ร้อยละการระเหย

$$= \left(\frac{TDS_{XL} - 1}{TDS_{X0}} \right) \times 100\%$$

TDS_{XL} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.)

TDS_{X0} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.)

L_{T1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนถึงปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิสในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= \left(\frac{X_1 - X_2'}{X_1} \right) \times 100\%$$

L_{T2} = ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= \left(\frac{X_1 - X_3}{X_1} \right) \times 100\%$$

L_{T3} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา และกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

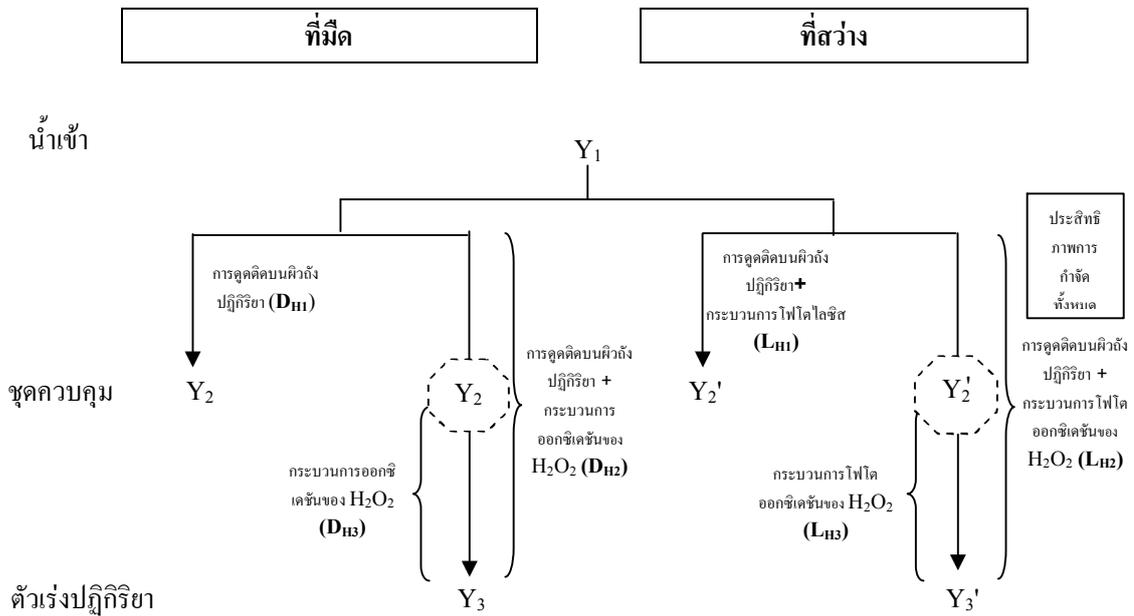
$$= L_{T2} - L_{T1}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 เพียงอย่างเดียว (P_{TiO_2}) จะได้จาก

$$L_{T2} - D_{T2}$$

หรือ

$$L_{T2} - D_{T3} \text{ (กรณีที่มีค่า } D_{T1} \text{ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์)}$$



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสังเคราะห์ โดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยให้

Y_1 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น

Y_2 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่มืด

Y_3 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม H_2O_2 ในที่มืด

D_{H1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาในที่มืด

$$= \left(\frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \right) \times 100\%$$

D_{H2} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ

$$H_2O_2 \text{ ในที่มืด}$$

$$= \left(\frac{Y_1 - Y_3}{Y_1} \right) \times 100\%$$

D_{H3} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่มืด

$$= D_{H2} - D_{H1}$$

Y_2' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่า

ด้วยร้อยละการระเหย B%

$$= Y_{2L} \times (1 - B\%)$$

Y_3' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ปรับ

ค่าด้วยร้อยละการระเหย B%

$$= Y_{3L} \times (1 - B\%)$$

Y_{2L} = ความเข้มข้นทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่า

ด้วยร้อยละการระเหย B%

Y_{3L} = ความเข้มข้นทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับ

ค่าด้วยร้อยละการระเหย B%

$B\%$ = ร้อยละการระเหย

$$= \left(\frac{TDS_{Y_{L-1}}}{TDS_{Y_0}} \right) \times 100\%$$

TDS_{Y_L} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.)

TDS_{Y_0} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.)

L_{H1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิสในที่

สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= \left(\frac{Y_1 - Y_2'}{Y_1} \right) \times 100\%$$

Z_1 = ความเข้มข้นของทีโอซีเริ่มต้น (มก./ล.)

Z_2 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ของชุดควบคุมในที่มืด

Z_3 = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่มืด

D'_{TH1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดติดบนผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ

$$= \left(\frac{\text{H}_2\text{O}_2 \text{ ในที่มืด}}{Z_1 - Z_2} \right) \times 100\%$$

D'_{TH2} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดติดบนผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดติดบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและ

$$= \left(\frac{\text{กระบวนการออกซิเดชันของ H}_2\text{O}_2 \text{ ในที่มืด}}{Z_1 - Z_3} \right) \times 100\%$$

D'_{TH3} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดติดบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวในที่มืด

$$= D'_{\text{TH2}} - D'_{\text{TH1}}$$

Z_2' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย C%

$$= Z_{2L} \times (1 - C\%)$$

Z_3' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละ

การระเหย C%

$$= Z_{3L} \times (1 - C\%)$$

Z_{2L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการ

ระเหย C%

Z_{3L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) ที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วย

ร้อยละการระเหย C%

$C\%$ = ร้อยละการระเหย

$$= \left(\frac{\text{TDS}_{ZL-1}}{\text{TDS}_{Z0}} \right) \times 100\%$$

TDS_{ZL} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.)

TDS_{Z0} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.)

L'_{TH1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดติดบนผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน

ของ H_2O_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= \left(\frac{Z_1 - Z_2'}{Z_1} \right) \times 100\%$$

$$L'_{TH2} = \text{ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมดจากการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดซับบนผิวตัวเร่ง} \\ \text{ปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO}_2 \text{ และ H}_2\text{O}_2 \text{ ในที่สว่าง (ที่ปรับ} \\ \text{ค่าด้วยร้อยละการระเหย)} \\ = \left(\frac{Z_1 - Z_3'}{Z_1} \right) \times 100\%$$

$$L'_{TH3} = \text{ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติก} \\ \text{ออกซิเดชันของ TiO}_2 \text{ ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)} \\ = L'_{TH2} - L'_{TH1}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว ($P'_{\text{H}_2\text{O}_2}$) ได้จาก

$$L'_{TH1} - D'_{TH1}$$

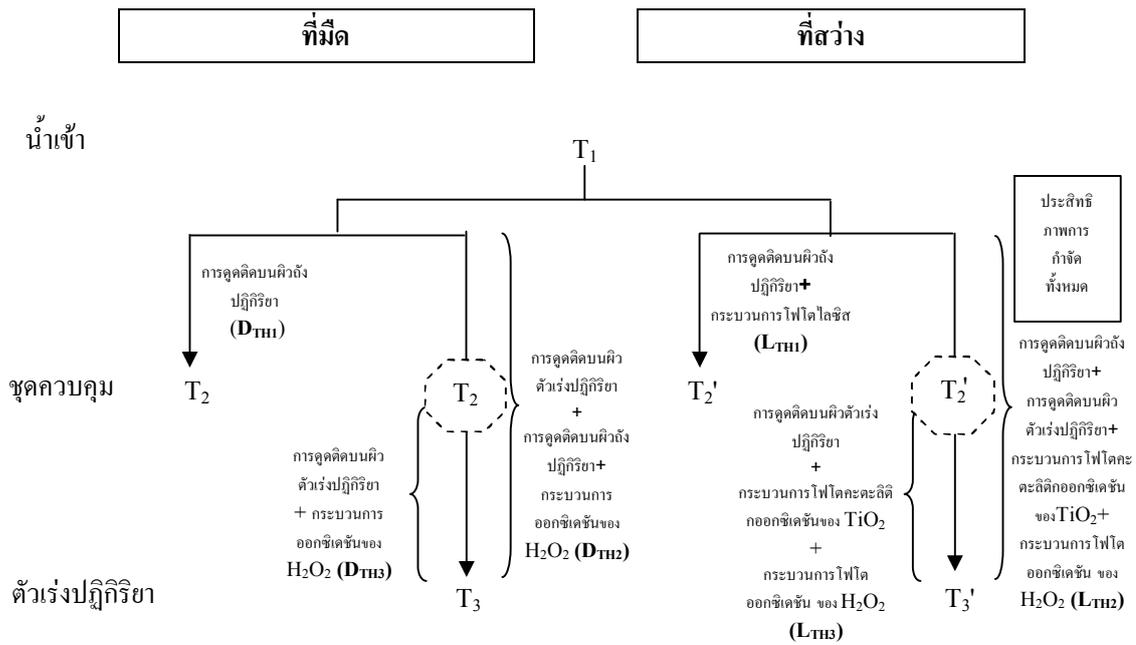
ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และ H_2O_2

($P'_{\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2}$) ได้จาก

$$L'_{TH2} - D'_{TH2}$$

และ ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 เพียงอย่าง
เดียว (P'_{TiO_2}) ได้จาก

$$L'_{TH3} - D'_{TH3}$$



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสังเคราะห์และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ และ H₂O₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยให้

T₁ = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น

T₂ = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่มืด

T₃ = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO₂ และ H₂O₂ ในที่มืด

D_{TH1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับผิวถึงปฏิกิริยาในที่มืด

$$= \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100\%$$

D_{TH2} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับผิวถึงปฏิกิริยา, การดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H₂O₂ ในที่มืด

$$= \left(\frac{T_1 - T_3}{T_1} \right) \times 100\%$$

D_{TH3} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H₂O₂ ในที่มืด

$$= D_{TH2} - D_{TH1}$$

T_2' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D%

$$= T_{2L} \times (1-D\%)$$

T_3' = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D%

$$= T_{3L} \times (1-D\%)$$

T_{2L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D%

T_{3L} = ความเข้มข้นของทีโอซี (มก./ล.) และค่าการดูดกลืนแสงที่มีการเติม TiO_2 และ H_2O_2 ในที่สว่าง ที่ไม่ได้ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย D%

$D\%$ = ร้อยละการระเหย

$$= \left(\frac{TDS_{TL-1}}{TDS_{T0}} \right) \times 100\%$$

TDS_{TL} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง (มก./ล.)

TDS_{T0} = ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเริ่มต้นในที่สว่าง (มก./ล.)

L_{TH1} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดติดบนผิวถังปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิสในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= \left(\frac{T_1 - T_2'}{T_1} \right) \times 100\%$$

L_{TH2} = ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมดจากการดูดติดบนผิวถังปฏิกิริยา, การดูดติดบนผิวดังรูปปฏิกิริยา, กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= \left(\frac{T_1 - T_3'}{T_1} \right) \times 100\%$$

L_{TH3} = ประสิทธิภาพการกำจัดจากการดูดติดบนผิวดังรูปปฏิกิริยา, กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ในที่สว่าง (ที่ปรับค่าด้วยร้อยละการระเหย)

$$= L_{TH2} - L_{TH1}$$

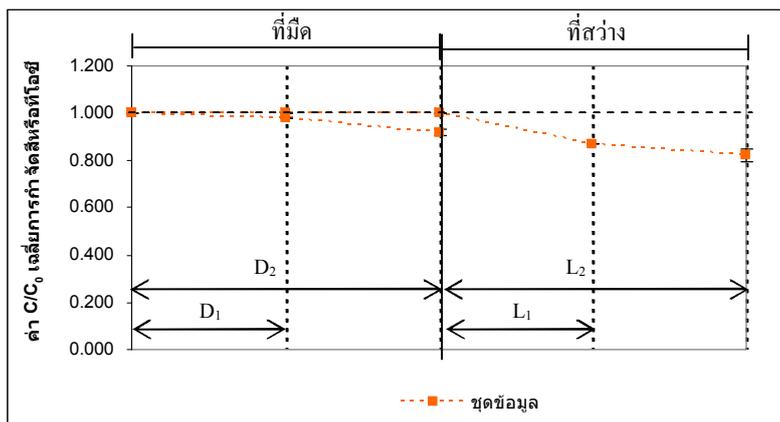
ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ($P_{\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2}$) ได้จาก

$$L_{\text{TH}2} - D_{\text{TH}2}$$

และ

$$L_{\text{TH}3} - D_{\text{TH}3}$$

6.2 การอ่านข้อมูลจากภาพแสดงค่า C/C_0 ของการกำจัดสีและทีโอซี



ภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพค่า C/C_0 ของการกำจัดสีหรือทีโอซี

จากภาพที่ 16 ในแนวแกน X ในช่วงของสัญลักษณ์ D_1 จะเป็นค่า C/C_0 ของชุดควบคุมในที่มืด ในช่วงของสัญลักษณ์ D_2 จะเป็นค่า C/C_0 ของตัวอย่างน้ำที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืด ในช่วงของสัญลักษณ์ L_1 จะเป็นค่า C/C_0 ของชุดควบคุมในที่สว่าง ในช่วงของสัญลักษณ์ L_2 จะเป็นค่า C/C_0 ของตัวอย่างน้ำที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่าง โดยที่เส้นประที่เชื่อมระหว่างจุดนั้นไม่ได้หมายถึงการเชื่อมต่อของข้อมูล แต่เป็นเพียงเส้นที่ลากเพื่อให้การดูข้อมูลหรือการดูเปรียบเทียบค่าในแต่ละจุดนั้นดูได้ง่ายขึ้น

สถานที่ทำการวิจัยและระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 2 และชั้นดาดฟ้าอาคารห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 1 ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาที่ทำการวิจัยเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2549 ถึงเดือนมีนาคม 2551

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง เพื่อประเมินศักยภาพของระบบในการนำไปประยุกต์ใช้จริง
2. ข้อมูลของผลของปัจจัยต่อกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 เพื่อนำผลของปัจจัยเหล่านี้ ไปปรับปรุงใช้หรือเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย

แหล่งทุนสนับสนุน

ทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี พ.ศ. 2549

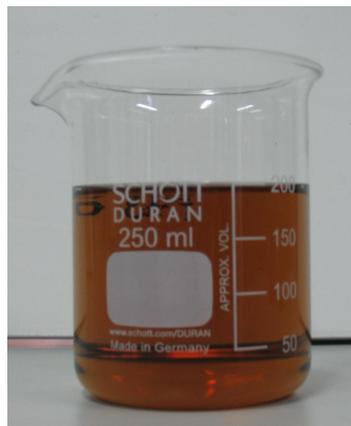
ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาเบื้องต้น

ในการศึกษาเบื้องต้นเป็นการศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มีการใช้ TiO_2 , H_2O_2 และ TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองแบบแบตช์ โดยใช้น้ำสังเคราะห์ในสถานะที่ไม่มีการปรับพีเอช (ค่าพีเอชประมาณ 3) และปรับพีเอชให้เป็นพีเอช 12 ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที โดยใช้ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร และปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 20 มิลลิโมล/ลิตร

1.1 ลักษณะของน้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำสังเคราะห์ที่ได้จากการนำน้ำเป็ซึ่งระปองมาเจือจาง 25% ลักษณะของน้ำสังเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 17 และผลการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 10



ภาพที่ 17 ลักษณะของน้ำสังเคราะห์จากน้ำเป็ซึ่งระปอง

ตารางที่ 10 สรุปน้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้		
	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย±SD (N)
พีเอช	3.10	3.03	3.08±0.04(3)
ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)	380.00	309.00	353.00±38.43(3)
สี	2.059	1.772	1.868±0.17(3)
ทีโอซี (มก./ล.)	41653.33	36596.36	38282.02±2919.64(3)
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	125376.00	120544.00	122154.67±2789.76(3)

หมายเหตุ N คือจำนวนซ้ำที่ทำการทดลอง

จากภาพที่ 17 และตารางที่ 10 พบว่าน้ำสังเคราะห์มีลักษณะสีน้ำตาล ใส ไม่มีตะกอนแขวนลอย มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 3.08 ค่าสภาพนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 353.00 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร สีเฉลี่ยเท่ากับ 1.868 ค่าทีโอซีเฉลี่ยเท่ากับ 38282.02 มก./ล. และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 122154.67 มก./ล. ซึ่งจะเห็นว่าน้ำสังเคราะห์มีพีเอชอยู่ในสภาวะที่เป็นกรด เนื่องจาก ส่วนประกอบของน้ำอัดลมจะประกอบด้วยกรดคาร์บอนิก กรดฟอสฟอริก และสารเพิ่มความเป็นกรดต่างๆ เช่น กรดมาริก กรดทาทาร์ริก และสีที่ได้จากสีของคาราเมล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีสารให้ความหวาน เช่นน้ำตาล และสารอินทรีย์อื่นๆอยู่มาก จึงทำให้ค่าทีโอซีและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูง

1.2 การศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2)

1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์ก่อนและหลังผ่านกระบวนการ UV/ TiO_2 สามารถสรุปดังตารางที่ 11 พบว่าสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชทั้งในที่มืดและที่สว่าง ค่าพีเอชไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อปรับพีเอช 12 ทั้งในที่มืดและที่สว่างค่าพีเอชเกิดการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรด

ต่างๆ ซึ่งหลักๆ จะได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มาจากการออกซิไดซ์พวกคาร์บอน (Mozia *et al.*, 2007) จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง

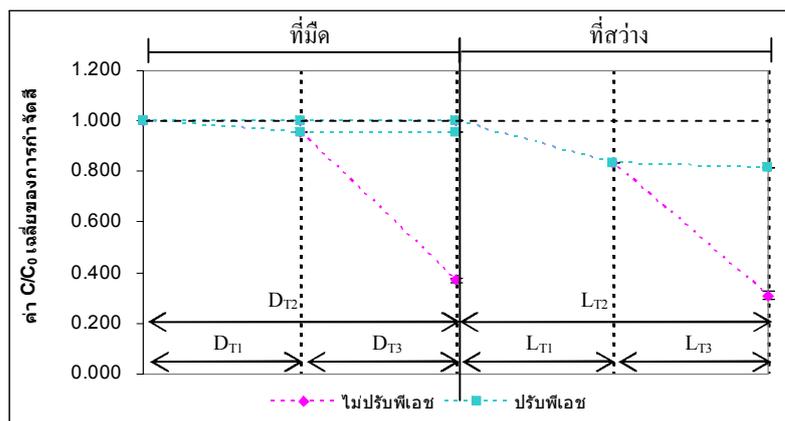
1.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและทีโอซีที่แท้จริง (Chan *et al.*, 2003) เนื่องจากการระเหยของน้ำส่งผลให้สีและทีโอซี มีความเข้มข้นมากกว่าปกติ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนกว่าค่าสภาพน้ำไฟฟ้า ดังนั้นจากตารางที่ 12 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่างจะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่มืด จึงทำให้ร้อยละการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าในที่มืด โดยร้อยละการระเหยของน้ำในที่มืดของชุดควบคุมเท่ากับ 0.00 % และในที่สว่างของชุดควบคุมเท่ากับ 7.34%

1.2.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสี

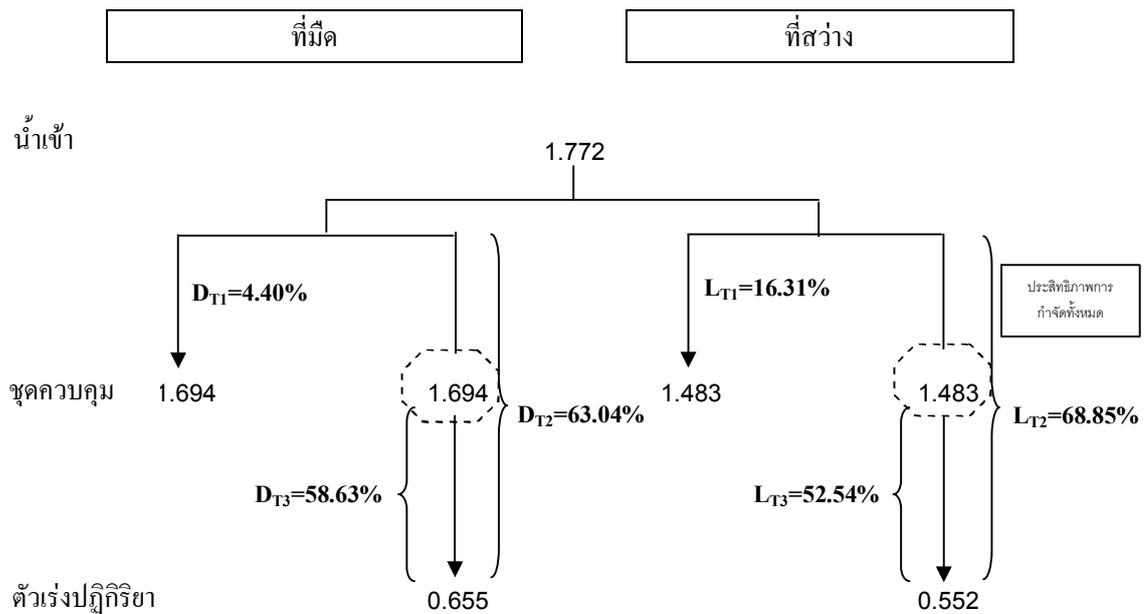
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสี แสดงดังภาพที่ 18, 19 และ 20 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีในที่มืดสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีค่า C/C_0 เฉลี่ยของการกำจัดสีเท่ากับ 0.369 และ 0.954 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 63.04% และ 4.57% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดสีในที่สว่างสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีค่า C/C_0 เฉลี่ยของการกำจัดสีเท่ากับ 0.311 และ 0.812 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 68.85% และ 18.79% ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสี แสดงดังภาพที่ 19 และ 20 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มืดกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช) มาจากการดูดติดบนผิวของถังปฏิกิริยา (D_{T1}) ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 4.40% แสดงว่าเกิดการดูดติดบนผิวถังปฏิกิริยาน้อยมากจึงสามารถตัดปัจจัยด้านการดูดซับของถังปฏิกิริยาได้ เมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นจะมาจาก การดูดติดบนตัวเร่งปฏิกิริยาและการดูดซับบนถังปฏิกิริยา (D_{T2}) ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 63.04% และ 4.57% ตามลำดับ



ภาพที่ 18 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (TiO_2 3 g/l, $I= 220\text{-}390 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=40^\circ\text{C}$ และ $t=30$ min)

จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D_{T2} มาลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของการดูดซับบนถังปฏิกิริยาจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว (D_{T3}) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 58.63% และ 0.19% ตามลำดับ ส่วนในที่สว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช) จะมาจากการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิส (L_{T1}) เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 16.31% ดังนั้นเมื่อดูจากชุดควบคุมในที่มืด แสดงว่ากระบวนการโฟโตไลซิสมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 11.91% และเมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากการดูดซับบนถังปฏิกิริยา การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา และกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ซึ่งก็คือประสิทธิภาพการกำจัดรวมของกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด (L_{T2}) โดยในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 68.85% และ 18.79% ตามลำดับ เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการ L_{T2} มาลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{T1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยา และกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน (L_{T3}) ซึ่งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 52.54% และ 2.48% ตามลำดับ และเมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L_{T2} และ D_{T2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช

(TiO_2 3 g/l, $I=220-390 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=40^\circ\text{C}$ และ $t=30$ min)

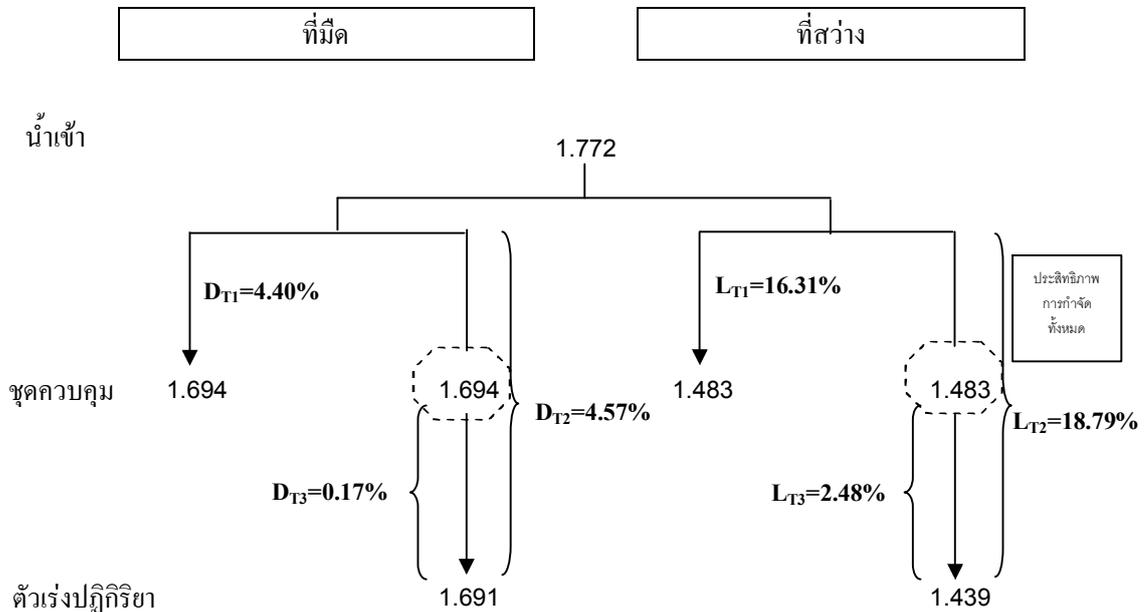
หมายเหตุ ชุดความคม คือ น้ำสังเคราะห์ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช

ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 5.81% และ 14.22% ตามลำดับ จากกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด จะเห็นว่าในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชกระบวนการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีกว่ากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ส่วนสถานะที่ปรับพีเอชกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าการดูดติดผิว

1.2.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซี

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซี แสดงดังภาพที่ 21, 22 และ 23 พบว่า ในที่มีดประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีทั้งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีค่า C/C_0 เหลือของการกำจัดที่ไอซีเท่ากับ 0.94 และ 0.98 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 5.53% และ 2.41% ตามลำดับและในที่สว่างประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีทั้งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับ

พีเอชมีค่า C/C_0 เฉลี่ยของการกำจัดที่ไอซีเท่ากับ 0.80 และ 0.84 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 20.21% และ 16.03%ตามลำดับ

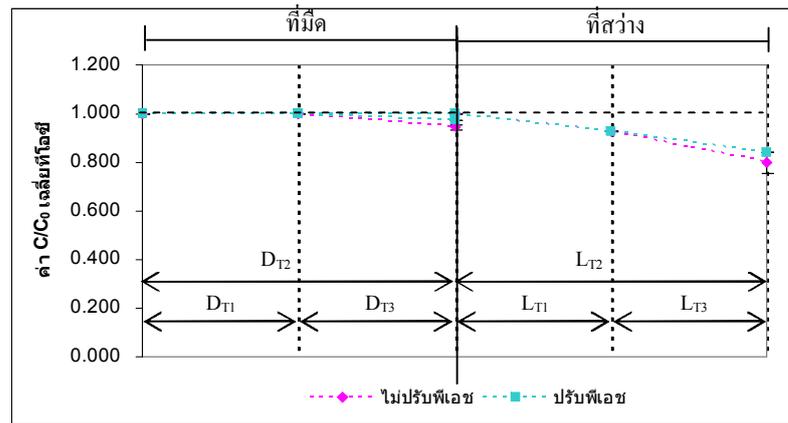


ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช

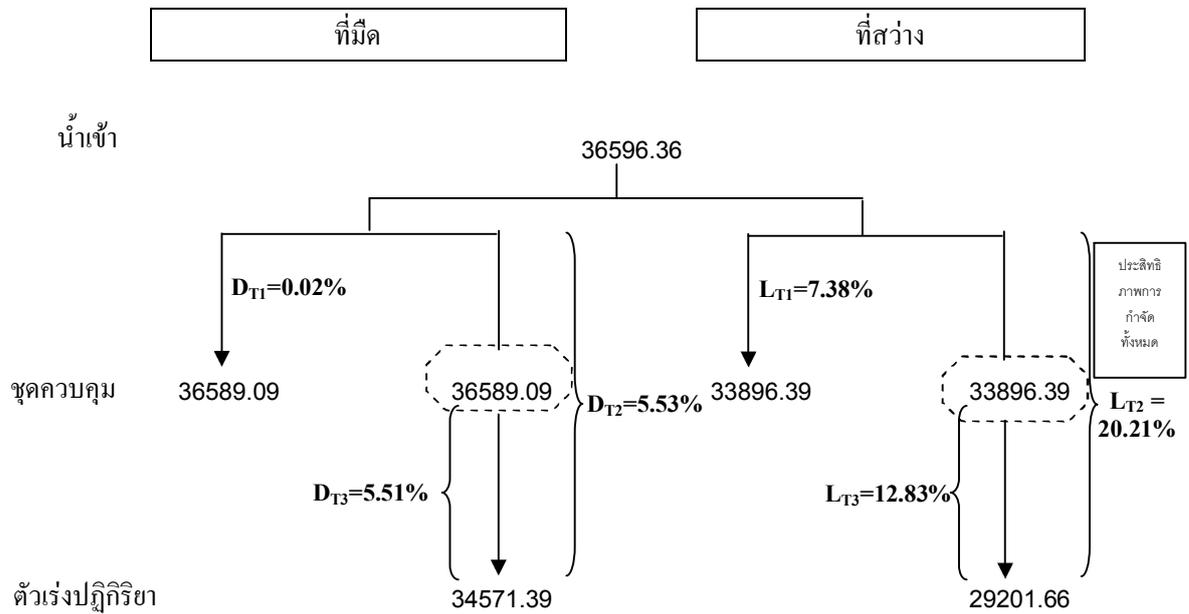
(TiO_2 3 g/l, $I=220-390 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T=40^\circ C$ และ $t=30$ min)

หมายเหตุ ชดควบคุม คือ น้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซี แสดงดังภาพที่ 22 และ 23 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มืดกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช) มาจากกระบวนการ D_{T1} เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 0.02% แสดงว่าเกิดการดูดติดบนผิวถึงปฏิกิริยาน้อยมากจึงสามารถตัดปัจจัยด้านการดูดซับของถังปฏิกิริยาได้ เมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ D_{T2} ซึ่งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 5.53% และ 2.41% ตามลำดับจากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D_{T2} มาลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของการดูดติดบนถังปฏิกิริยาจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจากกระบวนการ D_{T3}



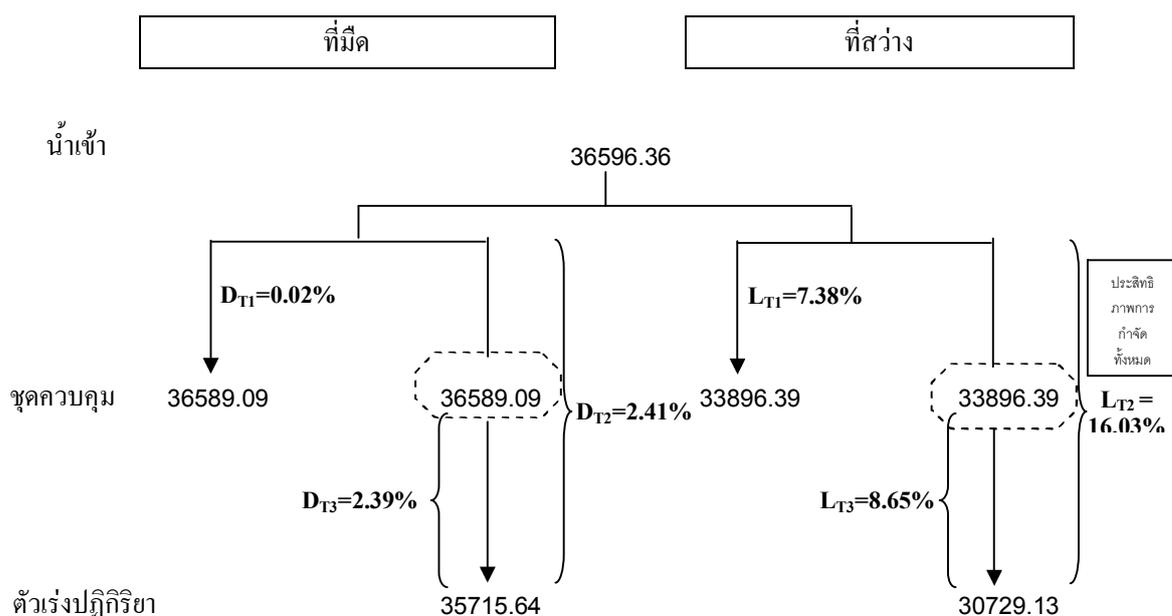
ภาพที่ 21 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (TiO_2 3 g/l, $I = 220\text{-}390 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=40^\circ\text{C}$ และ $t=30$ min)



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช (TiO_2 3 g/l, $I = 220\text{-}390 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=40^\circ\text{C}$ และ $t=30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช

ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 5.51% และ 2.39% ตามลำดับ ส่วนในที่สว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช) ที่มาจากกระบวนการ L_{T1} เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 7.38% ดังนั้นเมื่อดูจากชุดควบคุมในที่มืด แสดงว่ากระบวนการโฟโตไลซิสมี ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 7.36% และเมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการ L_{T2} ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการกำจัดรวมของกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 20.21% และ 16.03% ตามลำดับ



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช

(TiO_2 3 g/l, $I=220-390 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T=40^\circ C$ และ $t=30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ไม่มีการเติม TiO_2 และไม่ปรับพีเอช

เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการ L_{T2} มาลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{T1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจากกระบวนการ L_{T3} ซึ่งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมี ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 12.83% และ 8.65% ตามลำดับ และเมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L_{T2} และ D_{T2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันเพียงอย่างเดียว ซึ่งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 14.67% และ 13.62% ตามลำดับ

จากกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด จะเห็นว่าในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าการดูดซับ

ตารางที่ 11 ค่าพีเอชเฉลี่ยของกระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับพีเอช	ปรับพีเอช 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับพีเอช	ปรับพีเอช 12
UV/TiO ₂							
I=220-390 (×10) μW/cm ² T=40°C	3.10	3.08	3.11	11.12	3.03	3.12	10.71
UV/H ₂ O ₂							
I=180-384 (×10) μW/cm ² T=41°C	3.10	3.12	3.01	10.49	2.87	2.87	9.43
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂							
I=260-412 (×10) μW/cm ² T=43°C	3.03	3.08	3.15	10.49	2.98	3.09	9.93

1.3 การศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H₂O₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/H₂O₂)

1.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์ก่อนและหลังผ่านกระบวนการ UV/H₂O₂ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 11 พบว่า ทั้งในที่มืดและที่สว่าง ทั้งปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจาก การเติม H₂O₂ ซึ่งมีค่าพีเอชที่มีความเป็นกรด จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง

ตารางที่ 12 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำเกลือของกระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มีด				ที่สว่าง			
		ชดควบคุม		ไม่ปรับ	ปรับ	ชดควบคุม		ไม่ปรับ	ปรับ
		มก./ล.	%	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	%	มก./ล.	มก./ล.
UV/TiO ₂ I=220-390 (×10)μW/cm ² T=40°C	120544.00	120520.00	0.00	115653.33	121786.67	129393.00	7.34	128122.00	131088.33
UV/H ₂ O ₂ I=180-384 (×10)μW/cm ² T=41°C	125376.00	121328.00	0.00	120746.67	112277.33	121184.00	0.00	120613.33	123450.67
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ I=260-412 (×10)μW/cm ² T=43°C	120544.00	121101.00	0.46	107274.67	121781.33	123008.00	2.04	115085.33	135952.00

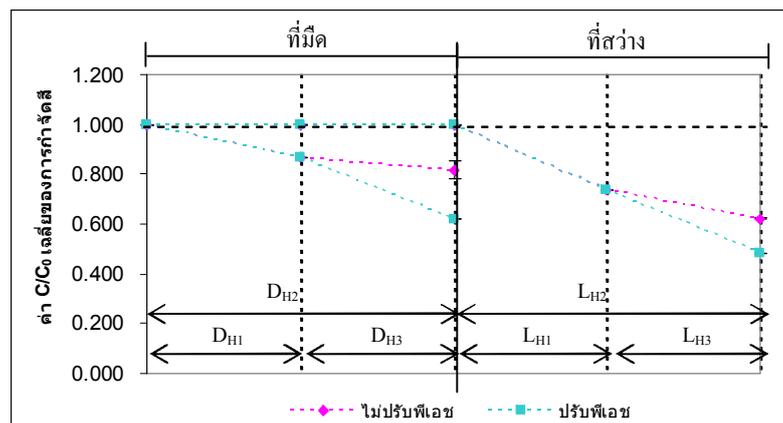
หมายเหตุ ร้อยละการระเหยคิดเพียงที่ชดควบคุมเท่านั้น

1.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหา ร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัด สีและทีไอซีที่แท้จริง (Chan *et al.*, 2003) เนื่องจากการระเหยของน้ำส่งผลให้สีและทีไอซี มีความเข้มข้นมากกว่าปกติ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนกว่าค่าภาพนำไฟฟ้า จากตารางที่ 12 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชดควบคุมทั้งสถานะไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช ทั้งในที่มืดและที่สว่าง มีค่าต่ำกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้า ดังนั้นจึงไม่มีค่าร้อยละการระเหยของน้ำ

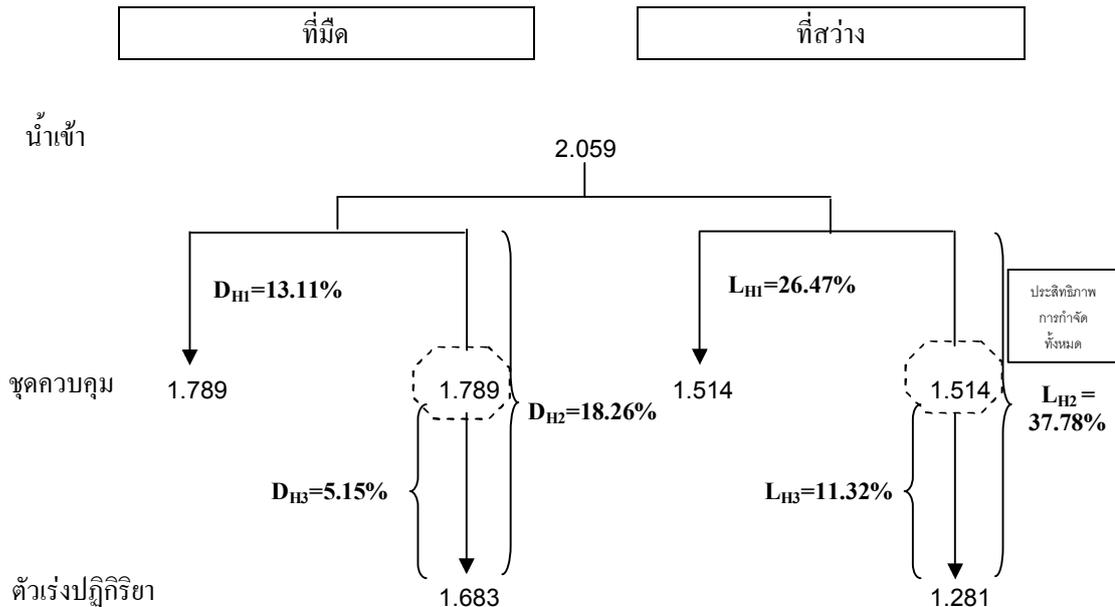
1.3.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีแสดงดังภาพที่ 24, 25 และ 26 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในที่มีดสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีค่า C/C_0 ของการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.817 และ 0.620 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 18.26% และ 37.35% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดในที่มีสว่างสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีค่า C/C_0 ของการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.622 และ 0.485 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 37.78% และ 43.71% ตามลำดับ



ภาพที่ 24 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของ กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (H_2O_2 20 mmol/l, $I = 180-384 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T=41^\circ C$ และ $t=30$ min)

กระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพ 25 และ 26 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มีด กระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช) มาจากการดูดซับจนถึง ปฏิกิริยา (D_{H1}) ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัด ทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช จะเท่ากับ 13.11% และเมื่อเติม H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจาก การดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาและ กระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 (D_{H2}) ทั้งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพ การกำจัด เท่ากับ 18.26% และ 38.03% ตามลำดับ จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จาก กระบวนการ D_{H2} ลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของการดูดซับจนถึงปฏิกิริยาจะได้ประสิทธิภาพ ที่มาจากกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว (D_{H3}) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของ สภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 5.15% และ 24.91% ตามลำดับ

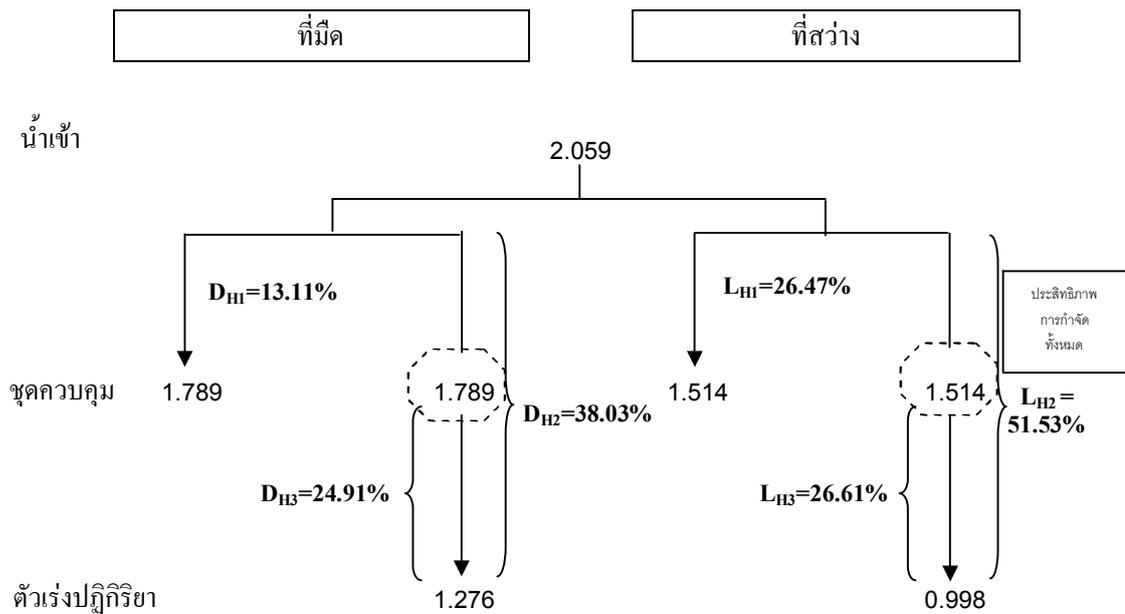


ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช

(H_2O_2 20 mmol/l, $I = 180-384 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T = 41^\circ C$ และ $t = 30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ไม่มีการเติม H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช

ดังนั้นในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการดูดซับจนถึงปฏิกิริยา ส่วนที่ปรับพีเอชกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการดูดซับจนถึงปฏิกิริยาส่วนในที่สว่าง กระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม มาจากการดูดซับผิวของถึงปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิส (L_{H1}) เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 26.47% ซึ่งเมื่อดูจากชุดควบคุมจะเห็นว่า มีประสิทธิภาพจากกระบวนการโฟโตไลซิส 13.36% เมื่อเติม H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากการดูดซับผิวถึงปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 นั่นคือ ประสิทธิภาพการกำจัดรวมของกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด (L_{H2}) ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช เท่ากับ 37.78% และ 51.53% ตามลำดับ เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการนี้ลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{H1} จะได้ประสิทธิภาพที่มาจากกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 (L_{H3}) ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช เท่ากับ 11.32% และ 26.61% ตามลำดับ



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช

(H_2O_2 20 mmol/l, $I = 180\text{-}384 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=41^\circ\text{C}$ และ $t=30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช

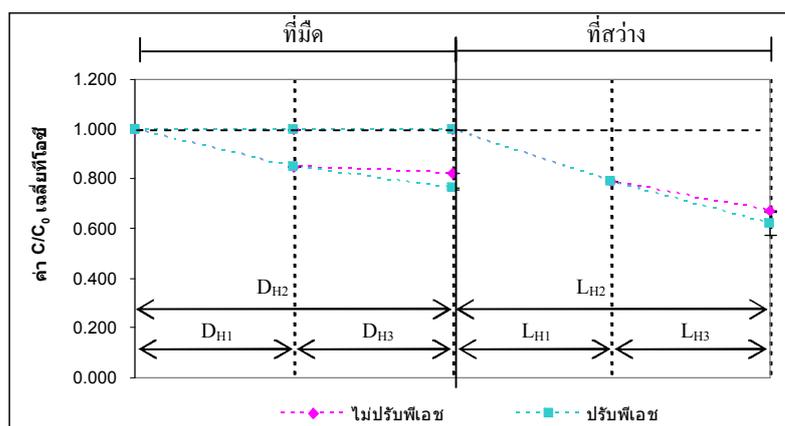
ดังนั้นในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 จะน้อยกว่าการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยา ส่วนที่ปรับพีเอชประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 จะมากกว่าการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยา เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L_{H_2} และ D_{H_2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดของกระบวนการโฟโตออกซิเดชันเพียงอย่างเดียว ซึ่งในสภาวะไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 19.52% และ 13.50% ตามลำดับ

1.3.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีแสดงดังภาพที่ 27, 28 และ 29 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีในที่มีสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีค่า C/C_0 ของการกำจัดที่ไอซีเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 และ 0.76 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 17.61% และ 24.29% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดในที่สว่างสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีค่า

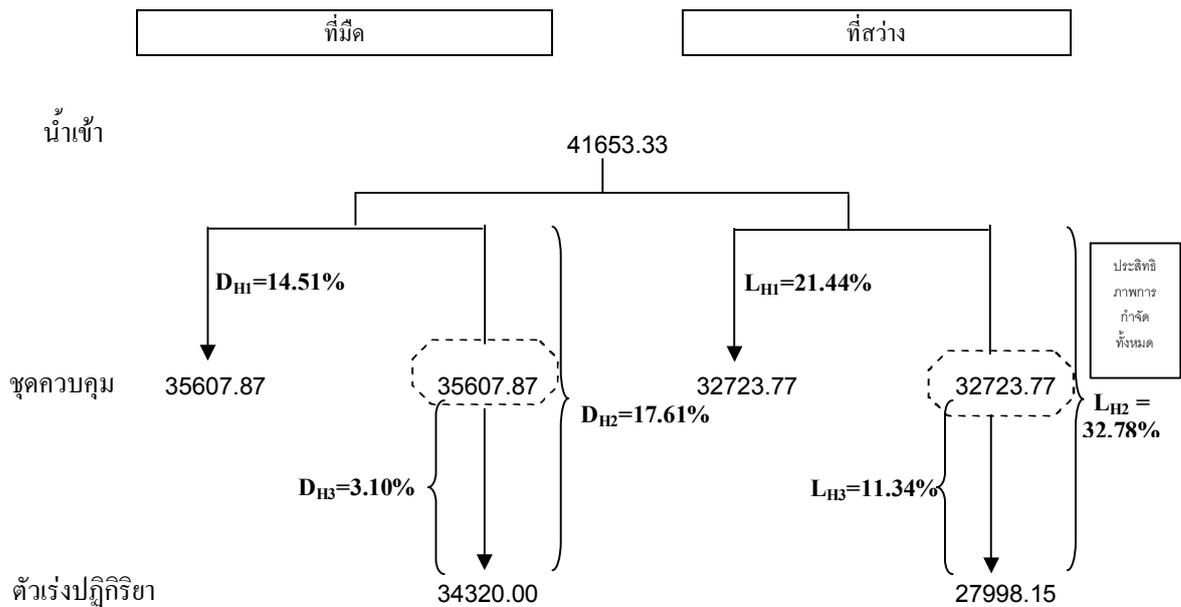
C/C_0 ของการกำจัดทีโอซีเฉลี่ยเท่ากับ 0.67 และ 0.62 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 32.78% และ 38.44% ตามลำดับ

กระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพ 28 และ 29 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มีดกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม H_2O_2 และ ไม่ปรับพีเอช) มาจากกระบวนการ D_{H1} เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัด ทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 14.51% และเมื่อเติม H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการ D_{H2} ทั้งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัด เท่ากับ 17.61% และ 24.29% ตามลำดับ



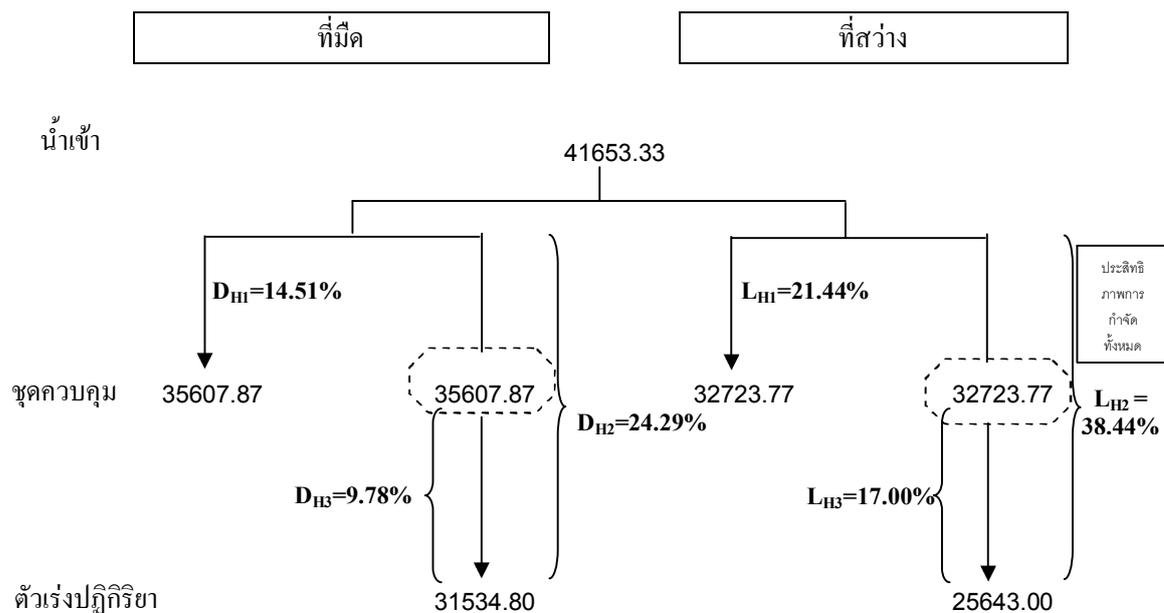
ภาพที่ 27 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (H_2O_2 20 mmol/l, $I = 180-384 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T = 41^\circ C$ และ $t = 30$ min)

จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D_{H2} ลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของการดูดซับบนถังปฏิกิริยาจะได้ ประสิทธิภาพที่มาจากกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว (D_{H3}) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 3.10% และ 9.78% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการดูดซับบนผิวถังปฏิกิริยาอย่างเดียว ส่วนในที่สว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม มาจากกระบวนการ L_{H1} ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 21.44% ซึ่งเมื่อดูจากชุดควบคุมจะเห็นว่า มีประสิทธิภาพจากกระบวนการโฟโตไลซิส 6.93% เมื่อเติม H_2O_2 ประสิทธิภาพการกำจัดรวมของกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด (L_{H2}) ซึ่งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช เท่ากับ 32.78% และ 38.44% ตามลำดับ



ภาพที่ 28 ประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ โฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช (H_2O_2 20 mmol/l, $I = 180-384 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T=41^\circ C$ และ $t=30$ min)
 หมายเหตุ ชดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ไม่มีการเติม H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช

เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการนี้ลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{H1} จะได้ประสิทธิภาพที่มาจากกระบวนการ L_{H3} ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช เท่ากับ 11.34% และ 17.00% ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพจากกระบวนการ โฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 จะน้อยกว่าประสิทธิภาพการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาอย่างเดียว เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L_{H2} และ D_{H2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดของกระบวนการ โฟโตออกซิเดชันเพียงอย่างเดียว ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช เท่ากับ 15.17% และ 14.15% ตามลำดับ



ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ โฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี H₂O₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช (H₂O₂ 20 mmol/l, I= 180-384 (×10) μW/cm², T=41 °c และ t=30 min)
 หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม H₂O₂ และไม่ปรับพีเอช

1.4 การศึกษากระบวนการ โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ ร่วมกับ H₂O₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/TiO₂ /H₂O₂)

1.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์ก่อนและหลังผ่านกระบวนการ UV/TiO₂ /H₂O₂ สามารถสรุปดังตารางที่ 11 พบว่าสถานะที่ไม่ปรับพีเอชทั้งในที่มืดและที่สว่าง ค่าพีเอชไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อปรับพีเอช 12 ทั้งในที่มืดและที่สว่างค่าพีเอชเกิดการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรดต่างๆ ซึ่งหลักๆ จะได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มาจากการออกซิไดซ์พวกคาร์บอน (Mozia *et al.*, 2007) จึงทำให้ค่าพีเอชลดลงและการเติม H₂O₂ ซึ่งมีค่าพีเอชที่มีสภาพเป็นกรด

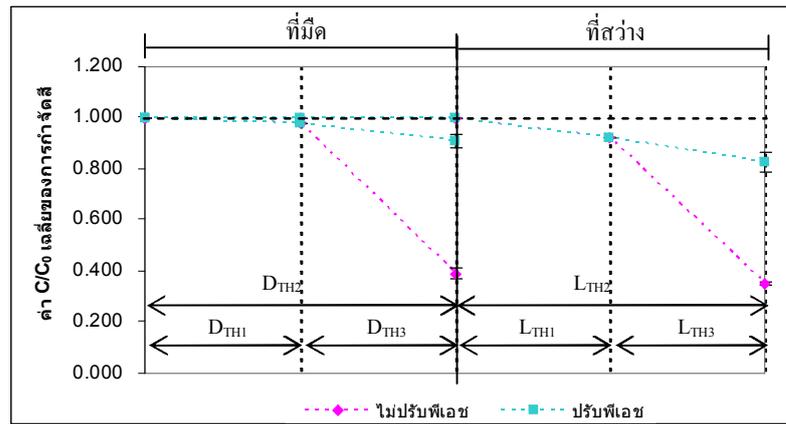
1.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและที่ไอซีที่แท้จริง (Chan *et al.*, 2003) เนื่องจากการระเหยของน้ำส่งผลให้สีและที่ไอซี มีความเข้มข้นมากกว่าปกติ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนกว่าค่าภานาไฟฟ้า ดังนั้นจากตารางที่ 12 พบว่า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่างจะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่มืด จึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าที่มืด โดยร้อยละการระเหยของน้ำในที่มืดของชุดควบคุมเท่ากับ 0.46% และในที่สว่างของชุดควบคุมเท่ากับ 2.04%

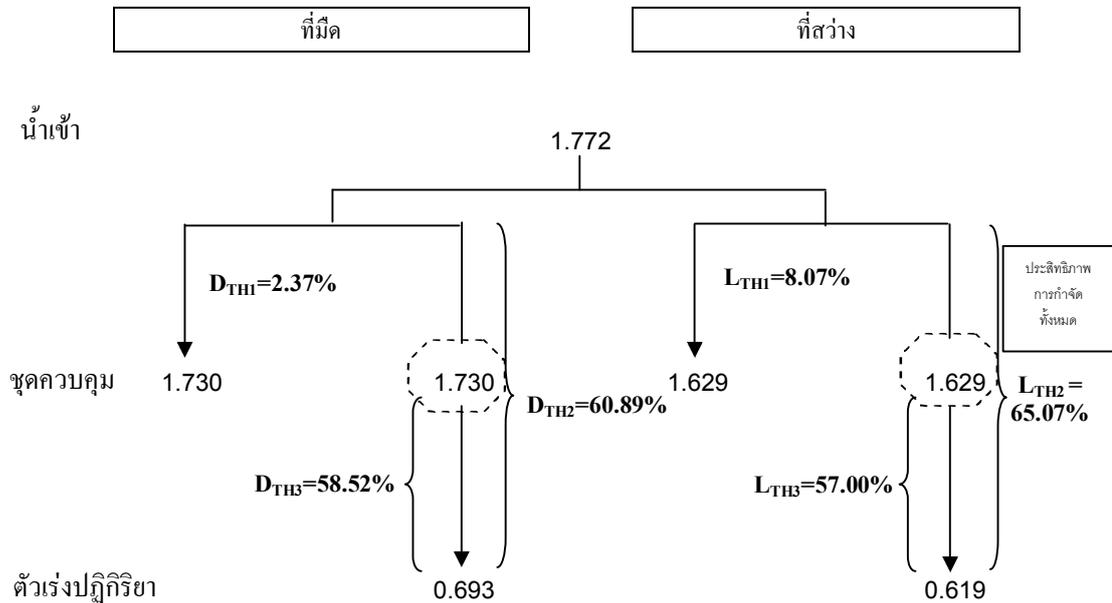
1.4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีแสดงดังภาพที่ 30, 31 และ 32 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในที่มืดสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีค่า C/C_0 ของการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.391 และ 0.906 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 60.89% และ 9.37% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดในที่สว่างสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีค่า C/C_0 ของการกำจัดสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.349 และ 0.825 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 65.07% และ 17.49% ตามลำดับ

กระบวนการที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 31 และ 32 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มืดกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 กับ H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช) มาจากการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยา (D_{TH1}) ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 2.37% แสดงว่าเกิดการดูดซับบนผิวถังปฏิกิริยาน้อยมากจึงสามารถตัดปัจจัยด้านการดูดซับของถังปฏิกิริยาได้ เมื่อเติม TiO_2 และ H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นจะมาจากการดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยา การดูดซับบนถังปฏิกิริยา และกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 (D_{TH2}) ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 60.89% และ 9.37% ตามลำดับ จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D_{TH2} มาลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของกระบวนการ D_{TH1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจากกระบวนการดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 (D_{TH3}) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 58.52% และ 7.00% ตามลำดับ



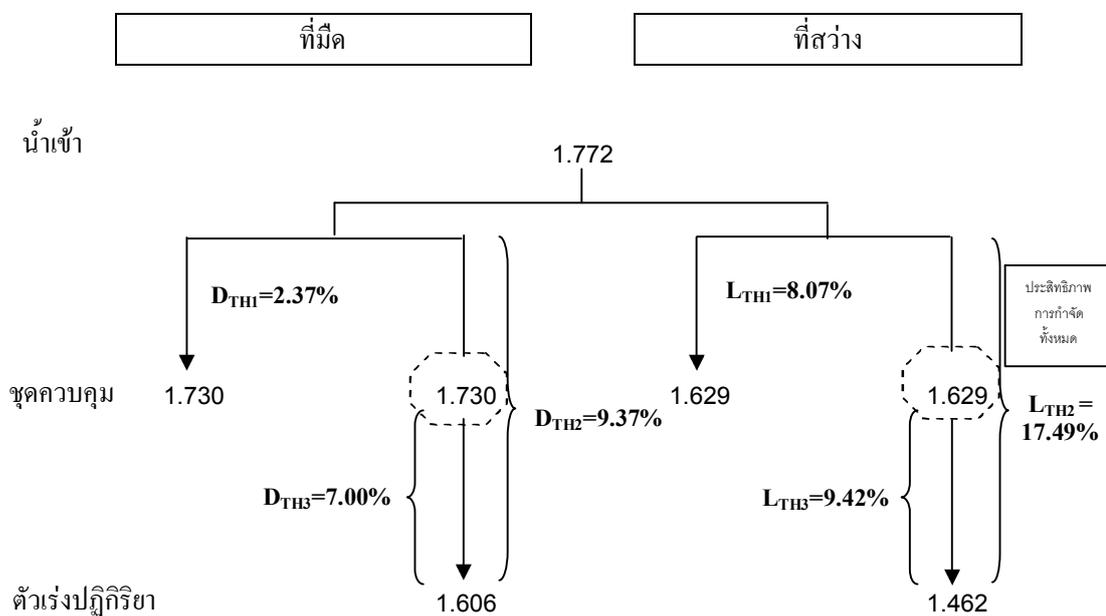
ภาพที่ 30 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (TiO_2 3 g/l, H_2O_2 20 mmol/l, $I = 260\text{-}412 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T = 43^\circ\text{C}$ และ $t = 30$ min)



ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช (TiO_2 3 g/l, H_2O_2 20 mmol/l, $I = 260\text{-}412 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T = 43^\circ\text{C}$ และ $t = 30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ไม่มีการเติม TiO_2 , H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช

ดังนั้นจะเห็นว่าประสิทธิภาพของการกำจัดสีจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 จะมากกว่าประสิทธิภาพของการกำจัดสีจากการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวทั้งสภาวะปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช ส่วนในที่สว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 กับ H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช) จะมาจากการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิส (L_{TH1}) เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 8.07% ดังนั้นเมื่อดูจากชุดควบคุมในที่มืด แสดงว่ากระบวนการโฟโตไลซิสมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 5.70% และเมื่อเติม TiO_2 และ H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากการดูดซับบนถังปฏิกิริยา การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 (L_{TH2}) โดยในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 65.07% และ 17.49% ตามลำดับ เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการ L_{TH2} มาลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{TH1}



ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช (TiO_2 3 g/l, H_2O_2 20 mmol/l, $I = 260-412 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T = 43^\circ C$ และ $t = 30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม TiO_2 , H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช

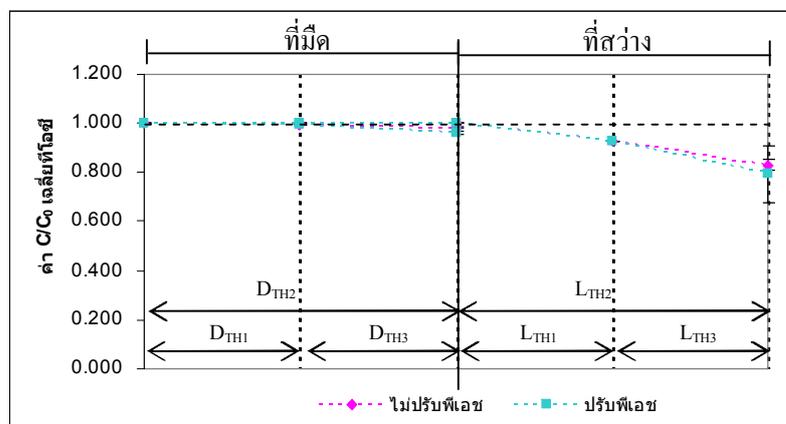
จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 และกระบวนการ โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 (L_{TH3}) ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 57.00% และ 9.42% ตามลำดับ และเมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L_{TH2} และ D_{TH2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดกระบวนการ โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการ โฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 4.18% และ 8.13% ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าสถานะไม่ปรับพีเอช การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 เกิดได้ดีกว่า กระบวนการ โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ในทางกลับกันที่สถานะปรับพีเอชกระบวนการ โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจะเกิดได้ดีกว่าการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2

1.4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีแสดงดังภาพที่ 33, 34 และ 35 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีในที่มีสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีค่า C/C_0 ของการกำจัดทีโอซีเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 และ 0.96 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 1.61% และ 4.12% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดในที่สว่างสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีค่า C/C_0 ของการกำจัดทีโอซีเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 และ 0.79 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 17.02% และ 20.66% ตามลำดับ

กระบวนการที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 34 และ 35 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มีกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 กับ H_2O_2 และไม่ปรับพีเอช) มาจากกระบวนการ D_{TH1} เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 0.40% แสดงว่าเกิดการดูดซับบนผิวถึงปฏิกิริยาน้อยมากจึงสามารถตัดปัจจัยด้านการดูดซับของถึงปฏิกิริยาได้ เมื่อเติม TiO_2 และ H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นจะมาจากกระบวนการ D_{TH2} ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 1.61% และ 4.12% ตามลำดับ จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D_{TH2} มาลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของกระบวนการ D_{TH1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจากกระบวนการ D_{TH3} ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 1.21% และ 3.72% ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าประสิทธิภาพของการกำจัดทีโอซีจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและ

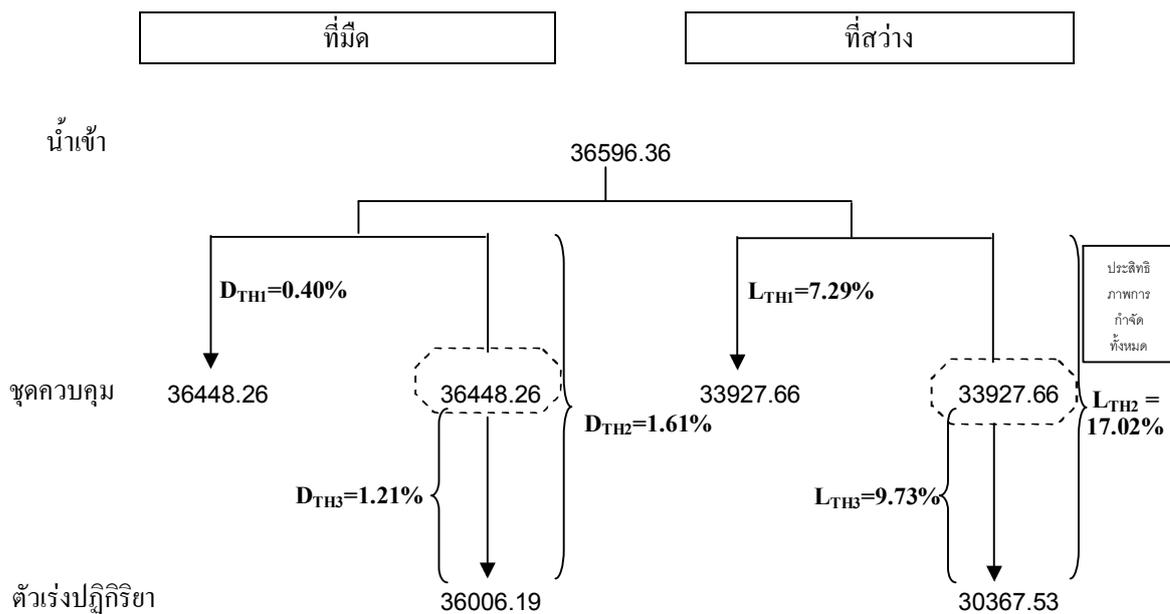
กระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 จะมากกว่าประสิทธิภาพของการกำจัดที่ไอซีจากการดูดซับบนผิวของถัฏปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวทั้งสภาวะปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช



ภาพที่ 33 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของน้ำสังเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

(TiO_2 3 g/l, H_2O_2 20 mmol/l, $I = 260-412 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T = 43^\circ C$ และ $t = 30$ min)

ส่วนในที่สว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 กับ H_2O_2 และ ไม่ปรับพีเอช) จะมาจากกระบวนการ L_{TH1} เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทั้งสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชจะเท่ากับ 7.29% ดังนั้นเมื่อดูจากชุดควบคุมในที่มืด แสดงว่ากระบวนการโฟโตไลซิสมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 6.89% เมื่อเติม TiO_2 และ H_2O_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการ L_{TH2} โดยในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 17.02% และ 20.66% ตามลำดับ เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการ L_{TH2} มาลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{TH1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจากการกระบวนการ L_{TH3} ซึ่งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 9.73% และ 13.37% ตามลำดับ จะเห็นว่าการดูดซับบนผิวถัฏปฏิกิริยาจะน้อยกว่าประสิทธิภาพการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ทั้งในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช



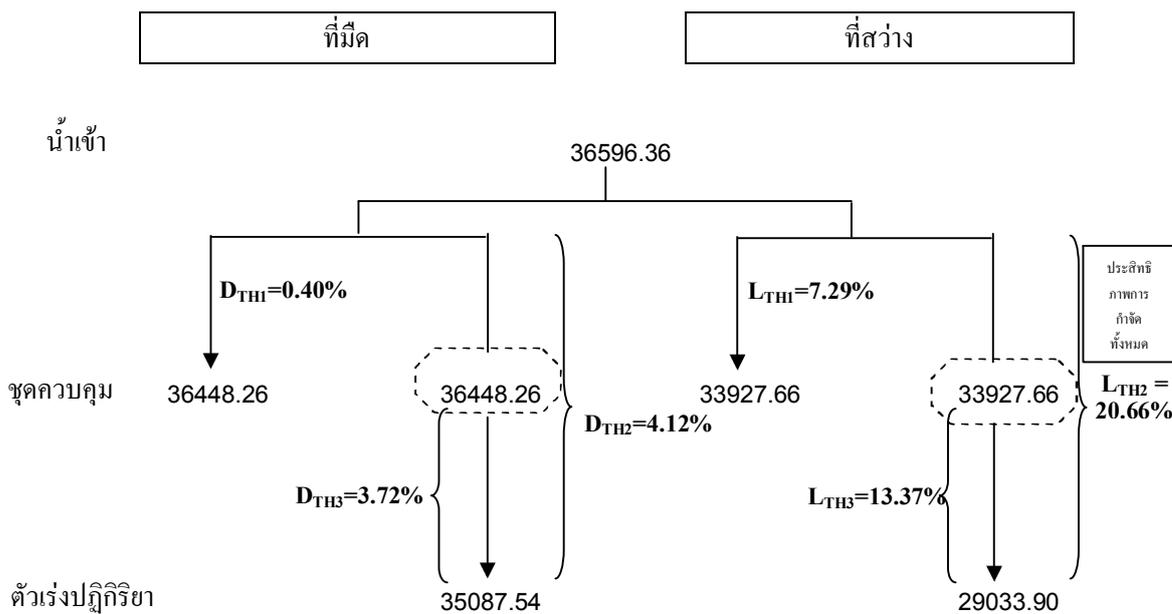
ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่ปรับพีเอช

(TiO_2 3 g/l, H_2O_2 20 mmol/l, $I = 260\text{-}412 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T = 43^\circ\text{C}$ และ $t = 30$ min)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม TiO_2 , H_2O_2 และ ไม่ปรับพีเอช

เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ $L_{\text{TH}2}$ และ $D_{\text{TH}2}$ มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 ซึ่งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชเท่ากับ 15.41% และ 16.54% ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่ากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจะเกิดได้ดีกว่าการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีและที่ไอซีในน้ำสังเคราะห์ของทุกระบวนการสามารถสรุปค่า C/C_0 เหลือและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีและที่ไอซี ดังตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ และเปรียบเทียบกระบวนการต่างๆ ดังภาพที่ 36 และ 37



ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ ร่วมกับ H₂O₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับพีเอช (TiO₂ 3 g/l, H₂O₂ 20 mmol/l, I= 260-412 (×10) μW/cm², T=43 °c และ t=30 min)
 หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติม TiO₂, H₂O₂ และ ไม่ปรับพีเอช

จากตารางที่ 13 และภาพที่ 36 เห็นได้ว่าการกำจัดสีในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชกระบวนการ UV/TiO₂ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า C/C₀ เฉลี่ยเท่ากับ 0.311 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 6.49×10⁻⁴ s⁻¹ รองลงมาคือ กระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ โดยมีค่า C/C₀ เฉลี่ยเท่ากับ 0.349 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 5.85×10⁻⁴ s⁻¹ และกระบวนการ UV/H₂O₂ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำสุด โดยมีค่า C/C₀ เฉลี่ยเท่ากับ 0.622 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 2.64×10⁻⁴ s⁻¹ ส่วนในสภาวะที่ปรับพีเอชกระบวนการ UV/H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า C/C₀ เฉลี่ยเท่ากับ 0.485 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 4.02×10⁻⁴ s⁻¹ รองลงมาคือ กระบวนการ UV/TiO₂ โดยมีค่า C/C₀ เฉลี่ยเท่ากับ 0.812 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 1.16×10⁻⁴ s⁻¹

ตารางที่ 13 ค่า C/C_0 เหลือและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ
กระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

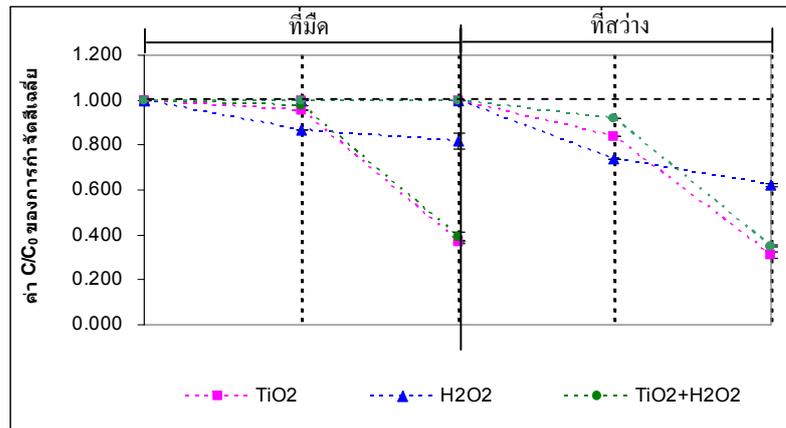
กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มืด					ที่สว่าง				
		ชด ควบคุม		ไม่ปรับ พีเอช		ปรับ พีเอช 12	ชด ควบคุม		ไม่ปรับ พีเอช		ปรับ พีเอช 12
		C/C_0	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	k (s ⁻¹)
UV/TiO ₂ I=220-390 (×10)μW/cm ² T=40°c	1.000	0.956	0.369	5.54 ×10 ⁻⁴	0.954	2.62 ×10 ⁻⁵	0.838	0.311	6.49 ×10 ⁻⁴	0.812	1.16 ×10 ⁻⁴
UV/H ₂ O ₂ I=180-384 (×10)μW/cm ² T=41°c	1.000	0.869	0.817	1.12 ×10 ⁻⁴	0.620	2.66 ×10 ⁻⁴	0.935	0.622	2.64 ×10 ⁻⁴	0.485	4.02 ×10 ⁻⁴
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ I=260-412 (×10)μW/cm ² T=43°c	1.000	0.976	0.391	5.22 ×10 ⁻⁴	0.906	5.48 ×10 ⁻⁵	0.919	0.349	5.85 ×10 ⁻⁴	0.825	1.07 ×10 ⁻⁴

และกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำสุด โดยมีค่า C/C_0 เหลือเท่ากับ 0.825 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $1.07 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

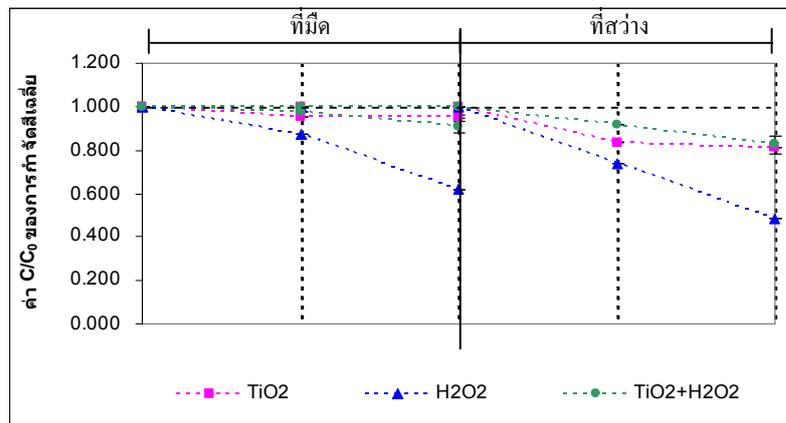
ตารางที่ 14 ค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีของกระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มีด					ที่สว่าง				
		ชุดควบคุม		ไม่ปรับพีเอช			ชุดควบคุม		ไม่ปรับพีเอช		
		C/C_0	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	k (s ⁻¹)
UV/TiO ₂ I=220-390 (×10)μW/cm ² T=40°C	1.00	1.00	0.94	3.44 ×10 ⁻⁵	0.98	1.12 ×10 ⁻⁵	0.93	0.80	1.24 ×10 ⁻⁴	0.84	9.69 ×10 ⁻⁵
UV/H ₂ O ₂ I=180-384 (×10)μW/cm ² T=41°C	1.00	0.85	0.82	1.10 ×10 ⁻⁴	0.76	1.52 ×10 ⁻⁴	0.79	0.67	2.22 ×10 ⁻⁴	0.62	2.66 ×10 ⁻⁴
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ I=260-412 (×10)μW/cm ² T=43°C	1.00	1.00	0.98	1.12 ×10 ⁻⁵	0.96	2.27 ×10 ⁻⁵	0.93	0.83	1.04 ×10 ⁻⁴	0.79	1.31 ×10 ⁻⁴

จากตารางที่ 14 และภาพที่ 37 เห็นได้ว่าการกำจัดทีโอซีในสภาวะที่ไม่ปรับพีเอชกระบวนการ UV/H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.67 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $2.22 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ รองลงมาคือ กระบวนการ UV/TiO₂ โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $1.24 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ และกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีต่ำสุด โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.83 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $1.04 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

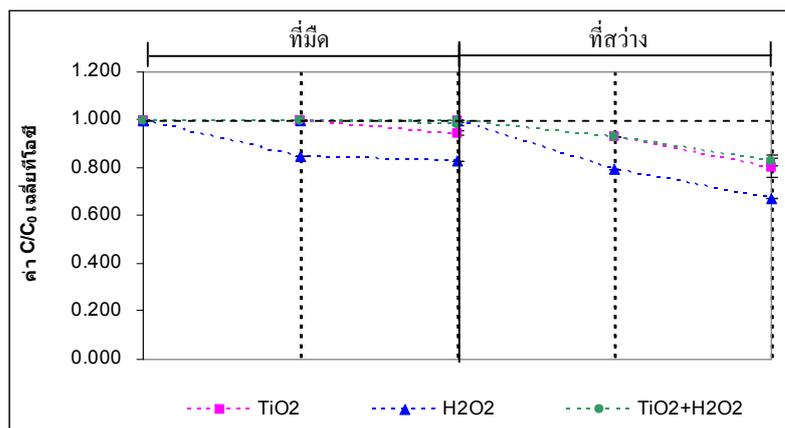


(ก)

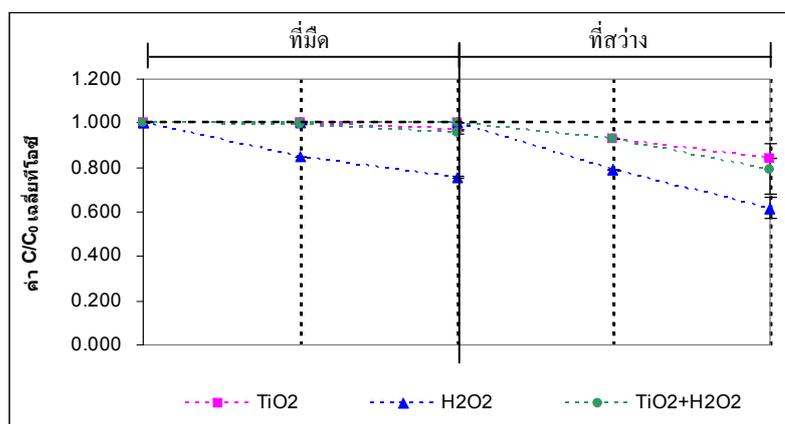


(ข)

ภาพที่ 36 เปรียบเทียบค่า C/C_0 เฉลี่ยของการกำจัดสีของกระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ ทั้งในที่มืดและที่สว่าง (ก) ไม่ปรับพีเอช (ข) ปรับพีเอช 12



(ก)



(ข)

ภาพที่ 37 เปรียบเทียบค่า C/C_0 เฉลี่ยของการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ ทั้งในที่มืดและที่สว่าง (ก) ไม่ปรับพีเอช (ข) ปรับพีเอช 12

ส่วนในสภาวะที่ปรับพีเอชกระบวนการ UV/H₂O₂ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.60 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $2.66 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ รองลงมาคือกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.79 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $1.31 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ และกระบวนการ UV/TiO₂ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีต่ำสุด โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.84 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $9.69 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

จากผลการวิเคราะห์ของการกำจัดสีและที่ไอซีทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการ UV/H₂O₂ ทั้งการกำจัดสีและที่ไอซีจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีเมื่อปรับพีเอช เนื่องจากความ

เข้มข้นของ H^+ และ OH^- ในน้ำสังเคราะห์จะมีผลต่อการเกิด OH^\bullet (Yang *et al.*, 2005) พีเอชที่เป็นกรดจะมีปริมาณความเข้มข้นของ H^+ มาก H^+ อาจมีผลยับยั้งการเกิด OH^- หรืออาจเกิด OH^\bullet ได้น้อยกว่าที่พีเอชเป็นด่าง

ส่วนกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ และกระบวนการ UV/TiO₂ นั้น โดยส่วนมากแล้ว กระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงกว่า กระบวนการ UV/TiO₂ เนื่องจากการเติม H₂O₂ จะช่วยเพิ่มการเกิด OH^\bullet ซึ่งเป็นสารที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง จึงทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดเพิ่มขึ้น (Muragunandham and Swaminathan, 2004) ซึ่งในการศึกษาทดลองโดยใช้ น้ำสังเคราะห์จากเปปซี่ที่กระป๋องกลับมีผลการทดลองที่ตรงกันข้าม แต่เมื่อดูถึงประสิทธิภาพการกำจัดของสีและทีโอซี ทั้งปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช จะเห็นว่ากระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ และกระบวนการ UV/TiO₂ มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ไม่แตกต่างกันมากมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อวิเคราะห์ในแง่ของการปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช ทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดสีและทีโอซีของทั้ง 2 กระบวนการ พบว่า อนุภาค TiO₂ นั้นในการดูดซับจะเลือกสถานะค่าพีเอชของสารละลายในการดูดซับ ซึ่งจะเห็นได้จากประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่สถานะปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดที่แตกต่างกันมากอย่างชัดเจน โดยจะเลือกการดูดซับที่สถานะไม่ปรับพีเอชมากกว่าสถานะที่ปรับพีเอช แต่เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซี จะเห็นว่าทั้งในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมาก แสดงว่าอนุภาค TiO₂ นั้นในการออกซิไดซ์จะไม่เลือกสถานะค่าพีเอชของสารละลาย สามารถที่จะออกซิไดซ์ได้ทั้งสถานะที่เป็นกรดและด่าง นั่นคือ ในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชอนุภาค TiO₂ จะเกิดการดูดซับมากกว่าการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ซึ่งการดูดซับที่เกิดขึ้นในสถานะที่ไม่ปรับพีเอช เนื่องจาก กลไกการดูดซับจะขึ้นอยู่กับประจุบนผิวของอนุภาค โดยที่ประจุที่ผิวของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย นั่นคืออนุภาค TiO₂ จะมีค่า pzc อยู่ที่ pH ≈ 6.25 ดังนั้น เมื่อสถานะที่เป็นกรด (pH < 6.25) ประจุบนผิว TiO₂ ก็จะเป็นบวก (H^+) แต่ถ้าสภาพด่าง (pH > 6.25) ก็จะเป็นลบ (OH^-) (Saquib *et al.*, 2008) ดังนั้น ที่ค่าพีเอชเป็นกรด จะทำให้ที่ผิวอนุภาค TiO₂ มี H^+ เกาะติดอยู่ ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่าง H^+ กับ โมเลกุลของสีและสารอินทรีย์ ทำให้โมเลกุลของสีและสารอินทรีย์ถูกดูดเข้ามาเกาะติดอยู่ที่ผิวของ TiO₂ เกิดการออกซิไดซ์โดยตรงระหว่าง โมเลกุลของสีและสารอินทรีย์กับ โฮลในแถบวาเลนส์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผิวอนุภาค TiO₂ ได้สะดวกมากขึ้น (วุทธิพันธ์, 2544)

แต่เมื่อดูจากกระบวนการที่เกิดขึ้นในการกำจัดสี TiO₂ จะเลือกสถานะค่าพีเอช โดยสถานะไม่ปรับพีเอชจะให้ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่ากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน แต่ในการกำจัดทีโอซีทั้งสถานะปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช จะเกิดกระบวนการ

โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันได้ดีกว่าการดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยา นั่นคือ ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำสังเคราะห์สามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งสถานะเป็นกรดและด่าง แต่ในการกำจัดสีในน้ำสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสีที่ได้จากการาเมลงั้น การดูดซับจะดูดซับในสถานะที่เป็นกรดได้ดีกว่าสถานะที่เป็นด่าง

และจากผลการทดลองในส่วนนี้ จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ ทั้งการกำจัดสีและสารอินทรีย์ โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการกำจัดสีมีประสิทธิภาพสูงกว่าการกำจัดที่ไอซี

2. การศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัดจากโรงงาน มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 38 และผลการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 15



ภาพที่ 38 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

ตารางที่ 15 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้		
	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย±SD (N)
พีเอช	12.40	6.32	11.12±0.99(58)
ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)	4590.00	654.00	1417.45±564.72(53)
ซีโอดี (มก./ล.)	2720.00	413.60	1424.06±562.89(50)
บีโอดี (มก./ล.)	1605.00	600.00	984.70±303.89(15)
ทีโอดี (มก./ล.)	1151.27	232.00	456.00±342.47(16)
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	4530.00	1018.00	2642.47±849.74(34)

หมายเหตุ N คือจำนวนซ้ำที่ทำการทดลอง

จากภาพที่ 38 และตารางที่ 15 จะเห็นว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัดนั้นจะมีลักษณะใส มีสีเล็กน้อยคล้ายน้ำคลอง มีตะกอนแขวนลอยและกลิ่นน้ำอัดลมเล็กน้อย เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 11.12 ค่าสภาพนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1417.45 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 1424.06 มก./ล. ค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 984.70 มก./ล. ค่าทีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 456.00 มก./ล. และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 2642.47 มก./ล. ซึ่งจะเห็นว่า น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมมีความเป็นด่างสูง เนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการล้างขวดน้ำอัดลม โดยสารเคมีที่ใช้สำหรับล้างขวดประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ฟอสเฟต และคลอรีน มีค่าสภาพนำไฟฟ้าและของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูง เนื่องจากมีไอออนอยู่ในน้ำมาก เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนค่าบีโอดี ทีโอดี และซีโอดีก็มีค่าสูงเช่นกัน เนื่องจากส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำอัดลม เช่น น้ำตาล

2.2 การศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ใช้ปริมาณ TiO_2 1.5 กรัม/ลิตร มีค่าพีเอชเริ่มต้น 3, 5, 7, 9 และ 12 ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าพีเอชเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

สภาวะ	น้ำเข้า	น้ำออก					I ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	T ($^{\circ}\text{C}$)	
		ชุก ควบคุม	พีเอช						
			3	5	7	9			12
ที่มีด	10.91	10.66	3.17	7.32	8.50	9.02	11.73	0	41
ที่สว่าง	10.91	10.79	3.30	6.16	8.62	9.02	11.78	230-382	

หมายเหตุ ชุกควบคุม คือ ตัวอย่างน้ำเสียไม่ปรับพีเอชและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

จากตารางที่ 16 พบว่าค่าพีเอชซึ่งก่อนที่จะผ่านกระบวนการได้ปรับให้มีค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ที่ 3, 5, 7, 9 และ 12 หลังผ่านกระบวนการค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ทั้งในที่มืดและที่สว่าง โดยที่ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 3, 5 และ 7 ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่ที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 9 และ 12 ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง

2.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าทีเอสของชุกควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและทีโอดีที่แท้จริง ซึ่งค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะทำให้ค่าร้อยละการระเหยของน้ำที่ชัดเจนกว่าค่าสภาพนำไฟฟ้า จากตารางที่ 17 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุกควบคุมในที่สว่างจะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุกควบคุมในที่มืด จึงทำให้ร้อยละการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าที่มีด โดยร้อยละการระเหยของน้ำในที่มืดของชุกควบคุมจะอยู่ในช่วง 0.00-3.74 % และในที่สว่างของชุกควบคุมจะอยู่ในช่วง 0.00-5.74% และจะเห็นว่าส่วนมากค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้าเนื่องมาจากการปรับพีเอช

ตารางที่ 17 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียและร้อยละการระเหยของน้ำหลังจากผ่านกระบวนการ โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

สภาวะการทดลอง	ที่มีด		ที่สว่าง	
	$I=0$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ $T=41^\circ\text{C}$		$I=230-382$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ $T=41^\circ\text{C}$	
	มก./ล.	ร้อยละการระเหย	มก./ล.	ร้อยละการระเหย
น้ำเข้า	3635.00	-	3635.00	-
ชุดควบคุม	3648.33	0.00-3.74	3695.33	0.00-5.74
พีเอช 3	3737.33	-	3780.00	-
พีเอช 5	3645.33	-	3748.00	-
พีเอช 7	3532.00	-	3580.67	-
พีเอช 9	3589.33	-	3642.00	-
พีเอช 12	3837.33	-	3818.67	-

หมายเหตุ - คือ ไม่คิดร้อยละการระเหย เนื่องจากร้อยละการระเหยคิดเพียงที่ชุดควบคุมเท่านั้น

2.2.3 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

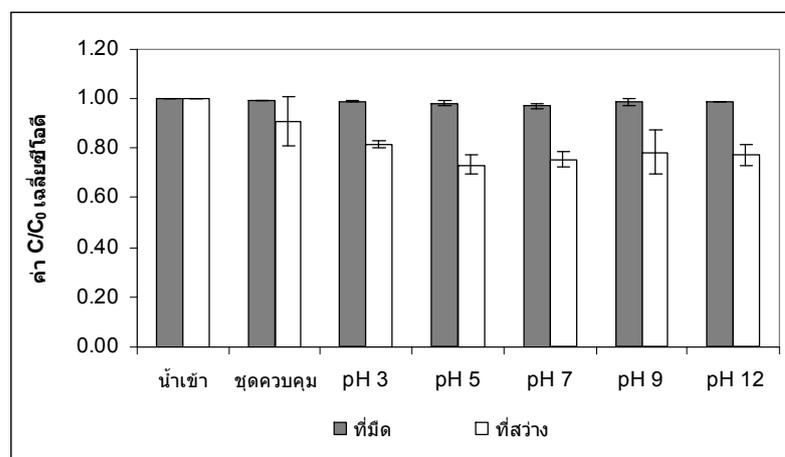
ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี แสดงดังตารางที่ 18 และภาพที่ 39 พบว่า ค่า C/C_0 เฉลี่ยที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12 เท่ากับ 0.81, 0.73, 0.76, 0.78 และ 0.77 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 1.14×10^{-4} , 1.72×10^{-4} , 1.56×10^{-4} , 1.36×10^{-4} และ $1.45 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ

จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มค่าพีเอชจนมีค่าพีเอชเท่ากับ 5 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด และเมื่อค่าพีเอชเพิ่มมากกว่า 5 ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเรื่อยๆ แต่จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดในแต่ละค่าพีเอชมีค่าใกล้เคียงกัน จึงวิเคราะห์ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่แสดงนัยสำคัญในการกำจัดซีโอดี ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงใช้ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย ซึ่งถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด แต่เป็น

สภาวะที่คุ้มสุด เนื่องจากไม่เปลืองสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอช นอกจากนี้การปรับพีเอชยังเป็นการเพิ่ม
ภาวะที่ดีเอสให้กับน้ำเสียด้วย

ตารางที่ 18 ค่า C/C_0 ของการกำจัดซีโอดีและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียหลังผ่าน
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่
ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

สภาวะการทดลอง	ที่มืด		ที่สว่าง	
	$I=0 (\times 10)\mu\text{W}/\text{cm}^2$		$I=230-382 (\times 10)\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
	$T=41^\circ\text{c}$		$T=41^\circ\text{c}$	
	C/C_0	$k(\text{s}^{-1})$	C/C_0	$k(\text{s}^{-1})$
น้ำเข้า	1.00	-	1.00	-
พีเอช 3	0.99	6.31×10^{-6}	0.81	1.14×10^{-4}
พีเอช 5	0.98	1.20×10^{-5}	0.73	1.72×10^{-4}
พีเอช 7	0.97	1.69×10^{-5}	0.76	1.56×10^{-4}
พีเอช 9	0.99	6.76×10^{-6}	0.78	1.36×10^{-4}
พีเอช 12	0.99	7.55×10^{-6}	0.77	1.45×10^{-4}



ภาพที่ 39 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12 โดยกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
(TiO_2 1.5 g/l, $I= 230-382 (\times 10)\mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=41^\circ\text{c}$ และ $t=30$ min)

2.3 การศึกษาผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชหลังผ่านกระบวนการกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ใช้ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร ที่ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าพีเอชเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

สภาวะ	น้ำเข้า	น้ำออก					ความเข้มแสง ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	
		ชุดควบคุม	ปริมาณ TiO_2 (g/l)						
			1	2	3	4			5
ที่มีด	11.22	10.67	10.60	10.54	10.54	10.54	10.57	0	44
ที่สว่าง	11.22	11.49	11.46	11.30	11.55	11.50	11.38	260-400	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ตัวอย่างน้ำเสียไม่ปรับพีเอชและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

จากตารางที่ 19 พบว่าค่าพีเอช หลังผ่านกระบวนการค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ทั้งในที่มืดและที่สว่าง โดยในที่มืดค่าพีเอชมีการลดลงเล็กน้อย และในที่สว่างค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

2.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและที่โอซีที่แท้จริง ซึ่งค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะให้ค่าร้อยละการระเหยของน้ำที่ชัดเจนกว่าค่าสภาพนำไฟฟ้า จากตารางที่ 20 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมใน

ที่สว่างจะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่มืด จึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าในที่มืด โดยอัตราการระเหยของน้ำในที่มืดของชุดควบคุมจะอยู่ในช่วง 0.00-3.52 % และในที่สว่างของชุดควบคุมจะอยู่ในช่วง 8.85-11.48%

ตารางที่ 20 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียและอัตราการระเหยของน้ำหลังจากผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

สภาวะการทดลอง	ที่มืด		ที่สว่าง	
	I=0 ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ T=44 $^\circ\text{C}$		I=260-400 ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ T=44 $^\circ\text{C}$	
	มก./ล.	ร้อยละการระเหย	มก./ล.	ร้อยละการระเหย
น้ำเข้า	2460.67	-	2460.67	-
ชุดควบคุม	2447.33	0.00-3.52	2708.67	8.85-11.48
TiO_2 1 g/l	2434.00	-	2702.00	-
TiO_2 2 g/l	2570.00	-	3122.67	-
TiO_2 3 g/l	2365.33	-	3277.00	-
TiO_2 4 g/l	2390.67	-	3023.67	-
TiO_2 5 g/l	2578.67	-	3036.33	-

หมายเหตุ - คือ ไม่คิดอัตราการระเหย เนื่องจากอัตราการระเหยคิดเพียงที่ชุดควบคุมเท่านั้น

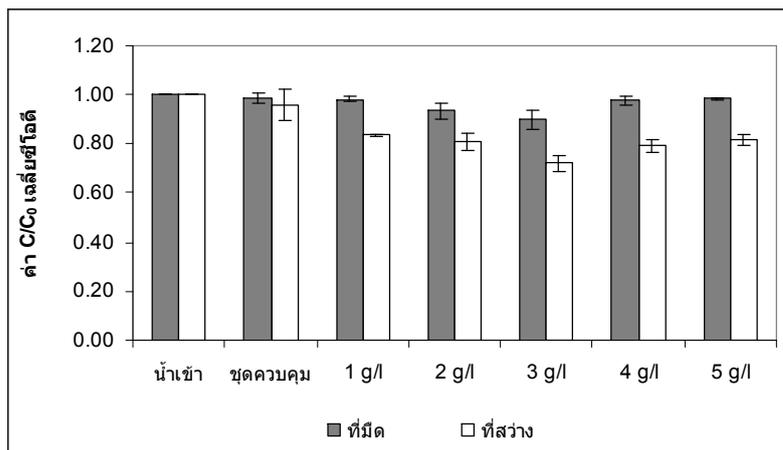
2.3.3 ผลของปริมาณ TiO_2 ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ผลของปริมาณ TiO_2 ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี แสดงดังตารางที่ 21 และภาพที่ 40 พบว่า ค่า C/C_0 เฉลี่ยที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร เท่ากับ 0.84, 0.81, 0.72, 0.79 และ 0.82 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 1.00×10^{-4} , 1.17×10^{-4} , 1.81×10^{-4} , 1.30×10^{-4} และ $1.10 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ค่า C/C_0 ของการกำจัดซีโอดีและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

สภาวะการทดลอง	ที่มีด		ที่สว่าง	
	$I=0$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$		$I=260-400$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
	$T=44^\circ\text{C}$		$T=44^\circ\text{C}$	
	C/C_0	$k(\text{s}^{-1})$	C/C_0	$k(\text{s}^{-1})$
น้ำเข้า	1.00	-	1.00	-
TiO_2 1 g/l	0.98	9.64×10^{-6}	0.84	1.00×10^{-4}
TiO_2 2 g/l	0.94	3.73×10^{-5}	0.81	1.17×10^{-4}
TiO_2 3 g/l	0.90	5.95×10^{-5}	0.72	1.81×10^{-4}
TiO_2 4 g/l	0.98	1.26×10^{-5}	0.79	1.30×10^{-4}
TiO_2 5 g/l	0.99	6.76×10^{-6}	0.82	1.10×10^{-4}

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TiO_2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีก็จะเพิ่มขึ้นด้วยจนถึงค่าหนึ่ง คือปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด แต่เมื่อปริมาณ TiO_2 เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีก็จะลดลงด้วย เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา (สิริชัย, 2543) เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เกิด e_{cb}^- และ h_{cb}^+ มากขึ้น การดูดซับโมเลกุลสารอินทรีย์มากตามด้วย จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นด้วย (Muruganandham *et al.*, 2006; Lakshmi *et al.*, 1995) แต่ถ้ามีปริมาณ TiO_2 ที่มากเกินไป คือที่ปริมาณ TiO_2 4 กรัม/ลิตร และ 5 กรัม/ลิตร มีผลทำให้การกระจายของแสงที่จะไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาในสารละลายลดลง เพราะอนุภาคที่มากเกินไปจะไปบดบังแสงซึ่งกันและกัน (วุทธินันท์, 2544)



ภาพที่ 40 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ที่ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย, $I = 260-400 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T=44^\circ\text{C}$ และ $t=30 \text{ min}$)

2.4 การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ใช้ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร ที่ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที แสดงดังตารางที่ 22

จากตารางที่ 22 พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลงไปทั้งในที่มืดและที่สว่าง ทั้งนี้เนื่องจากการเติม H_2O_2 ที่มีค่าพีเอชเป็นกรด จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเติม H_2O_2 ปริมาณมากขึ้น ค่าพีเอชก็จะลดลงมากขึ้น

ตารางที่ 22 ค่าพีเอชเฉลี่ยหลังผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

สภาวะ	น้ำเข้า	น้ำออก					ความเข้มแสง ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	
		ชุด	ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 (mmol/l)						
			ควบคุม	5	10	15			20
ที่มีด	11.03	10.96	10.69	10.52	10.44	10.34	10.32	0	43
ที่สว่าง	11.03	9.92	9.79	9.69	9.57	9.52	9.38	242-408	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ตัวอย่างน้ำเสียไม่ปรับพีเอชและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและทีโอซีที่แท้จริง ซึ่งค่าทีดีเอสจะให้ค่าร้อยละการระเหยของน้ำที่ชัดเจนกว่าสภาพนำไฟฟ้า จากตารางที่ 23 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่างจะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่มืด จึงทำให้ร้อยละการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าที่มีด โดยร้อยละการระเหยของน้ำในที่มืดของชุดควบคุมจะอยู่ในช่วง 0.00-6.22 % และในที่สว่างของชุดควบคุมจะอยู่ในช่วง 14.74-21.77%

2.4.3 ผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซี

ผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซีแสดงดังตารางที่ 24 และภาพที่ 41 พบว่า ค่า C/C_0 เฉลี่ยที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร เท่ากับ 0.68, 0.71, 0.73, 0.72 และ 0.73 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคงที่ของอัตราการผลิตปฏิกิริยาเท่ากับ 2.18×10^{-4} , 1.86×10^{-4} , 1.72×10^{-4} , 1.80×10^{-4} และ $1.75 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 23 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเสียและร้อยละการระเหยของน้ำหลังจากผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

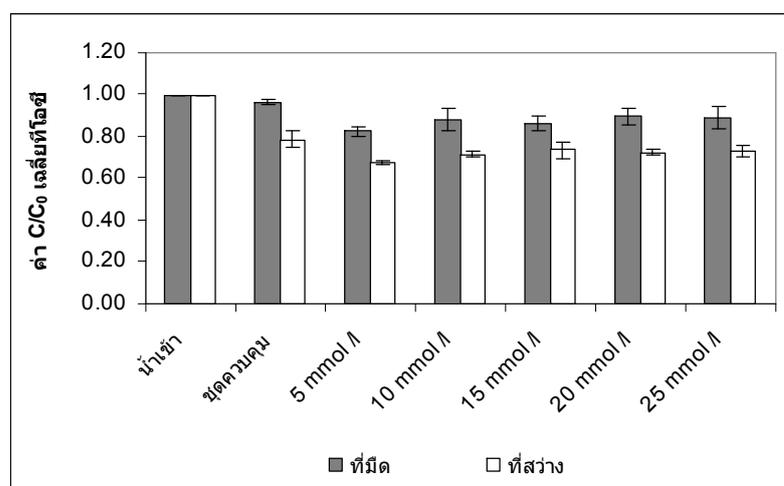
สภาวะการทดลอง	ที่มีด		ที่สว่าง	
	$I=0$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$		$I=242-408$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
	$T=43^\circ\text{c}$		$T=43^\circ\text{c}$	
	มก./ล.	ร้อยละการระเหย	มก./ล.	ร้อยละการระเหย
น้ำเข้า	4042.00	-	4042.00	-
ชุดควบคุม	4098.00	0.00-6.22	4781.33	14.74-21.77
H_2O_2 5 mmol/l	3935.67	-	4608.00	-
H_2O_2 10 mmol/l	3778.33	-	4241.33	-
H_2O_2 15 mmol/l	4126.00	-	4476.00	-
H_2O_2 20 mmol/l	4017.00	-	4514.67	-
H_2O_2 25 mmol/l	4218.33	-	4493.33	-

หมายเหตุ - คือ ไม่คิดร้อยละการระเหย เนื่องจากร้อยละการระเหยคิดเพียงที่ชุดควบคุมเท่านั้น

ตารางที่ 24 ค่า C/C_0 ของการกำจัดที่ไอซีและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำเสียหลังจากผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

สภาวะการทดลอง	ที่มีด		ที่สว่าง	
	$I=0$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$		$I=242-408$ ($\times 10$) $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
	$T=43^\circ\text{c}$		$T=43^\circ\text{c}$	
	C/C_0	$k(\text{s}^{-1})$	C/C_0	$k(\text{s}^{-1})$
น้ำเข้า	1.00	-	1.00	-
H_2O_2 5 mmol/l	0.82	1.10×10^{-4}	0.68	2.18×10^{-4}
H_2O_2 10 mmol/l	0.88	6.93×10^{-5}	0.71	1.86×10^{-4}
H_2O_2 15 mmol/l	0.86	8.48×10^{-5}	0.73	1.72×10^{-4}
H_2O_2 20 mmol/l	0.89	6.47×10^{-5}	0.72	1.80×10^{-4}
H_2O_2 25 mmol/l	0.89	6.69×10^{-5}	0.73	1.75×10^{-4}

จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะดีที่สุดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 25 มิลลิโมล/ลิตร แต่เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซีจะลดลงจนไม่ค่อยเห็นการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการกำจัดที่โอซี เนื่องจากการเติม H_2O_2 จะเป็นการเพิ่มปริมาณ OH^\cdot ประสิทธิภาพการบำบัดก็จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไป H_2O_2 ส่วนเกินจะทำปฏิกิริยากับ OH^\cdot ต่อไป ก่อให้เกิดเป็น H_2O และ O_2 ดังสมการที่ (35) และ (36) ทำให้สูญเสียปริมาณ OH^\cdot (Aleboyeh *et al.*, 2005)



ภาพที่ 41 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร โดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ที่ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย, TiO_2 3 g/l, $I = 242\text{-}480 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T = 43^\circ\text{C}$ และ $t = 30 \text{ min}$)

จากผลการศึกษาผลของค่าพีเอช ปริมาณ TiO_2 และปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่แสดงนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองในเบื้องต้นที่

ให้ผลว่าการปรับหรือไม่ปรับพีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซี ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร คือปริมาณ TiO_2 ที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีสูงสุด ส่วนปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีสูงสุด คือ 5 มิลลิโมล/ลิตร ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จะใช้ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร และที่ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย

3. การศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2) และที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$) ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

ในการศึกษานั้นจะทำการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง ที่มีอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 3.33×10^{-7} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที โดยมี TiO_2 ที่เคลือบบนแผ่นกระจกและ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณของ TiO_2 ที่ใช้เท่ากับ 0.9 กรัมต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เมื่อเคลือบลงบนแผ่นกระจกและล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วจะต้องมีปริมาณ TiO_2 เคลือบอยู่บนกระจกเท่ากับ 0.72 กรัมต่อกระจก 1 แผ่น ใช้น้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมซึ่งได้อธิบายลักษณะของน้ำเสียไว้ในหัวข้อที่ 2.1 ปริมาณ TiO_2 3 กรัม/ลิตร ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร และที่ค่าพีเอชเดิมของน้ำเสีย

3.1 การศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2)

3.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

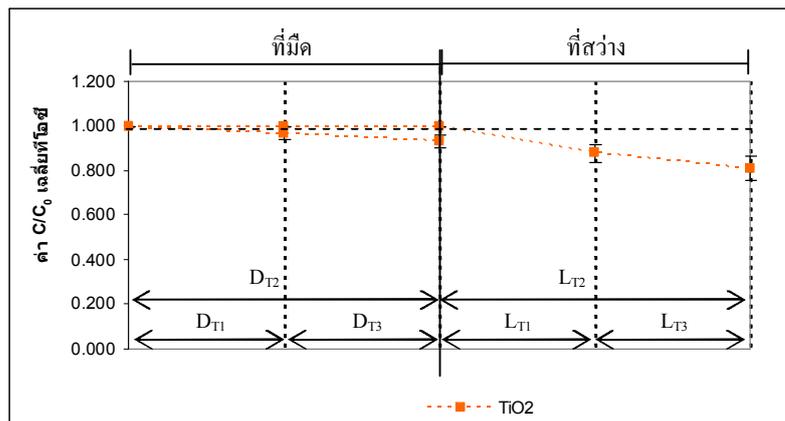
จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการ UV/ TiO_2 สามารถสรุปดังตารางที่ 25 พบว่าทั้งในที่มืดและที่สว่าง ค่าพีเอชเกิดการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากในการเกิดปฏิกิริยา เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรดต่างๆ ซึ่งหลักๆ จะได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มาจากการออกซิไดซ์พวกคาร์บอน (Mozia *et al.*, 2007) จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง

3.1.2 ผลการวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและทีโอซีที่แท้จริง ซึ่งค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะให้ค่าร้อยละการระเหยของน้ำที่ชัดเจนกว่าค่าสภาพน้ำไฟฟ้า ดังนั้นจากตารางที่ 26 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่างจะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่มืด จึงทำให้ร้อยละการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าในที่มืด โดยร้อยละการระเหยของน้ำในที่มืดของชุดควบคุมเท่ากับ 5.77-7.74 % และในที่สว่างของชุดควบคุมเท่ากับ 8.55-17.38%

3.1.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซี

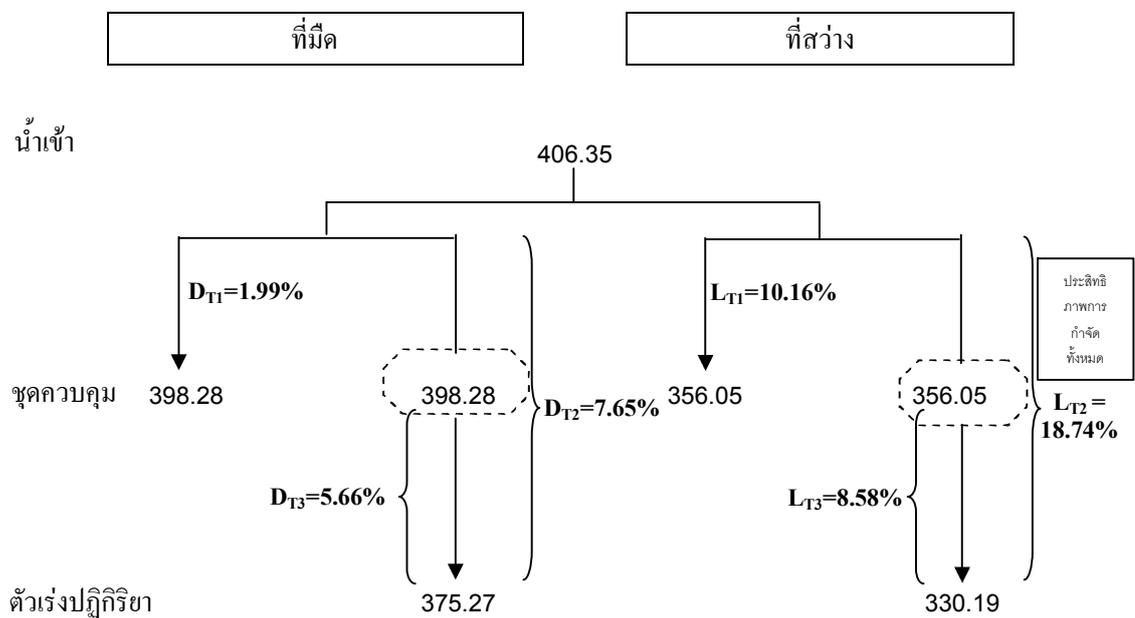
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีแสดงดังภาพที่ 42 และ 43 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีในที่มืดและที่สว่าง มีค่า C/C_0 ของการกำจัดทีโอซีเฉลี่ยเท่ากับ 0.93 และ 0.81 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 7.65% และ 18.74% ตามลำดับ



ภาพที่ 42 ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (TiO_2 3 g/l, $I = 122-400 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T = 41-44 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q = 3.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $t = 30 \text{ min}$)

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดทีโอซี แสดงดังภาพที่ 42 และ 43 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มืดกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2) มาจากการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยา (D_{T1}) ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดจะเท่ากับ 1.99%

แสดงว่าเกิดการดูดติดบนผิวถึงปฏิริยาน้อยมากจึงสามารถตัดปัจจัยด้านการดูดซับของถึงปฏิริยาได้ เมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นจะมาจากการดูดติดบนตัวเร่งปฏิริยาและการดูดซับบนถึงปฏิริยา (D_{T2}) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 7.65% จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D_{T2} มาลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของการดูดติดบนถึงปฏิริยาจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดติดบนตัวเร่งปฏิริยาเพียงอย่างเดียว (D_{T3}) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 5.66% จะเห็นว่าในที่มึ้นประสิทธิภาพของกระบวนการจะเกิดขึ้นได้น้อย ส่วนในที่สว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2) จะมาจากการดูดติดผิวบนถึงปฏิริยาและกระบวนการโฟโตไลซิส (L_{T1}) เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพการกำจัดจะเท่ากับ 10.16% ดังนั้นเมื่อดูจากชุดควบคุมในที่มึ้น แสดงว่ากระบวนการโฟโตไลซิสมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 8.17% และเมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากการดูดติดบนถึงปฏิริยา การดูดติดบนผิวตัวเร่งปฏิริยา และกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน ซึ่งคือประสิทธิภาพการกำจัดรวมของกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมด (L_{T2}) มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 18.74%



ภาพที่ 43 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (TiO_2 3 g/l, $I= 122-400 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T=41-44 \text{ }^\circ C$, $Q=3.33 \times 10^{-7} m^3/s$ และ $t=30 \text{ min}$)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำเสียไม่มีการเติม TiO_2 ไหลผ่านกระจกเปล่า

เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการ L_{T2} มาลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L_{T1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยา และกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน (L_{T3}) ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 8.58% และเมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L_{T2} และ D_{T2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 11.09% ดังนั้นจะเห็นว่ากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันจะเกิดได้ดีกว่าการดูดซับผิวตัวเร่งปฏิกิริยา

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดในที่สว่างจะเกิดได้ดีกว่าในที่มืด เนื่องจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน เป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานแสงมากระตุ้นสารกึ่งตัวนำ TiO_2 เพื่อให้ไอเล็กตรอนบริเวณผิวของ TiO_2 ถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนส์ไปยังแถบนำไฟฟ้า ทำให้เกิดโฮล ซึ่งโฮลนี้จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำหรือ OH^- เกิดเป็น OH^\bullet มาออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Kuo *et al.*, 2008)

3.2 การศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (UV/ TiO_2 / H_2O_2)

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการ UV/ TiO_2 / H_2O_2 สามารถสรุปดังตารางที่ 25 พบว่าทั้งในที่มืดและที่สว่าง ค่าพีเอชเกิดการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากในการเกิดปฏิกิริยา เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรดต่างๆ ซึ่งหลักๆ จะได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มาจากการออกซิไดซ์พวกคาร์บอน (Mozia *et al.*, 2007) จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง และการเติม H_2O_2 ที่มีค่าความเป็นกรดจึงทำให้พีเอชลดลง

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

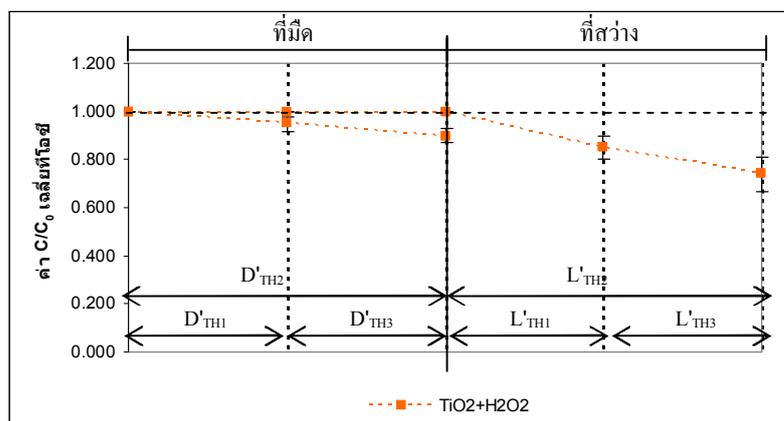
ในการทดลองนี้จะนำค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าทั้งในที่มืดและที่สว่างมาคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ เพื่อนำค่าร้อยละการระเหยของน้ำไปคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสีและทีโอซีที่แท้จริง ซึ่งค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะให้ร้อยละการระเหยของน้ำที่ชัดเจนกว่าค่าสภาพนำไฟฟ้า ดังนั้นจากตารางที่ 26 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่สว่าง

จะมีค่าสูงกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของชุดควบคุมในที่มืด จึงทำให้ร้อยละการระเหยของน้ำในที่สว่างมากกว่าในที่มืด โดยร้อยละการระเหยของน้ำในที่มืดของชุดควบคุมเท่ากับ 10.92-16.50 % และในที่สว่างของชุดควบคุมเท่ากับ 15.15-35.79%

3.2.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซี

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีแสดงดังภาพที่ 44 และ 45 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีในที่มืดและที่สว่าง มีค่า C/C_0 ของการกำจัดที่โอซีเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 และ 0.74 ตามลำดับหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 9.44% และ 25.29% ตามลำดับ

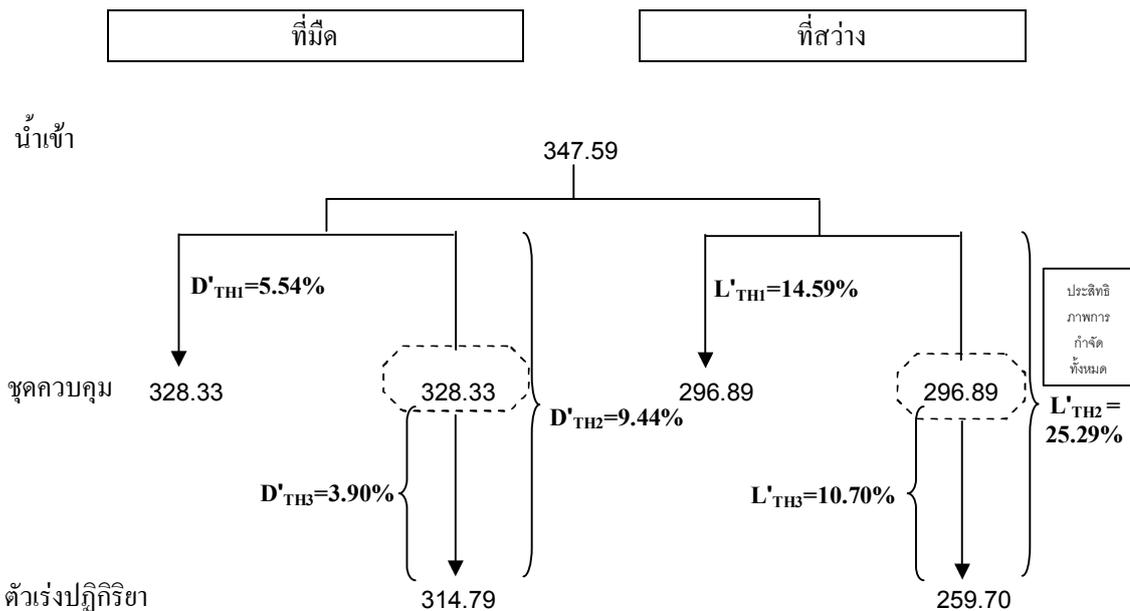
กระบวนการที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 44 และ 45 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในที่มืดกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 แต่มีการเติม H_2O_2) มาจากการดูดซับบนผิวของถึงปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 (D'_{TH1}) จะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 5.54% เมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นจะมาจากดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยา การดูดซับบนถึงปฏิกิริยา และกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 (D'_{TH2}) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 9.44%



ภาพที่ 44 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่โอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (TiO_2 3 g/l, H_2O_2 5 mmol/l, $I= 114-400 (\times 10) \mu W/cm^2$, $T=39-43 ^\circ C$, $Q=3.33 \times 10^{-7} m^3/s$ และ $t=30 min$)

จากนั้นนำประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จากกระบวนการ D'_{TH2} มาลบกับประสิทธิภาพการกำจัดของกระบวนการ D'_{TH1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว (D'_{TH3}) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 3.90% จะเห็นว่าประสิทธิภาพของการกำจัดจากการดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดได้น้อยกว่าการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยาและกระบวนการออกซิเดชันของ H_2O_2 ส่วนในที่ว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นกับชุดควบคุม (ไม่มีการเติม TiO_2 แต่มีการเติม H_2O_2) จะมาจากการดูดซับบนผิวของถังปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 (L'_{TH1}) จะมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 14.59% และเมื่อเติม TiO_2 กระบวนการที่เกิดขึ้นมาจากการดูดซับบนถังปฏิกิริยา การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 (L'_{TH2}) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 25.29% เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการ L'_{TH2} มาลบกับประสิทธิภาพจากกระบวนการ L'_{TH1} จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่มาจาก การดูดซับบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 (L'_{TH3}) มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 10.70% เห็นว่าการดูดซับบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 จะเกิดได้มากกว่ากระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 และเมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L'_{TH1} และ D'_{TH1} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 เท่ากับ 9.05% ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 เพียงอย่างเดียวได้จากนำประสิทธิภาพการกำจัดของ L'_{TH3} และ D'_{TH3} มาลบกันเท่ากับ 6.80% ส่วนกระบวนการระหว่าง TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 คำนวณได้จากนำประสิทธิภาพของ L'_{TH2} และ D'_{TH2} มาลบกันจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดจากกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันของ TiO_2 และกระบวนการโฟโตออกซิเดชันของ H_2O_2 เท่ากับ 15.85% ดังนั้นจะเห็นว่ากระบวนการที่เกิดกับ H_2O_2 จะมากกว่ากระบวนการที่เกิดกับ TiO_2

จากผลการวิเคราะห์ค่าที่ไอซีในน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการ UV/ TiO_2 และ UV/ TiO_2 / H_2O_2 สามารถสรุปค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซี ดังตารางที่ 27 ตามลำดับ และเปรียบเทียบกระบวนการต่างๆ ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 45 ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (TiO_2 3 g/l, H_2O_2 5 mmol/l, $I = 114-400 (\times 10) \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T = 39-43 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q = 3.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $t = 30 \text{ min}$)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือน้ำเสียที่มีการเติม H_2O_2 ไม่มีการเติม TiO_2 ไหลผ่านกระจกเปล่า

จากตารางที่ 27 และภาพที่ 46 จะเห็นว่าในการกำจัดที่ไอซีกระบวนการ UV/ TiO_2 / H_2O_2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $1.67 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ และกระบวนการ UV/ TiO_2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีต่ำกว่า UV/ TiO_2 / H_2O_2 โดยมีค่า C/C_0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.81 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $1.67 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

ตารางที่ 25 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการ UV/TiO₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO₂ 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H₂O₂ 5 มิลลิโมล/ลิตร

กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มืด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	น้ำผ่านการบำบัด	ชุดควบคุม	น้ำผ่านการบำบัด
UV/TiO ₂					
I=122-400 (×10)μW/cm ²	10.80	10.28	10.27	10.42	9.67
T=41-44°C					
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂					
I=114-400 (×10)μW/cm ²	11.57	10.17	10.20	10.36	10.18
T=39-43°C					

ตารางที่ 26 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำหลังการทดลองของกระบวนการ UV/TiO₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ ในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO₂ 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H₂O₂ 5 มิลลิโมล/ลิตร

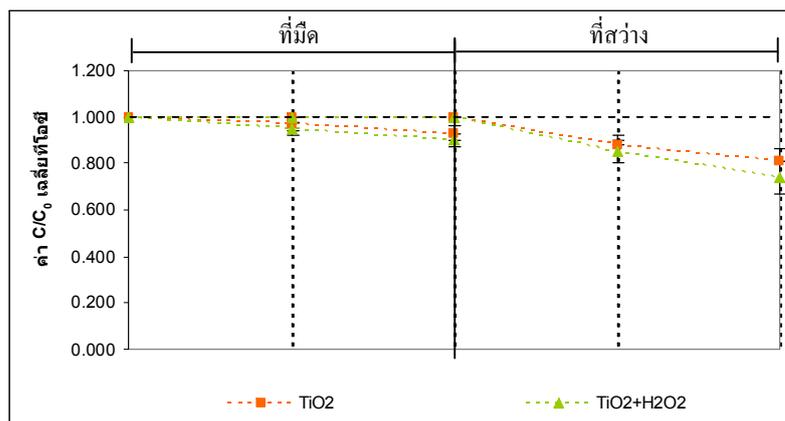
กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มืด		ที่สว่าง		น้ำผ่านการบำบัด	
		ชุดควบคุม		ชุดควบคุม			
		มก./ล.	%	มก./ล.	มก./ล.		%
UV/TiO ₂							
I=122-400 (×10)μW/cm ²	2514.67	2686.67	5.77-6.75	2450.22	2878.67	8.55-17.38	2820.89
T=41-44°C							
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂							
I=114-400 (×10)μW/cm ²	2486.67	2808.67	10.92-16.50	2818.22	3098.67	15.15-35.79	3040.00
T=39-43°C							

หมายเหตุ ร้อยละการระเหยคิดเพียงที่ชุดควบคุมเท่านั้น

ตารางที่ 27 ค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการ UV/TiO₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ หลังการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO₂ 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H₂O₂ 5 มิลลิโมล/ลิตร

กระบวนการ	น้ำเข้า	ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	น้ำผ่านการบำบัด		ชุดควบคุม	น้ำผ่านการบำบัด	
		C/C_0	C/C_0	k (s ⁻¹)	C/C_0	C/C_0	k (s ⁻¹)
UV/TiO ₂							
I=122-400 (×10)μW/cm ²	1.00	0.97	0.93	4.03×10 ⁻⁵	0.88	0.81	1.17×10 ⁻⁴
T=41-44°C							
UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂							
I=114-400 (×10)μW/cm ²	1.00	0.95	0.90	5.85×10 ⁻⁵	0.85	0.74	1.67×10 ⁻⁴
T=39-43°C							

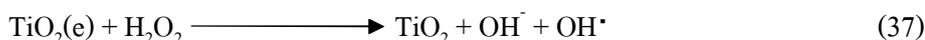
และเมื่อนำค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการทดลองในส่วนที่ 2 ซึ่งทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของ H₂O₂ ต่อกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ในถังปฏิกิริยาแบบเบดซ์ ซึ่งมี TiO₂ อยู่ในรูปแขวนลอย มีค่าเท่ากับ 0.68 และ 2.18×10⁻⁴ s⁻¹ ตามลำดับ มาเปรียบเทียบกับค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันด้วยแสงอาทิตย์ในแบบจำลองรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ตรึง TiO₂ บนแผ่นกระจกมีค่าเท่ากับ 0.74 และ 1.67×10⁻⁴ s⁻¹ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่า C/C_0 เฉลี่ยและค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ TiO₂ ในรูปแบบแขวนลอยจะมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีมากกว่าการใช้ TiO₂ ที่ตรึงบนแผ่นกระจก แต่ก็มีค่าที่ไม่ได้ต่างกันมากนัก



ภาพที่ 46 เปรียบเทียบค่า C/C_0 เหลือของการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการ UV/TiO₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ หลังการทดลองในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที ที่พีเอชเดิมน้ำเสีย ปริมาณ TiO₂ 3 กรัม/ลิตรและความเข้มข้น H₂O₂ 5 มิลลิโมล/ลิตร

และจะเห็นว่ากระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่ากระบวนการ UV/TiO₂ ในประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซี เนื่องจากกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ จะมีแหล่งของการเกิด OH[•] อยู่ 2 แห่ง คือ TiO₂ และ H₂O₂ (Tang and An, 1995)

ดังสมการ



เช่นเดียวกับ Muragunandham and Swaminathan (2004) ที่กล่าวว่า การเติม H₂O₂ ลงในกระบวนการ UV/TiO₂ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีขึ้น เพราะการเติม H₂O₂ จะทำให้เกิด OH[•] และ O₂ ไปช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น อีกทั้งการเติม H₂O₂ ยังสามารถลดการเกิดรีคอมบิเนชันได้ด้วย

แต่ประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซีระหว่างการใช้ TiO₂ อย่างเดียวและการใช้ TiO₂ ร่วมกับ H₂O₂ ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นอาจไม่จำเป็นต้องใช้ H₂O₂ ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี

จากการศึกษาในส่วนของถังปฏิกิริยาที่เป็นรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง สามารถที่จะนำค่าต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบถังปฏิกิริยา มาคำนวณหาค่าคงที่สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของแผ่นกระจกที่เคลือบด้วย TiO_2 ในสมการแมนนิง (Manning's equation) ได้เท่ากับ 16.58 เพื่อนำไปใช้ในการทดลองอื่นต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ในการศึกษาเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂, UV/H₂O₂ และ UV/TiO₂/H₂O₂ ในการบำบัดน้ำสังเคราะห์ พบว่า

กระบวนการ UV/TiO₂ ในการกำจัดสี ที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 68.849% และ 18.790% ตามลำดับ ส่วนในการกำจัดที่ไอซีที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 20.21% และ 16.03% ตามลำดับ

กระบวนการ UV/H₂O₂ ในการกำจัดสี ที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 37.785% และ 51.530% ตามลำดับ ส่วนในการกำจัดที่ไอซีที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 32.78% และ 38.44% ตามลำดับ

กระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂ ในการกำจัดสี ที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 65.068% และ 17.494% ตามลำดับ ส่วนในการกำจัดที่ไอซีที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอช มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 17.02% และ 20.66% ตามลำดับ

ดังนั้นในการกำจัดสีกระบวนการ UV/TiO₂ ที่ไม่ปรับพีเอชมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนในการกำจัดที่ไอซีกระบวนการ UV/H₂O₂ ที่ปรับพีเอชมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาค TiO₂ สามารถดูดซับสีได้ดีที่สภาวะค่าพีเอชเป็นกรด ส่วนการกำจัดที่ไอซีจะสามารถทำได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง

2. การศึกษาผลของปัจจัยต่อการเกิดปฏิกิริยา

การศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยา พบว่า ค่าพีเอชไม่แสดงนัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม

การศึกษาผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา พบว่า ปริมาณ TiO_2 ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม คือ 3 กรัม/ลิตร

การศึกษาผลของความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลม คือ 5 มิลลิโมล/ลิตร

3. การศึกษากระบวนการ UV/TiO_2 และ $\text{UV}/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมโดยใช้รางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง พบว่ากระบวนการ $\text{UV}/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งในรูปแบบที่ไอซีได้ดีกว่ากระบวนการ UV/TiO_2 มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 25.29% และ 18.74% ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากข้อจำกัดของประสิทธิภาพอยู่ที่การเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชัน โดยการใช้แสงอาทิตย์ในแบบจำลองรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง ถ้านำระบบนี้มาใช้จริงโดยไม่ทำการปรับปรุงจะต้องใช้พื้นที่จำนวนมาก แต่ถ้าจะลดขนาดพื้นที่และต้องการเพิ่มประสิทธิภาพอาจต้องเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดอัลตราไวโอเล็ต หรืออาจเปลี่ยนเป็นการนำระบบนี้ไปใช้น้ำเสียประเภทอื่นที่มีการเจือปนของสิ่งปนเปื้อนที่น้อยกว่าน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ นอกจากนี้ อาจมีการศึกษาในเรื่องของประสิทธิภาพการกำจัดในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นก่อนนำไปใช้จริง

2. ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่คำนวณได้จากค่าต่างๆ ที่ใช้ออกแบบถังปฏิกิริยาที่เป็นรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง สามารถนำไปใช้ในการทดลองอื่นๆ ต่อไปได้ เมื่อใช้ TiO_2 เคลือบบนวัสดุต่างๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. รายงานภาวะเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมเฉพาะประเภท: อุตสาหกรรมน้ำอัดลม. 54.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.

พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูล และ อภิชน วัชรนทร่วงศ์. ม.ป.ป. พฤติกรรมการดูดซับโครเมียม (VI) บนผิวของไททาเนียมไดออกไซด์. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย (1): 87-95.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2543. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ลัดดา แสงสุวรรณถาวร. 2545. การกำจัดสีรีแอกทีฟเฟลโล 17 และสีรีแอกทีฟบลู 19 ด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุทธินันท์ สิริพงษ์. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไลวรรณ จันทร์มณี. 2548. การบำบัดสีและโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริชัย ภิบาลจอมภู. 2543. การกำจัดสีของน้ำเสียสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- สุจินต์ เขียมปี. 2544. การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมสีโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาดา ขางเอน. 2546. การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีรวิทย์ ปู่ฟ้า. 2544. กระบวนการบำบัดขั้นต้นโดย UV/H₂O₂ สำหรับสารซักล้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุษาพร เลิศวิภูถ. 2545. การลดซีโอทีในน้ำเสียโรงงานไม้อัดแผ่นเรียบโดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Aceituno, Monica, Constantine D. Stalikas, Loreto Lunar, Soledad Rubio and Dolores Perez-Bendito. 2002. H₂O₂/TiO₂ photocatalytic oxidation of metol. Identification of intermediates and reaction partways. **Water Research** 2002 (36): 3582-3592.
- Aleboye, Azam, Yasser Moussa and Hamid Aleboye. 2004. The effect of operational parameters on UV/H₂O₂ decolorisation of Acid Biue 74. **Dyes and Pigments** 2005 (66): 129-134.
- Al-Ekabi, H., G. Edwards, W. Holden, A. Safarazadeh-Amiri and J. Story. 1991. **Water treatment by heterogeneous photocatalysis**, pp. 254-261. In W.W. Echenfelder, A.R. Bowers and J.A. Roth(eds.). Chemical Oxidation. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster
- Bahnamann, W., M. Muneer and M.M. Haque. 2007. Titanium dioxide-mediated photocatalysed degradation of few salected organic pollutions in aqueous suspensions. **Catalysis Today** 2007 (124): 133-148.

- Behnajady, M.A., N. Modirshahla and M. Shokri. 2003. Photodestruction of Acid Orange 7 (AO7) in aqueous solution by UV/H₂O₂: influence of operational parameters. **Chemosphere** 2004 (55): 129-134.
- Chan, Alex H.C., Chak K. Chan, John P. Barford and John F. porter. 2002. Solar photocatalytic thin film cascade reactor for treatment of benzoic acid containing wastewater. **Water research** 2003 (37): 1125-1135.
- Costa, A.P. Francisco, Edson M. dos Reis, Julio C.R. Azeveco and Jorge Nozaki. 2004. Bleaching and photodegradation of textile dyes by H₂O₂ and solar or ultraviolet radiation. **Solar Energy** 2004 (77): 29-35.
- Karunakaran, C., S. Senthilvelan and S. Karuthapandian. 2004. TiO₂-photocatalyzed oxidation of aniline. **Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry** 2005 (172): 207-213.
- Kuo, W.S. and P.H. Ho. 2000. Solar photocatalytic decolorization of methylene blue in water. **Chemosphere** 2001 (45): 77-83.
- Kuo, W.S., Y.H. Chiang and L.S. Lai. 2006. Solar photocatalysis of carbaryl rinsate promoted by dye photosensitization. **Dyes and Pigments** 2008 (76): 82-87.
- Lakshmi, S., R. Renganathan and S. Fujita. 1994. Study on TiO₂-mediated photocatalytic degradation of methylene blue. **Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry** 1995 (88): 163-167.
- Modirshahla, N. and M.A. Behnajady. 2005. Photooxidation degradation of Malachite Green (MG) by UV/H₂O₂: Influence of operational parameters and kinetic modeling. **Dyes and Pigments** 2006 (70): 54-59.

- Mohamed, Mohamed Mokhtar and Mater M. Al-Esaimi. 2006. Characterization, adsorption and photocatalytic activity of vanadium-doped TiO₂ and sulfated TiO₂ (rutile) catalysts: Degradation of methylene blue dye. **Journal Of Molecular Catalysis A: Chemical** 2006 (255): 53-61.
- Mozia, Sylwia, Maria Tomaszewska and Antoni W. Molawski. 2006. Photodegradation of azo dye Acid Red 18 in a quartz labyrinth flow reactor with immobilized TiO₂ bed. **Dyes and Pigments** 2007 (75): 60-66.
- Muruganandham, M. and M. Swaminathan. 2003. Photochemical oxidation of reactive azo dye with UV-H₂O₂ process. **Dyes and Pigments** 2004 (62): 269-275.
- Muruganandham, M., N. Shobana and M. Swaminathan. 2005. Optimization of solar photocatalytic degradation conditions of Reactive Yellow 14 azo dye in aqueous TiO₂. **Journal Of Molecular Catalysis A:Chemical** 2006 (246): 154-161.
- Nemerom, L. Nelson. 1978. **Industrial water pollution**. Addison-wesley publishing company
- Oppenlandar, Thomas. 2003. **Photochemical purification of water and air**. Wiley-VCH Verlag, Germany.
- Porges, R. and E.J. Struzeski. 1961. Wastes from the soft drink bottling industry, p. 331. *In* **Proceedings of 15th Industrial Waste Conference**. Purdue University. *Cited* Nemerom, L. Nelson. 1978. **Industrial water pollution**. Addison-wesley publishing company
- Saquib, M., M. Abu Tariq, M. Faisal and M. Muneer. 2007. Photocatalytic degradation of two selected dye derivatives in aqueous of titanium dioxide. **Desalination** 2008 (219): 301-311.

- Shifu, Chen, Chen Lei, Gao Shen and Cao Gengyu. 2005. The preparation of coupled SnO₂/TiO₂ photocatalyst by ball milling. **Materials Chemistry and Physics** 2006 (98): 116-120.
- Tang, Walter Z. and Huren An. 1995. UV/TiO₂ Photocatalytic Oxidation of Commercial Dyes in Aqueous Solutions. **Chemosphere** 1995 (31): 4157-4170.
- Tobiska, W.K. and A.A. Nusinov, Status of ISO Draft International Standard for Determining Solar Irradiances (DIS 21348). *Ads. Space Res.*, submitted. 2004.
- Villanueva, Susana Flores and Susana Silva Martinez. 2007. TiO₂-assisted degradation of acid orange 7 textile dye under solar light. **Solar energy materials and solar cells** 2007 (91): 1492-1495
- Yang, C., Y.R. Xu, K.C. Teo, N.K. Goh, L.S. Chia and R.J. Xie. 2005. Destruction of organic pollutants in reuseable wastewater using advanced oxidation technology. **Chemosphere** 2005 (59): 441-445.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ลักษณะน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

ครั้งที่	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์				
	พีเอช	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)	สี	ทีไอซี (มก./ล.)	ทีดีเอส (มก./ล.)
1	3.10	309.00	1.772	36596.36	120544.00
2	3.10	370.00	2.059	41653.33	125376.00
3	3.03	380.00	1.772	36596.36	120544.00
ค่าเฉลี่ย	3.08	353.00	1.868	38282.02	122154.67
SD	0.04	38.43	0.17	2919.64	2789.76
ค่าสูงสุด	3.10	380.00	2.059	41653.33	125376.00
ค่าต่ำสุด	3.03	309.00	1.772	36596.36	120544.00

ตารางผนวกที่ ก2 ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

ครั้งที่	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์					
	พีเอช	ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)	บีไอซี (มก./ล.)	ซีไอซี (มก./ล.)	ทีไอซี (มก./ล.)	ทีดีเอส (มก./ล.)
1	10.50	-	600.00	794.88	-	1018.00
2	11.65	1858.00	-	704.00	-	1870.00
3	6.32	1046.00	-	911.84	-	1450.00
4	12.06	1239.00	1200.00	1696.00	-	2448.00
5	11.88	1341.00	850.50	915.38	-	1684.00
6	-	-	-	2227.11	-	-
7	-	-	-	1800.00	-	-
8	-	-	-	1744.32	-	-
9	-	-	1035.00	1070.16	-	-
10	12.28	-	-	1368.00	-	-
11	-	-	832.50	-	-	-
12	12.04	-	-	1984.00	-	-
13	11.97	-	-	1464.00	-	-
14	11.77	1436.00	1402.50	1620.48	-	-
15	-	-	-	1576.96	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ) ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

ครั้งที่	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์					
	พีเอช	ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีโอดี (มก./ล.)	ทีดีเอส (มก./ล.)
16	12.40	4590.00	1050.00	1351.68	-	-
17	-	-	-	1100.00	-	-
18	10.93	1813.00	1605.00	-	-	-
19	9.15	-	-	1305.60	-	-
20	10.41	700.00	-	860.16	-	-
21	11.94	1503.00	-	1360.00	-	-
22	10.72	1200.00	-	1950.40	-	-
23	12.03	1700.00	-	768.00	-	-
24	11.06	1281.00	-	729.60	-	-
25	10.53	960.00	-	2200.00	-	-
26	-	-	-	1136.80	-	-
27	-	-	-	861.12	-	-
28	-	-	-	1067.20	-	-
29	11.57	654.00	-	844.80	-	-
30	11.46	1246.00	-	1332.80	-	-
31	11.32	986.00	-	1152.00	-	-
32	11.24	1100.00	-	842.80	-	-
33	11.42	1203.00	-	1030.40	-	-
34	11.31	1078.00	-	902.40	-	-
35	12.04	1115.00	-	960.00	-	-
36	7.83	1118.00	-	413.60	-	-
37	11.88	1484.00	-	560.00	-	-
38	11.80	1253.00	-	1440.00	-	-
39	11.93	1356.00	-	1080.00	-	-
40	10.96	860.00	-	2720.00	-	3938.00
41	10.82	928.00	-	2480.00	-	3228.00
42	11.91	1901.00	-	1620.00	-	2680.00
43	11.67	1894.00	-	1280.00	-	2708.00

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ) ลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำอัดลมที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

ครั้งที่	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์					
	พีเอช	ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีโอดี (มก./ล.)	ทีดีเอส (มก./ล.)
44	11.93	930.00	-	1240.00	-	2644.00
45	11.19	1601.00	-	2000.00	-	2440.00
46	10.82	1412.00	-	2022.72	-	2916.00
47	11.07	1218.00	-	-	1110.55	3988.00
48	10.35	1180.00	-	-	1151.27	4150.00
49	10.04	1151.00	-	-	1109.82	4530.00
50	10.78	890.00	630.00	-	320.15	1872.00
51	10.74	1130.00	615.00	-	365.09	2532.00
52	11.36	1810.00	720.00	-	140.65	1480.00
53	11.29	1580.00	-	-	140.57	1444.00
54	10.87	1580.00	1290.00	-	466.33	3140.00
55	10.88	1340.00	-	2156.00	-	2400.00
56	10.71	1270.00	-	2040.00	-	3896.00
57	10.82	1250.00	-	2200.00	-	3032.00
58	10.56	1281.00	-	2156.00	-	3412.00
59	10.71	1228.00	-	1881.60	-	3328.00
60	10.74	1315.00	-	2280.00	-	3212.00
61	11.43	1760.00	-	-	290.76	2144.00
62	11.34	1660.00	-	-	284.80	2180.00
63	11.37	1694.00	-	-	291.35	2188.00
64	11.36	1672.00	-	-	296.44	2080.00
65	11.29	1630.00	-	-	285.96	2352.00
66	11.29	2540.00	1170.00	-	385.31	2984.00
67	11.39	1690.00	960.00	-	425.02	2464.00
68	11.54	1470.00	810.00	-	232.00	2012.00
ค่าเฉลี่ย	11.12	1417.45	984.70	1424.06	456.00	2642.47
SD	0.99	564.72	303.89	562.89	342.47	849.74
ค่าสูงสุด	12.40	4590.00	1605.00	2720.00	1151.27	4530.00
ค่าต่ำสุด	6.32	654.00	600.00	413.60	232.00	1018.00

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองเบื้องต้น

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าพีเอชของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
1	3.10	3.08	3.17	11.17	3.03	3.11	10.90
2	3.10	3.08	3.10	10.97	3.03	3.13	10.66
3	3.10	3.08	3.06	11.21	3.03	3.12	10.57
ค่าเฉลี่ย	3.10	3.08	3.11	11.12	3.03	3.12	10.71
SD	0.00	0.00	0.06	0.13	0.00	0.01	0.17
ค่าสูงสุด	3.10	3.08	3.17	11.21	3.03	3.13	10.90
ค่าต่ำสุด	3.10	3.08	3.06	10.97	3.03	3.11	10.57

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าพีเอชของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
1	3.10	3.12	3.00	10.53	2.87	2.99	9.69
2	3.10	3.12	3.03	10.43	2.87	2.84	9.55
3	3.10	3.12	3.01	10.51	2.87	2.79	9.04
ค่าเฉลี่ย	3.10	3.12	3.01	10.49	2.87	2.87	9.43
SD	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.10	0.34
ค่าสูงสุด	3.10	3.12	3.03	10.53	2.87	2.99	9.69
ค่าต่ำสุด	3.10	3.12	3.00	10.43	2.87	2.79	9.04

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าพีเอชของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H₂O₂/TiO₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
1	3.03	3.08	3.12	10.39	2.98	3.06	9.89
2	3.03	3.08	3.14	10.64	2.98	3.14	10.00
3	3.03	3.08	3.19	10.43	2.98	3.06	9.90
ค่าเฉลี่ย	3.03	3.08	3.15	10.49	2.98	3.09	9.93
SD	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.05	0.06
ค่าสูงสุด	3.03	3.08	3.19	10.64	2.98	3.14	10.00
ค่าต่ำสุด	3.03	3.08	3.12	10.39	2.98	3.06	9.89

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
1	309.00	390.00	300.00	2100.00	390.00	340.00	1940.00
2	309.00	390.00	320.00	1690.00	390.00	340.00	1650.00
3	309.00	390.00	330.00	2090.00	390.00	310.00	1740.00
ค่าเฉลี่ย	309.00	390.00	316.67	1960.00	390.00	330.00	1776.67
SD	0.00	0.00	15.28	233.88	0.00	17.32	148.44
ค่าสูงสุด	309.00	390.00	330.00	2100.00	390.00	340.00	1940.00
ค่าต่ำสุด	309.00	390.00	300.00	1690.00	390.00	310.00	1650.00

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ของการทดลองเบื้องต้นของ
กระบวนการ UV/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
1	370.00	350.00	400.00	3320.00	390.00	430.00	1880.00
2	370.00	350.00	380.00	2490.00	390.00	400.00	1860.00
3	370.00	350.00	410.00	3320.00	390.00	420.00	1790.00
ค่าเฉลี่ย	370.00	350.00	396.67	3043.33	390.00	416.67	1843.33
SD	0.00	0.00	15.28	479.20	0.00	15.28	47.26
ค่าสูงสุด	370.00	350.00	410.00	3320.00	390.00	430.00	1880.00
ค่าต่ำสุด	370.00	350.00	380.00	2490.00	390.00	400.00	1790.00

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ของการทดลองเบื้องต้นของ
กระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	ชุดควบคุม	ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
1	380.00	400.00	330.00	2250.00	430.00	370.00	1310.00
2	380.00	400.00	320.00	4330.00	430.00	340.00	1380.00
3	380.00	400.00	320.00	2480.00	430.00	360.00	1340.00
ค่าเฉลี่ย	380.00	400.00	323.33	3020.00	430.00	356.67	1343.33
SD	0.00	0.00	5.77	1140.31	0.00	15.28	35.12
ค่าสูงสุด	380.00	400.00	330.00	4330.00	430.00	370.00	1380.00
ค่าต่ำสุด	380.00	400.00	320.00	2250.00	430.00	340.00	1310.00

ตารางผนวกที่ ข7 ผลการกำจัดสีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีสี						ที่สว่าง					
	Abs.	C/C ₀	ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12	
1	1.772	1.000	1.694	0.956	0.637	0.359	1.663	0.938	1.483	0.837	0.564	0.318	1.483	0.837
2	1.772	1.000	1.694	0.956	0.653	0.369	1.682	0.949	1.483	0.837	0.570	0.322	1.478	0.834
3	1.772	1.000	1.694	0.956	0.673	0.380	1.691	0.954	1.483	0.837	0.522	0.294	1.439	0.812
ค่าเฉลี่ย	1.772	1.000	1.694	0.956	0.654	0.369	1.691	0.954	1.483	0.837	0.552	0.311	1.439	0.812
SD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.015	0.000	0.000
ค่าสูงสุด	1.772	1.000	1.694	0.956	0.673	0.380	1.691	0.954	1.483	0.837	0.570	0.322	1.439	0.812
ค่าต่ำสุด	1.772	1.000	1.694	0.956	0.637	0.359	1.691	0.954	1.483	0.837	0.522	0.294	1.439	0.812

หมายเหตุ ค่าของครั้งที่ 1 และ 2 ออกในสภาวะที่ปรับพีเอช 12 ทั้งในที่มืดและที่สว่าง

ตารางผนวกที่ ข8 ผลการกำจัดสีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีสี						ที่สว่าง					
	Abs.	C/C ₀	ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12	
1	2.059	1.000	1.789	0.869	1.711	0.831	1.276	0.620	1.514	0.735	1.270	0.617	0.998	0.485
2	2.059	1.000	1.789	0.869	1.599	0.777	1.319	0.641	1.514	0.735	1.289	0.626	1.262	0.613
3	2.059	1.000	1.789	0.869	1.739	0.845	1.275	0.619	1.514	0.735	1.285	0.624	1.244	0.604
ค่าเฉลี่ย	2.059	1.000	1.789	0.869	1.683	0.817	1.276	0.620	1.514	0.735	1.281	0.622	0.998	0.485
SD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.005	0.000	0.000
ค่าสูงสุด	2.059	1.000	1.789	0.869	1.739	0.845	1.276	0.620	1.514	0.735	1.289	0.626	0.998	0.485
ค่าต่ำสุด	2.059	1.000	1.789	0.869	1.599	0.777	1.276	0.620	1.514	0.735	1.270	0.617	0.998	0.485

หมายเหตุ ค่าของครั้งที่ 2 และ 3 ออกในสภาวะที่ปรับพีเอช 12 ทั้งในที่มืดและที่สว่าง

ตารางผนวกที่ ข9 ผลการกำจัดสีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีสี						ที่สว่าง					
			ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12	
	Abs.	C/C ₀	Abs.	C/C ₀	Abs.	C/C ₀	Abs.	C/C ₀	Abs.	C/C ₀	Abs.	C/C ₀	Abs.	C/C ₀
1	1.772	1.000	1.730	0.976	0.681	0.384	1.603	0.904	1.629	0.919	0.617	0.348	1.387	0.783
2	1.772	1.000	1.730	0.976	0.736	0.415	1.652	0.932	1.629	0.919	0.628	0.354	1.472	0.831
3	1.772	1.000	1.730	0.976	0.664	0.375	1.564	0.882	1.629	0.919	0.611	0.345	1.528	0.862
ค่าเฉลี่ย	1.772	1.000	1.730	0.976	0.693	0.391	1.606	0.906	1.629	0.919	0.619	0.349	1.462	0.825
SD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.021	0.044	0.025	0.000	0.000	0.008	0.005	0.071	0.040
ค่าสูงสุด	1.772	1.000	1.730	0.976	0.736	0.415	1.652	0.932	1.629	0.919	0.628	0.354	1.528	0.862
ค่าต่ำสุด	1.772	1.000	1.730	0.976	0.664	0.375	1.564	0.882	1.629	0.919	0.611	0.345	1.387	0.783

ตารางผนวกที่ ข10 ผลการกำจัดที่โอดีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีสี						ที่สว่าง					
			ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12	
	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀
1	36596.36	1.00	36589.09	1.00	34162.18	0.93	36179.64	0.99	33896.39	0.93	28842.25	0.79	33155.11	0.91
2	36596.36	1.00	36589.09	1.00	34717.09	0.95	35698.18	0.98	33896.39	0.93	30863.91	0.84	32696.87	0.89
3	36596.36	1.00	36589.09	1.00	34834.91	0.95	35715.64	0.98	33896.39	0.93	27898.82	0.76	30729.13	0.84
ค่าเฉลี่ย	36596.36	1.00	36589.09	1.00	34571.39	0.94	35715.64	0.98	33896.39	0.93	29201.66	0.80	30729.13	0.84
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	359.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1514.87	0.04	0.00	0.00
ค่าสูงสุด	36596.36	1.00	36589.09	1.00	34834.91	0.95	35715.64	0.98	33896.39	0.93	30863.91	0.84	30729.13	0.84
ค่าต่ำสุด	36596.36	1.00	36589.09	1.00	34162.18	0.93	35715.64	0.98	33896.39	0.93	27898.82	0.76	30729.13	0.84

หมายเหตุ ค่าค่าของครั้งที่ 1 และ 2 ออกในสภาวะที่ปรับพีเอช 12 ทั้งในที่มืดและที่สว่าง

ตารางผนวกที่ ข11 ผลการกำจัดที่ไอซีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มืด						ที่สว่าง					
			ชุดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชุดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12	
	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀
1	41653.33	1.00	35607.87	0.85	36560.00	0.88	34717.88	0.83	32723.77	0.79	31871.01	0.77	32718.53	0.79
2	41653.33	1.00	35607.87	0.85	36800.00	0.88	31496.27	0.76	32723.77	0.79	33105.80	0.79	24245.99	0.58
3	41653.33	1.00	35607.87	0.85	34320.00	0.82	31573.33	0.76	32723.77	0.79	27998.15	0.67	27040.00	0.65
ค่าเฉลี่ย	41653.33	1.00	35607.87	0.85	34320.00	0.82	31534.80	0.76	32723.77	0.79	27998.15	0.67	25643.00	0.62
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1975.66	0.05
ค่าสูงสุด	41653.33	1.00	35607.87	0.85	34320.00	0.82	31573.33	0.76	32723.77	0.79	27998.15	0.67	27040.00	0.65
ค่าต่ำสุด	41653.33	1.00	35607.87	0.85	34320.00	0.82	31496.27	0.76	32723.77	0.79	27998.15	0.67	24245.99	0.58

หมายเหตุ ตัดค่าของครั้งที่ 1 และ 2 ออกในสถานะที่ไม่ปรับพีเอชและค่าของครั้งที่ 1 ในสถานะที่ปรับพีเอช 12 ทั้งในที่มืดและที่สว่าง

ตารางผนวกที่ ข12 ผลการกำจัดที่ไอซีของการทดลองเบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มืด						ที่สว่าง					
			ชุดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชุดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12	
	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀
1	36596.36	1.00	36448.26	1.00	36139.15	0.99	35160.42	0.96	33927.66	0.93	29864.09	0.82	30946.95	0.85
2	36596.36	1.00	36448.26	1.00	36082.68	0.99	34827.42	0.95	33927.66	0.93	29921.09	0.82	24210.43	0.66
3	36596.36	1.00	36448.26	1.00	35796.73	0.98	35274.79	0.96	33927.66	0.93	31317.40	0.86	31944.32	0.87
ค่าเฉลี่ย	36596.36	1.00	36448.26	1.00	36006.19	0.98	35087.54	0.96	33927.66	0.93	30367.53	0.83	29033.90	0.79
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	183.57	0.01	232.42	0.01	0.00	0.00	823.11	0.02	4206.91	0.11
ค่าสูงสุด	36596.36	1.00	36448.26	1.00	36139.15	0.99	35274.79	0.96	33927.66	0.93	31317.40	0.86	31944.32	0.87
ค่าต่ำสุด	36596.36	1.00	36448.26	1.00	35796.73	0.98	34827.42	0.95	33927.66	0.93	29864.09	0.82	24210.43	0.66

ตารางผนวกที่ ข13 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของการทดลอง
เบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก							
		ที่มีด			ที่สว่าง				
		หาคควบคุม		ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	หาคควบคุม		ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
		mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l
1	120544.00	120520.00	0.00	116288.00	122096.00	129393.00	7.34	125972.00	128508.00
2	120544.00	120520.00	0.00	113808.00	121824.00	129393.00	7.34	127844.00	132302.00
3	120544.00	120520.00	0.00	116864.00	121440.00	129393.00	7.34	130550.00	132455.00
ค่าเฉลี่ย	120544.00	120520.00	0.00	115653.33	121786.67	129393.00	7.34	128122.00	131088.33
SD	0.00	0.00	0.00	1623.85	329.59	0.00	0.00	2301.63	2235.94
ค่าสูงสุด	120544.00	120520.00	0.00	116864.00	122096.00	129393.00	7.34	130550.00	132455.00
ค่าต่ำสุด	120544.00	120520.00	0.00	113808.00	121440.00	129393.00	7.34	125972.00	128508.00

ตารางผนวกที่ ข14 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของการทดลอง
เบื้องต้นของกระบวนการ UV/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก							
		ที่มีด			ที่สว่าง				
		หาคควบคุม		ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12	หาคควบคุม		ไม่ปรับ pH	ปรับ pH 12
		mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l
1	125376.00	121328.00	0.00	121600.00	124576.00	121184.00	0.00	122448.00	124624.00
2	125376.00	121328.00	0.00	120080.00	88784.00	121184.00	0.00	118736.00	124800.00
3	125376.00	121328.00	0.00	120560.00	123472.00	121184.00	0.00	120656.00	120928.00
ค่าเฉลี่ย	125376.00	121328.00	0.00	120746.67	112277.33	121184.00	0.00	120613.33	123450.67
SD	0.00	0.00	0.00	777.00	20353.31	0.00	0.00	1856.37	2186.47
ค่าสูงสุด	125376.00	121328.00	0.00	121600.00	124576.00	121184.00	0.00	122448.00	124800.00
ค่าต่ำสุด	125376.00	121328.00	0.00	120080.00	88784.00	121184.00	0.00	118736.00	120928.00

ตารางผนวกที่ ข15 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของการทดลอง
เบื้องต้นของกระบวนการ UV/TiO₂/H₂O₂

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก									
		ที่มีค				ที่สว่าง					
		ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH		ปรับ pH 12		ชดควบคุม		ไม่ปรับ pH	
		mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l		
1	120544.00	121101.00	0.46	108640.00	118992.00	123008.00	2.04	114624.00	135104.00		
2	120544.00	121101.00	0.46	107712.00	119744.00	123008.00	2.04	114848.00	122864.00		
3	120544.00	121101.00	0.46	105472.00	126608.00	123008.00	2.04	115784.00	149888.00		
ค่าเฉลี่ย	120544.00	121101.00	0.46	107274.67	121781.33	123008.00	2.04	115085.33	135952.00		
SD	0.00	0.00	0.00	1628.65	4196.89	0.00	0.00	615.34	13531.94		
ค่าสูงสุด	120544.00	121101.00	0.46	108640.00	126608.00	123008.00	2.04	115784.00	149888.00		
ค่าต่ำสุด	120544.00	121101.00	0.46	105472.00	118992.00	123008.00	2.04	114624.00	122864.00		

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลองของการศึกษาผลของพีเอช ปริมาณ TiO_2
และปริมาณความเข้มข้นของ H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยา

ตารางผนวกที่ ค1 ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มืด					
		ชุดควบคุม	พีเอช				
3	5		7	9	12		
1	10.96	10.75	3.20	7.44	8.44	9.10	11.71
2	10.96	10.66	3.18	7.15	8.39	8.93	11.81
3	10.82	10.58	3.14	7.37	8.66	9.02	11.68
ค่าเฉลี่ย	10.91	10.66	3.17	7.32	8.50	9.02	11.73
SD	0.08	0.09	0.03	0.15	0.14	0.09	0.07
ค่าสูงสุด	10.96	10.75	3.20	7.44	8.66	9.10	11.81
ค่าต่ำสุด	10.82	10.58	3.14	7.15	8.39	8.93	11.68

ตารางผนวกที่ ค2 ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่สว่าง					
		ชุดควบคุม	พีเอช				
3	5		7	9	12		
1	10.96	10.82	3.44	6.82	8.90	9.15	11.89
2	10.96	10.78	3.23	5.95	8.76	9.13	11.55
3	10.82	10.78	3.24	5.70	8.20	8.79	11.89
ค่าเฉลี่ย	10.91	10.79	3.30	6.16	8.62	9.02	11.78
SD	0.08	0.02	0.12	0.59	0.37	0.20	0.20
ค่าสูงสุด	10.96	10.82	3.44	6.82	8.90	9.15	11.89
ค่าต่ำสุด	10.82	10.78	3.23	5.70	8.20	8.79	11.55

ตารางผนวกที่ ค3 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลองผล
ของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยาในที่มืดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มืด					
		ชุดควบคุม	พีเอช				
		3	5	7	9	12	
1	1281.00	1300.00	1629.00	1393.00	1343.00	1309.00	3160.00
2	1315.00	1288.00	1757.00	1459.00	1508.00	1346.00	3860.00
3	1228.00	1204.00	1646.00	1348.00	1209.00	1206.00	3240.00
ค่าเฉลี่ย	1274.67	1264.00	1677.33	1400.00	1353.33	1287.00	3420.00
SD	43.84	52.31	69.51	55.83	149.77	72.55	383.14
ค่าสูงสุด	1315.00	1300.00	1757.00	1459.00	1508.00	1346.00	3860.00
ค่าต่ำสุด	1228.00	1204.00	1629.00	1348.00	1209.00	1206.00	3160.00

ตารางผนวกที่ ค4 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลองผล
ของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่สว่าง					
		ชุดควบคุม	พีเอช				
		3	5	7	9	12	
1	1281.00	1288.00	1412.00	1114.00	1049.00	1063.00	1420.00
2	1315.00	1398.00	1820.00	1197.00	1015.00	1032.00	1343.00
3	1228.00	1274.00	1562.00	1014.00	1045.00	1133.00	1759.00
ค่าเฉลี่ย	1274.67	1320.00	1598.00	1108.33	1036.33	1076.00	1507.33
SD	43.84	67.91	206.37	91.63	18.58	51.74	221.32
ค่าสูงสุด	1315.00	1398.00	1820.00	1197.00	1049.00	1133.00	1759.00
ค่าต่ำสุด	1228.00	1274.00	1412.00	1014.00	1015.00	1032.00	1343.00

ตารางผนวกที่ ค5 ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะ
 ลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีค											
	ชุดควบคุม		พีเอช											
			3		5		7		9		12			
mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	
1	2720.00	1.00	2700.00	0.99	2693.00	0.99	2693.00	0.99	2622.00	0.96	2710.00	1.00	2684.00	0.99
2	2720.00	1.00	2695.39	0.99	2685.77	0.99	2646.30	0.97	2659.77	0.98	2664.59	0.98	2682.88	0.99
3	1881.60	1.00	2100.00	1.12	1940.00	1.03	1480.00	0.79	1850.00	0.98	1850.00	0.98	1890.00	1.00
ค่าเฉลี่ย	2720.00	1.00	2697.70	0.99	2689.38	0.99	2669.65	0.98	2640.89	0.97	2687.29	0.99	2683.44	0.99
SD	0.00	0.00	3.26	0.00	5.12	0.00	33.02	0.01	26.71	0.01	32.11	0.01	0.79	0.00
ค่าสูงสุด	2720.00	1.00	2700.00	0.99	2693.00	0.99	2693.00	0.99	2659.77	0.98	2710.00	1.00	2684.00	0.99
ค่าต่ำสุด	2720.00	1.00	2695.39	0.99	2685.77	0.99	2646.30	0.97	2622.00	0.96	2664.59	0.98	2682.88	0.99

หมายเหตุ ตัดค่าของครั้งที่ 3 ออกในที่มืด

ตารางผนวกที่ ค6 ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะ
 ลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่สว่าง											
	ชุดควบคุม		พีเอช											
			3		5		7		9		12			
mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	
1	2720.00	1.00	2660.00	0.98	2240.00	0.82	1920.00	0.71	2000.00	0.74	2300.00	0.85	2180.00	0.80
2	2720.00	1.00	2281.12	0.84	2186.86	0.80	2073.74	0.76	2111.45	0.78	1960.63	0.72	2026.61	0.75
3	1881.60	1.00	1888.48	1.00	1897.72	1.01	1927.02	1.02	1828.70	0.97	1811.40	0.96	1965.56	1.04
ค่าเฉลี่ย	2720.00	1.00	2470.56	0.91	2213.43	0.81	1996.87	0.73	2055.72	0.76	2130.31	0.78	2103.31	0.77
SD	0.00	0.00	267.91	0.10	37.58	0.01	108.71	0.04	78.81	0.03	239.97	0.09	108.46	0.04
ค่าสูงสุด	2720.00	1.00	2660.00	0.98	2240.00	0.82	2073.74	0.76	2111.45	0.78	2300.00	0.85	2180.00	0.80
ค่าต่ำสุด	2720.00	1.00	2281.12	0.84	2186.86	0.80	1920.00	0.71	2000.00	0.74	1960.63	0.72	2026.61	0.75

หมายเหตุ ตัดค่าของครั้งที่ 3 ออกในที่สว่าง

ตารางผนวกที่ ๑๗ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก						
		ที่มืด						
		ชุดควบคุม			พีเอช			
		mg/l	mg/l	%	3	5	7	9
1	3639.00	3592.00	0.00	3676.00	3652.00	3544.00	3516.00	3872.00
2	3938.00	4085.00	3.74	3968.00	3908.00	3556.00	3872.00	3928.00
3	3328.00	3268.00	0.00	3568.00	3376.00	3496.00	3380.00	3712.00
ค่าเฉลี่ย	3635.00	3648.33	-	3737.33	3645.33	3532.00	3589.33	3837.33
SD	305.02	411.40	-	206.93	266.06	31.75	254.07	112.10
ค่าสูงสุด	3938.00	4085.00	3.74	3968.00	3908.00	3556.00	3872.00	3928.00
ค่าต่ำสุด	3328.00	3268.00	0.00	3568.00	3376.00	3496.00	3380.00	3712.00

ตารางผนวกที่ ๑๘ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของค่าพีเอชต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 12

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก						
		ที่สว่าง						
		ชุดควบคุม			พีเอช			
		mg/l	mg/l	%	3	5	7	9
1	3639.00	3538.00	0.00	3762.00	3754.00	3636.00	3716.00	3846.00
2	3938.00	4164.00	5.74	3954.00	3998.00	3866.00	3786.00	3934.00
3	3328.00	3384.00	1.68	3624.00	3492.00	3240.00	3424.00	3676.00
ค่าเฉลี่ย	3635.00	3695.33	-	3780.00	3748.00	3580.67	3642.00	3818.67
SD	305.02	413.12	-	165.73	253.05	316.65	192.01	131.15
ค่าสูงสุด	3938.00	4164.00	-	3954.00	3998.00	3866.00	3786.00	3934.00
ค่าต่ำสุด	3328.00	3384.00	-	3624.00	3492.00	3240.00	3424.00	3676.00

ตารางผนวกที่ ๙ ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มืด					
		ชุดควบคุม	ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)				
1	2		3	4	5		
1	11.19	10.66	10.59	10.53	10.56	10.56	10.62
2	11.19	10.65	10.58	10.51	10.50	10.52	10.51
3	11.29	10.69	10.63	10.59	10.57	10.53	10.57
ค่าเฉลี่ย	11.22	10.67	10.60	10.54	10.54	10.54	10.57
SD	0.06	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02	0.06
ค่าสูงสุด	11.29	10.69	10.63	10.59	10.57	10.56	10.62
ค่าต่ำสุด	11.19	10.65	10.58	10.51	10.5	10.52	10.51

ตารางผนวกที่ ๑๐ ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่สว่าง					
		ชุดควบคุม	ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)				
1	2		3	4	5		
1	11.19	11.55	11.48	11.46	11.54	11.56	11.39
2	11.19	11.41	11.42	10.87	11.54	11.48	11.39
3	11.29	11.51	11.48	11.56	11.58	11.45	11.36
ค่าเฉลี่ย	11.22	11.49	11.46	11.30	11.55	11.50	11.38
SD	0.06	0.07	0.03	0.37	0.02	0.06	0.02
ค่าสูงสุด	11.29	11.55	11.48	11.56	11.58	11.56	11.39
ค่าต่ำสุด	11.19	11.41	11.42	10.87	11.54	11.45	11.36

ตารางผนวกที่ ค11 ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลอง
ผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด					
		ชุดควบคุม	ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)				
1	2		3	4	5		
1	1601.00	1580.00	1510.00	1550.00	1550.00	1540.00	1580.00
2	1601.00	1600.00	1570.00	1550.00	1550.00	1590.00	1570.00
3	1700.00	1680.00	1620.00	1610.00	1610.00	1610.00	1640.00
ค่าเฉลี่ย	1634.00	1620.00	1566.67	1570.00	1570.00	1580.00	1596.67
SD	57.16	52.92	55.08	34.64	34.64	36.06	37.86
ค่าสูงสุด	1700.00	1680.00	1620.00	1610.00	1610.00	1610.00	1640.00
ค่าต่ำสุด	1601.00	1580.00	1510.00	1550.00	1550.00	1540.00	1570.00

ตารางผนวกที่ ค12 ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองในการทดลอง
ผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีสว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีสว่าง					
		ชุดควบคุม	ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)				
1	2		3	4	5		
1	1601.00	1520.00	1449.00	1495.00	1509.00	1512.00	1480.00
2	1601.00	1526.00	1483.00	1404.00	1496.00	1521.00	1483.00
3	1700.00	1580.00	1520.00	1400.00	1390.00	1470.00	1490.00
ค่าเฉลี่ย	1634.00	1542.00	1113.25	1433.00	1465.00	1501.00	1484.33
SD	57.16	33.05	35.51	53.73	65.28	27.22	5.13
ค่าสูงสุด	1700.00	1580.00	1520.00	1495.00	1509.00	1521.00	1490.00
ค่าต่ำสุด	1601.00	1520.00	1449.00	1400.00	1390.00	1470.00	1480.00

ตารางผนวกที่ 13 ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีด											
	ซุกวบลุม		ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)											
			1		2		3		4		5			
mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	
1	2000.00	1.00	1995.11	1.00	1981.60	0.99	1948.80	0.97	1885.13	0.94	1964.24	0.98	1975.82	0.99
2	2000.00	1.00	1920.00	0.96	1980.00	0.99	1828.00	0.91	1790.00	0.90	1920.00	0.96	1965.00	0.98
3	2060.00	1.00	2060.00	1.00	1994.00	0.97	1890.00	0.92	1770.00	0.86	2040.00	0.99	2031.00	0.99
ค่าเฉลี่ย	2020.00	1.00	1991.70	0.99	1985.20	0.98	1888.93	0.94	1815.04	0.90	1974.75	0.98	1990.61	0.99
SD	34.64	0.00	70.06	0.02	7.66	0.01	60.41	0.03	61.51	0.04	60.69	0.02	35.40	0.00
ค่าสูงสุด	2060.00	1.00	2060.00	1.00	1994.00	0.99	1948.80	0.97	1885.13	0.94	2040.00	0.99	2031.00	0.99
ค่าต่ำสุด	2000.00	1.00	1920.00	0.96	1980.00	0.97	1828.00	0.91	1770.00	0.86	1920.00	0.96	1965.00	0.98

ตารางผนวกที่ 14 ผลการกำจัดซีโอดีในการทดลองผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีสว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มีสว่าง											
	ซุกวบลุม		ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)											
			1		2		3		4		5			
mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	
1	2000.00	1.00	1996.13	1.00	1658.89	0.83	1576.85	0.79	1385.44	0.69	1531.28	0.77	1585.97	0.79
2	2000.00	1.00	1768.72	0.88	1681.97	0.84	1584.59	0.79	1434.10	0.72	1611.15	0.81	1646.56	0.82
3	2060.00	1.00	2035.99	0.99	1720.68	0.84	1747.71	0.85	1558.52	0.76	1657.62	0.80	1711.67	0.83
ค่าเฉลี่ย	2020.00	1.00	1933.61	0.96	1687.18	0.84	1636.38	0.81	1459.35	0.72	1600.01	0.79	1648.07	0.82
SD	34.64	0.00	144.18	0.06	31.22	0.01	96.49	0.03	89.26	0.03	63.90	0.02	62.87	0.02
ค่าสูงสุด	2060.00	1.00	2035.99	1.00	1720.68	0.84	1747.71	0.85	1558.52	0.76	1657.62	0.81	1711.67	0.83
ค่าต่ำสุด	2000.00	1.00	1768.72	0.88	1658.89	0.83	1576.85	0.79	1385.44	0.69	1531.28	0.77	1585.97	0.79

ตารางผนวกที่ ค15 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของ ปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก						
		ที่มีด						
		ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)						
		หุคควบคุม			1	2	3	4
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	2440.00	2526.00	3.52	2460.00	2468.00	2484.00	2416.00	2592.00
2	2440.00	2316.00	0.00	2488.00	2573.00	2292.00	2360.00	2464.00
3	2502.00	2500.00	0.00	2414.00	2669.00	2320.00	2396.00	2680.00
ค่าเฉลี่ย	2460.67	2447.33	-	2454.00	2570.00	2365.33	2390.67	2578.67
SD	35.80	114.48	-	37.36	100.53	103.72	28.38	108.62
ค่าสูงสุด	2502.00	2526.00	3.52	2488.00	2669.00	2484.00	2416.00	2680.00
ค่าต่ำสุด	2440.00	2316.00	0.00	2414.00	2468.00	2292.00	2360.00	2464.00

ตารางผนวกที่ ค16 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของ ปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีสว่างที่ปริมาณ TiO_2 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก						
		ที่มีสว่าง						
		ปริมาณ TiO_2 (กรัม/ลิตร)						
		หุคควบคุม			1	2	3	4
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	2440.00	2656.00	8.85	2643.00	2948.00	2847.00	2947.00	2857.00
2	2440.00	2720.00	11.48	3000.00	3300.00	3504.00	3180.00	3224.00
3	2502.00	2750.00	9.91	2463.00	3120.00	3480.00	2944.00	3028.00
ค่าเฉลี่ย	2460.67	2708.67	-	2702.00	3122.67	3277.00	3023.67	3036.33
SD	35.80	48.01	-	273.32	176.02	372.58	135.40	183.64
ค่าสูงสุด	2502.00	2750.00	11.48	3000.00	3300.00	3504.00	3180.00	3224.00
ค่าต่ำสุด	2440.00	2656.00	8.85	2463.00	2948.00	2847.00	2944.00	2857.00

ตารางผนวกที่ ค17 ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด					
		ชุดควบคุม	ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)				
5	10		15	20	25		
1	11.07	11.02	10.67	10.54	10.47	10.42	10.35
2	11.07	11.00	10.82	10.61	10.50	10.38	10.38
3	10.95	10.85	10.59	10.42	10.35	10.21	10.22
ค่าเฉลี่ย	11.03	10.96	10.69	10.52	10.44	10.34	10.32
SD	0.07	0.09	0.12	0.10	0.08	0.11	0.09
ค่าสูงสุด	11.07	11.02	10.82	10.61	10.50	10.42	10.38
ค่าต่ำสุด	10.95	10.85	10.59	10.42	10.35	10.21	10.22

ตารางผนวกที่ ค18 ค่าพีเอชหลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีสว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีสว่าง					
		ชุดควบคุม	ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)				
5	10		15	20	25		
1	11.07	10.03	9.86	9.77	9.59	9.57	9.43
2	11.07	10.03	9.89	9.81	9.72	9.69	9.53
3	10.95	9.71	9.62	9.50	9.39	9.31	9.18
ค่าเฉลี่ย	11.03	9.92	9.79	9.69	9.57	9.52	9.38
SD	0.07	0.18	0.15	0.17	0.17	0.19	0.18
ค่าสูงสุด	11.07	10.03	9.89	9.81	9.72	9.69	9.53
ค่าต่ำสุด	10.95	9.71	9.62	9.50	9.39	9.31	9.18

ตารางผนวกที่ ค19 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)หลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มืด					
		ชุดควบคุม	ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)				
		5	10	15	20	25	
1	1218.00	1208.00	1174.00	1111.00	1110.00	1118.00	1104.00
2	1218.00	1209.00	1167.00	1094.00	1076.00	1085.00	1029.00
3	1180.00	1160.00	1070.00	1050.00	1080.00	1040.00	1030.00
ค่าเฉลี่ย	1205.33	1192.33	1137.00	1085.00	1088.67	1081.00	1054.33
SD	21.94	28.01	58.13	31.48	18.58	39.15	43.02
ค่าสูงสุด	1218.00	1209.00	1174.00	1111.00	1110.00	1118.00	1104.00
ค่าต่ำสุด	1180.00	1160.00	1070.00	1050.00	1076.00	1040.00	1029.00

ตารางผนวกที่ ค20 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)หลังการทดลองในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่สว่าง					
		ชุดควบคุม	ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)				
		5	10	15	20	25	
1	1218.00	1190.00	1180.00	1120.00	1100.00	1100.00	1120.00
2	1218.00	1190.00	1150.00	1130.00	1130.00	1130.00	1120.00
3	1180.00	1070.00	1086.00	1098.00	1088.00	1104.00	1134.00
ค่าเฉลี่ย	1205.33	1150.00	1138.67	1116.00	1106.00	1111.33	1124.67
SD	21.94	69.28	48.01	16.37	21.63	16.29	8.08
ค่าสูงสุด	1218.00	1190.00	1180.00	1130.00	1130.00	1130.00	1134.00
ค่าต่ำสุด	1180.00	1070.00	1086.00	1098.00	1088.00	1100.00	1120.00

ตารางผนวกที่ ค21 ผลการกำจัดที่ไอซีในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มืดที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่มืด											
	ชุดควบคุม		ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)											
			5		10		15		20		25			
mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	
1	1110.55	1.00	1069.04	0.96	893.81	0.80	968.65	0.87	941.65	0.85	996.24	0.90	1004.20	0.90
2	1110.55	1.00	1052.56	0.95	905.01	0.81	926.58	0.83	920.42	0.83	950.20	0.86	917.35	0.83
3	1151.27	1.00	1124.93	0.98	980.76	0.85	1081.59	0.94	1033.20	0.90	1069.88	0.93	1068.12	0.93
ค่าเฉลี่ย	1124.13	1.00	1082.18	0.96	926.53	0.82	992.27	0.88	965.09	0.86	1005.44	0.89	996.56	0.89
SD	23.51	0.00	37.93	0.01	47.30	0.02	80.16	0.05	59.93	0.04	60.37	0.04	75.68	0.05
ค่าสูงสุด	1151.27	1.00	1124.93	0.98	980.76	0.85	1081.59	0.94	1033.20	0.90	1069.88	0.93	1068.12	0.93
ค่าต่ำสุด	1110.55	1.00	1052.56	0.95	893.81	0.80	926.58	0.83	920.42	0.83	950.20	0.86	917.35	0.83

ตารางผนวกที่ ค22 ผลการกำจัดที่ไอซีในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่สว่างที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก											
			ที่สว่าง											
	ชุดควบคุม		ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)											
			5		10		15		20		25			
mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	mg/l	C/C ₀	
1	1110.55	1.00	911.46	0.82	749.01	0.67	806.05	0.73	866.82	0.78	818.46	0.74	835.82	0.75
2	1110.55	1.00	822.74	0.74	739.67	0.67	777.23	0.70	792.02	0.71	785.19	0.71	783.49	0.71
3	1151.27	1.00	919.10	0.80	790.85	0.69	827.67	0.72	817.57	0.71	833.60	0.72	843.70	0.73
ค่าเฉลี่ย	1124.12	1.00	884.44	0.79	759.85	0.68	803.65	0.71	825.47	0.73	812.42	0.72	821.00	0.73
SD	23.51	0.00	53.56	0.04	27.26	0.01	25.31	0.01	38.02	0.04	24.76	0.02	32.73	0.02
ค่าสูงสุด	1151.27	1.00	919.10	0.82	790.85	0.69	827.67	0.73	866.82	0.78	833.60	0.74	843.70	0.75
ค่าต่ำสุด	1110.55	1.00	822.74	0.74	739.67	0.67	777.23	0.70	792.02	0.71	785.19	0.71	783.49	0.71

ตารางผนวกที่ ค23 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก						
		ที่มี						
		ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)						
		ชุดควบคุม			5	10	15	20
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	3988.00	4236.00	6.22	4243.00	4163.00	4265.00	4323.00	4367.00
2	3988.00	4218.00	5.77	3608.00	3552.00	3780.00	3764.00	3898.00
3	4150.00	3840.00	0.00	3956.00	3620.00	4333.00	3964.00	4390.00
ค่าเฉลี่ย	4042.00	4098.00	-	3935.67	3778.33	4126.00	4017.00	4218.33
SD	93.53	223.62	-	317.99	334.86	301.57	283.24	277.66
ค่าสูงสุด	4150.00	4236.00	6.22	4243.00	4163.00	4333.00	4323.00	4390.00
ค่าต่ำสุด	3988.00	3840.00	0.00	3608.00	3552.00	3780.00	3764.00	3898.00

ตารางผนวกที่ ค24 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำในการทดลองผลของปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในที่มีที่ปริมาณความเข้มข้น H_2O_2 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิโมล/ลิตร

ครั้งที่	น้ำเข้า	ที่สว่าง						
		น้ำออก						
		ความเข้มข้นของ H_2O_2 (มิลลิโมล/ลิตร)						
		ชุดควบคุม			5	10	15	20
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	3988.00	4576.00	14.74	4544.00	4228.00	4388.00	4320.00	4312.00
2	3988.00	4856.00	21.77	4544.00	4732.00	4556.00	4288.00	4700.00
3	4150.00	4912.00	18.36	4736.00	3764.00	4484.00	4936.00	4468.00
ค่าเฉลี่ย	4042.00	4781.33	-	4608.00	4241.33	4476.00	4514.67	4493.33
SD	93.53	180.01	-	110.85	484.14	84.29	365.24	195.24
ค่าสูงสุด	4150.00	4912.00	21.77	4736.00	4732.00	4556.00	4936.00	4700.00
ค่าต่ำสุด	3988.00	4576.00	14.74	4544.00	3764.00	4388.00	4288.00	4312.00

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลการทดลองของการศึกษากระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง

ตารางผนวกที่ ๑1 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มืด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	10.78	10.23	10.09	10.43	8.87
2	10.78	10.23	10.26	10.43	9.96
3	10.78	10.23	10.03	10.43	9.69
ค่าเฉลี่ย	10.78	10.23	10.13	10.43	9.51
SD	0.00	0.00	0.12	0.00	0.57
ค่าสูงสุด	10.78	10.23	10.26	10.43	9.96
ค่าต่ำสุด	10.78	10.23	10.03	10.43	8.87

ตารางผนวกที่ ๑2 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มืด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	10.74	10.21	10.35	10.33	9.61
2	10.74	10.21	10.28	10.33	9.82
3	10.74	10.21	10.13	10.33	9.99
ค่าเฉลี่ย	10.74	10.21	10.25	10.33	9.81
SD	0.00	0.00	0.11	0.00	0.19
ค่าสูงสุด	10.74	10.21	10.35	10.33	9.99
ค่าต่ำสุด	10.74	10.21	10.13	10.33	9.61

ตารางผนวกที่ 3 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มืด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	10.87	10.39	10.68	10.51	9.66
2	10.87	10.39	10.48	10.51	9.82
3	10.87	10.39	10.14	10.51	9.65
ค่าเฉลี่ย	10.87	10.39	10.43	10.51	9.71
SD	0.00	0.00	0.27	0.00	0.10
ค่าสูงสุด	10.87	10.39	10.68	10.51	9.82
ค่าต่ำสุด	10.87	10.39	10.14	10.51	9.65

ตารางผนวกที่ 4 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มืด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	10.78	10.23	10.13	10.43	9.51
2	10.74	10.21	10.25	10.33	9.81
3	10.87	10.39	10.43	10.51	9.71
ค่าเฉลี่ย	10.80	10.28	10.27	10.42	9.67
SD	0.07	0.10	0.15	0.09	0.15
ค่าสูงสุด	10.87	10.39	10.43	10.51	9.81
ค่าต่ำสุด	10.74	10.21	10.13	10.33	9.51

ตารางผนวกที่ 5 ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิด
แบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	890.00	880.00	790.00	850.00	730.00
2	890.00	880.00	820.00	850.00	860.00
3	890.00	880.00	820.00	850.00	820.00
ค่าเฉลี่ย	890.00	880.00	810.00	850.00	803.33
SD	0.00	0.00	17.32	0.00	66.58
ค่าสูงสุด	890.00	880.00	820.00	850.00	860.00
ค่าต่ำสุด	890.00	880.00	790.00	850.00	730.00

ตารางผนวกที่ 6 ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิด
แบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	1130.00	1120.00	1100.00	1200.00	1180.00
2	1130.00	1120.00	1110.00	1200.00	1180.00
3	1130.00	1120.00	1090.00	1200.00	1200.00
ค่าเฉลี่ย	1130.00	1120.00	1100.00	1200.00	1186.67
SD	0.00	0.00	10.00	0.00	11.55
ค่าสูงสุด	1130.00	1120.00	1110.00	1200.00	1200.00
ค่าต่ำสุด	1130.00	1120.00	1090.00	1200.00	1180.00

ตารางผนวกที่ 7 ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิด
แบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	1580.00	1320.00	1300.00	1370.00	1380.00
2	1580.00	1320.00	1310.00	1370.00	1360.00
3	1580.00	1320.00	1260.00	1370.00	1310.00
ค่าเฉลี่ย	1580.00	1320.00	1290.00	1370.00	1350.00
SD	0.00	0.00	26.46	0.00	36.06
ค่าสูงสุด	1580.00	1320.00	1310.00	1370.00	1380.00
ค่าต่ำสุด	1580.00	1320.00	1260.00	1370.00	1310.00

ตารางผนวกที่ 8 ค่าสภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิด
แบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	TiO_2	ชุดควบคุม	TiO_2
1	890.00	880.00	810.00	850.00	803.33
2	1130.00	1120.00	1100.00	1200.00	1186.67
3	1580.00	1320.00	1290.00	1370.00	1350.00
ค่าเฉลี่ย	1200.00	1106.67	1066.67	1140.00	1113.33
SD	350.29	220.30	241.73	265.14	280.61
ค่าสูงสุด	1580.00	1320.00	1290.00	1370.00	1350.00
ค่าต่ำสุด	890.00	880.00	810.00	850.00	803.33

ตารางผนวกที่ 9 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มืด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		TiO_2		ชุดควบคุม		TiO_2	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	320.15	1.00	318.12	0.99	299.35	0.94	294.25	0.92	256.07	0.80
2	320.15	1.00	318.12	0.99	311.00	0.97	294.25	0.92	286.93	0.90
3	320.15	1.00	318.12	0.99	313.74	0.98	294.25	0.92	283.87	0.89
ค่าเฉลี่ย	320.15	1.00	318.12	0.99	308.03	0.96	294.25	0.92	275.62	0.86
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	7.64	0.02	0.00	0.00	17.00	0.05
ค่าสูงสุด	320.15	1.00	318.12	0.99	313.74	0.98	294.25	0.92	286.93	0.90
ค่าต่ำสุด	320.15	1.00	318.12	0.99	299.35	0.94	294.25	0.92	256.07	0.80

ตารางผนวกที่ 10 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มืด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		TiO_2		ชุดควบคุม		TiO_2	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	365.09	1.00	339.25	0.93	324.48	0.89	307.30	0.84	301.41	0.83
2	365.09	1.00	339.25	0.93	329.99	0.90	307.30	0.84	261.39	0.72
3	365.09	1.00	339.25	0.93	328.11	0.90	307.30	0.84	262.95	0.72
ค่าเฉลี่ย	365.09	1.00	339.25	0.93	327.53	0.90	307.30	0.84	275.25	0.75
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	0.01	0.00	0.00	22.67	0.06
ค่าสูงสุด	365.09	1.00	339.25	0.93	329.99	0.90	307.30	0.84	301.41	0.83
ค่าต่ำสุด	365.09	1.00	339.25	0.93	324.48	0.89	307.30	0.84	261.39	0.72

ตารางผนวกที่ 11 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มืด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		TiO_2		ชุดควบคุม		TiO_2	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	533.82	1.00	522.46	0.98	492.35	0.92	466.61	0.87	446.74	0.84
2	533.82	1.00	522.46	0.98	496.15	0.93	466.61	0.87	450.42	0.84
3	533.82	1.00	522.46	0.98	482.31	0.90	466.61	0.87	421.96	0.79
ค่าเฉลี่ย	533.82	1.00	522.46	0.98	490.27	0.92	466.61	0.87	439.71	0.82
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	7.15	0.01	0.00	0.00	15.48	0.03
ค่าสูงสุด	533.82	1.00	522.46	0.98	496.15	0.93	466.61	0.87	450.42	0.84
ค่าต่ำสุด	533.82	1.00	522.46	0.98	482.31	0.90	466.61	0.87	421.96	0.79

ตารางผนวกที่ 12 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มืด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		TiO_2		ชุดควบคุม		TiO_2	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	320.15	1.00	318.12	0.99	308.03	0.96	294.25	0.92	275.62	0.86
2	365.09	1.00	339.25	0.93	327.53	0.90	307.30	0.84	275.25	0.75
3	533.82	1.00	522.46	0.98	490.27	0.92	466.61	0.87	439.71	0.82
ค่าเฉลี่ย	406.35	1.00	393.28	0.97	375.27	0.93	356.05	0.88	330.19	0.81
SD	112.65	0.00	112.38	0.03	100.07	0.03	95.97	0.04	94.84	0.05
ค่าสูงสุด	533.82	1.00	522.46	0.99	490.27	0.96	466.61	0.92	439.71	0.86
ค่าต่ำสุด	320.15	1.00	318.12	0.93	308.03	0.90	294.25	0.84	275.25	0.75

ตารางผนวกที่ 13 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหล
ต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	TiO_2		ชุดควบคุม	TiO_2	
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	
1	1872.00	1980.00	5.77	1836.00	2032.00	8.55	1916.00
2	1872.00	1980.00	5.77	1964.00	2032.00	8.55	2032.00
3	1872.00	1980.00	5.77	1964.00	2032.00	8.55	2036.00
ค่าเฉลี่ย	1872.00	1980.00	5.77	1921.33	2032.00	8.55	1994.67
SD	0.00	0.00	0.00	73.90	0.00	0.00	68.16
ค่าสูงสุด	1872.00	1980.00	5.77	1964.00	2032.00	8.55	2036.00
ค่าต่ำสุด	1872.00	1980.00	5.77	1836.00	2032.00	8.55	1916.00

ตารางผนวกที่ 14 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหล
ต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	TiO_2		ชุดควบคุม	TiO_2	
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	
1	2532.00	2728.00	7.74	2120.00	2972.00	17.38	2932.00
2	2532.00	2728.00	7.74	2204.00	2972.00	17.38	2876.00
3	2532.00	2728.00	7.74	2216.00	2972.00	17.38	2884.00
ค่าเฉลี่ย	2532.00	2728.00	7.74	2180.00	2972.00	17.38	2897.33
SD	0.00	0.00	0.00	52.31	0.00	0.00	30.29
ค่าสูงสุด	2532.00	2728.00	7.74	2216.00	2972.00	17.38	2932.00
ค่าต่ำสุด	2532.00	2728.00	7.74	2120.00	2972.00	17.38	2876.00

ตารางผนวกที่ 15 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหล
ต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	TiO_2		ชุดควบคุม	TiO_2	
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	
1	3140.00	3352.00	6.75	3304.00	3632.00	15.67	3584.00
2	3140.00	3352.00	6.75	3084.00	3632.00	15.67	3584.00
3	3140.00	3352.00	6.75	3360.00	3632.00	15.67	3544.00
ค่าเฉลี่ย	3140.00	3352.00	6.75	3249.33	3632.00	15.67	3570.67
SD	0.00	0.00	0.00	145.89	0.00	0.00	23.09
ค่าสูงสุด	3140.00	3352.00	6.75	3360.00	3632.00	15.67	3584.00
ค่าต่ำสุด	3140.00	3352.00	6.75	3084.00	3632.00	15.67	3544.00

ตารางผนวกที่ 16 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหล
ต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	TiO_2		ชุดควบคุม	TiO_2	
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	
1	1872.00	1980.00	5.77	1921.33	2032.00	8.55	1994.67
2	2532.00	2728.00	7.74	2180.00	2972.00	17.38	2897.33
3	3140.00	3352.00	6.75	3249.33	3632.00	15.67	3570.67
ค่าเฉลี่ย	2514.67	2686.67	-	2450.22	2878.67	-	2820.89
SD	634.18	686.93	-	704.03	804.07	-	790.78
ค่าสูงสุด	3140.00	3352.00	7.74	3249.33	3632.00	17.38	3570.67
ค่าต่ำสุด	1872.00	1980.00	5.77	1921.33	2032.00	8.55	1994.67

ตารางผนวกที่ 17 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
1	11.79	10.40	10.32	10.50	10.48
2	11.79	10.40	10.23	10.50	10.49
3	11.79	10.40	10.75	10.50	10.53
ค่าเฉลี่ย	11.79	10.40	10.43	10.50	10.50
SD	0.00	0.00	0.28	0.00	0.03
ค่าสูงสุด	11.79	10.40	10.75	10.50	10.53
ค่าต่ำสุด	11.79	10.40	10.23	10.50	10.48

ตารางผนวกที่ 18 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
1	11.39	10.11	10.18	10.25	9.72
2	11.39	10.11	9.93	10.25	10.07
3	11.39	10.11	10.05	10.25	9.79
ค่าเฉลี่ย	11.39	10.11	10.05	10.25	9.86
SD	0.00	0.00	0.13	0.00	0.19
ค่าสูงสุด	11.39	10.11	10.18	10.25	10.07
ค่าต่ำสุด	11.39	10.11	9.93	10.25	9.72

ตารางผนวกที่ 19 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
1	11.54	10.01	10.19	10.34	10.40
2	11.54	10.01	9.89	10.34	10.36
3	11.54	10.01	10.30	10.34	9.74
ค่าเฉลี่ย	11.54	10.01	10.13	10.34	10.17
SD	0.00	0.00	0.21	0.00	0.37
ค่าสูงสุด	11.54	10.01	10.30	10.34	10.40
ค่าต่ำสุด	11.54	10.01	9.89	10.34	9.74

ตารางผนวกที่ 20 ค่าพีเอชหลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
1	11.79	10.40	10.43	10.50	10.50
2	11.39	10.11	10.05	10.25	9.86
3	11.54	10.01	10.13	10.34	10.17
ค่าเฉลี่ย	11.57	10.17	10.20	10.36	10.18
SD	0.20	0.20	0.20	0.13	0.32
ค่าสูงสุด	11.79	10.40	10.43	10.50	10.50
ค่าต่ำสุด	11.39	10.01	10.05	10.25	9.86

ตารางที่ 21 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
1	2540.00	1840.00	1870.00	1860.00	1810.00
2	2540.00	1840.00	1820.00	1860.00	2020.00
3	2540.00	1840.00	1830.00	1860.00	1930.00
ค่าเฉลี่ย	2540.00	1840.00	1840.00	1860.00	1920.00
SD	0.00	0.00	26.46	0.00	105.36
ค่าสูงสุด	2540.00	1840.00	1870.00	1860.00	2020.00
ค่าต่ำสุด	2540.00	1840.00	1820.00	1860.00	1810.00

ตารางผนวกที่ 22 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
1	1690.00	1370.00	1320.00	1530.00	1520.00
2	1690.00	1370.00	1380.00	1530.00	1400.00
3	1690.00	1370.00	1410.00	1530.00	1440.00
ค่าเฉลี่ย	1690.00	1370.00	1370.00	1530.00	1453.33
SD	0.00	0.00	45.83	0.00	61.10
ค่าสูงสุด	1690.00	1370.00	1410.00	1530.00	1520.00
ค่าต่ำสุด	0.00	1370.00	1320.00	1530.00	1400.00

ตารางผนวกที่ 23 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$
1	1470.00	1600.00	1620.00	1710.00	1690.00
2	1470.00	1600.00	1640.00	1710.00	1730.00
3	1470.00	1600.00	1620.00	1710.00	1920.00
ค่าเฉลี่ย	1470.00	1600.00	1626.67	1710.00	1780.00
SD	0.00	0.00	11.55	0.00	122.88
ค่าสูงสุด	1470.00	1600.00	1640.00	1710.00	1920.00
ค่าต่ำสุด	1470.00	1600.00	1620.00	1710.00	1690.00

ตารางผนวกที่ 24 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) หลังการทดลองของ
กระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า	น้ำออก			
		ที่มีด		ที่สว่าง	
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$
1	2540.00	1840.00	1840.00	1860.00	1920.00
2	1690.00	1370.00	1370.00	1530.00	1453.33
3	1470.00	1600.00	1626.67	1710.00	1780.00
ค่าเฉลี่ย	1900.00	1603.33	1612.22	1700.00	1717.78
SD	565.07	235.02	235.33	165.23	239.47
ค่าสูงสุด	2540.00	1840.00	1840.00	1860.00	1920.00
ค่าต่ำสุด	1470.00	1370.00	1370.00	1530.00	1453.33

ตารางผนวกที่ 25 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มืด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$		ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	385.31	1.00	374.83	0.97	368.09	0.96	350.89	0.91	323.74	0.84
2	385.31	1.00	374.83	0.97	361.22	0.94	350.89	0.91	315.84	0.82
3	385.31	1.00	374.83	0.97	354.23	0.92	350.89	0.91	302.38	0.78
ค่าเฉลี่ย	385.31	1.00	374.83	0.97	361.18	0.94	350.89	0.91	313.99	0.81
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	6.93	0.02	0.00	0.00	10.80	0.03
ค่าสูงสุด	385.31	1.00	374.83	0.97	368.09	0.96	350.89	0.91	323.74	0.84
ค่าต่ำสุด	385.31	1.00	374.83	0.97	354.23	0.92	350.89	0.91	302.38	0.78

ตารางผนวกที่ 26 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มืด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$		ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	425.02	1.00	387.29	0.91	365.65	0.86	350.54	0.82	318.77	0.75
2	425.02	1.00	387.29	0.91	381.05	0.90	350.54	0.82	290.40	0.68
3	425.02	1.00	387.29	0.91	380.55	0.90	350.54	0.82	313.41	0.74
ค่าเฉลี่ย	425.02	1.00	387.29	0.91	375.75	0.88	350.54	0.82	307.53	0.72
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	8.75	0.02	0.00	0.00	15.07	0.04
ค่าสูงสุด	425.02	1.00	387.29	0.91	381.05	0.90	350.54	0.82	318.77	0.75
ค่าต่ำสุด	425.02	1.00	387.29	0.91	365.65	0.86	350.54	0.82	290.40	0.68

ตารางผนวกที่ 27 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มีด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$		ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	232.44	1.00	222.87	0.96	199.30	0.86	189.23	0.81	156.73	0.67
2	232.44	1.00	222.87	0.96	218.01	0.94	189.23	0.81	155.98	0.67
3	232.44	1.00	222.87	0.96	205.01	0.88	189.23	0.81	160.09	0.69
ค่าเฉลี่ย	232.44	1.00	222.87	0.96	207.44	0.89	189.23	0.81	157.60	0.68
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	9.59	0.04	0.00	0.00	2.19	0.01
ค่าสูงสุด	232.44	1.00	222.87	0.96	218.01	0.94	189.23	0.81	160.09	0.69
ค่าต่ำสุด	232.44	1.00	222.87	0.96	199.30	0.86	189.23	0.81	155.98	0.67

ตารางผนวกที่ 28 ผลการกำจัดที่ไอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า		น้ำออก							
			ที่มีด				ที่สว่าง			
			ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$		ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	
	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0	mg/l	C/C_0
1	385.31	1.00	374.83	0.97	361.18	0.94	350.89	0.91	313.99	0.81
2	425.02	1.00	387.29	0.91	375.75	0.88	350.54	0.82	307.53	0.72
3	232.44	1.00	222.87	0.96	207.44	0.89	189.23	0.81	157.60	0.68
ค่าเฉลี่ย	347.59	1.00	328.33	0.95	314.79	0.90	296.89	0.85	259.70	0.74
SD	101.68	0.00	0.00	0.03	93.25	0.03	0.00	0.05	88.48	0.07
ค่าสูงสุด	425.02	1.00	387.29	0.97	375.75	0.94	350.89	0.91	313.99	0.81
ค่าต่ำสุด	232.44	1.00	222.87	0.91	207.44	0.88	189.23	0.81	157.60	0.68

ตารางผนวกที่ 29 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในราง
เปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
		mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%
1	2984.00	3310.00	10.92	3352.00	3436.00	15.15	3256.00
2	2984.00	3310.00	10.92	3388.00	3436.00	15.15	3680.00
3	2984.00	3310.00	10.92	3184.00	3436.00	15.15	3348.00
ค่าเฉลี่ย	2984.00	3310.00	10.92	3308.00	3436.00	15.15	3428.00
SD	0.00	0.00	0.00	108.89	0.00	0.00	223.03
ค่าสูงสุด	2984.00	3310.00	10.92	3388.00	3436.00	15.15	3680.00
ค่าต่ำสุด	2984.00	3310.00	10.92	3184.00	3436.00	15.15	3256.00

ตารางผนวกที่ 30 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในราง
เปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีค			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$	ชุดควบคุม		$\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}_2$
		mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%
1	2464.00	2772.00	12.50	2732.00	3128.00	26.95	3068.00
2	2464.00	2772.00	12.50	2764.00	3128.00	26.95	2872.00
3	2464.00	2772.00	12.50	2724.00	3128.00	26.95	2988.00
ค่าเฉลี่ย	2464.00	2772.00	12.50	2740.00	3128.00	26.95	2976.00
SD	0.00	0.00	0.00	21.17	0.00	0.00	98.55
ค่าสูงสุด	2464.00	2772.00	12.50	2764.00	3128.00	26.95	3068.00
ค่าต่ำสุด	2464.00	2772.00	12.50	2724.00	3128.00	26.95	2872.00

ตารางผนวกที่ 31 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในราง
เปิดแบบไหลต่อเนื่อง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด			ที่สว่าง		
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$	
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	
1	2012.00	2344.00	16.50	2472.00	2732.00	35.79	2728.00
2	2012.00	2344.00	16.50	2432.00	2732.00	35.79	2676.00
3	2012.00	2344.00	16.50	2316.00	2732.00	35.79	2744.00
ค่าเฉลี่ย	2012.00	2344.00	16.50	2406.67	2732.00	35.79	2716.00
SD	0.00	0.00	0.00	81.03	0.00	0.00	35.55
ค่าสูงสุด	2012.00	2344.00	16.50	2472.00	2732.00	35.79	2744.00
ค่าต่ำสุด	2012.00	2344.00	16.50	2316.00	2732.00	35.79	2676.00

ตารางผนวกที่ 32 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและร้อยละการระเหยของน้ำของกระบวนการ
โฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในราง
เปิดแบบไหลต่อเนื่อง (เฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดลอง)

ชุดที่	น้ำเข้า	น้ำออก					
		ที่มีด			ที่มีด		
		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$		ชุดควบคุม	$\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$	
mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	
1	2984.00	3310.00	10.92	3308.00	3436.00	15.15	3428.00
2	2464.00	2772.00	12.50	2740.00	3128.00	26.95	2976.00
3	2012.00	2344.00	16.50	2406.67	2732.00	35.79	2716.00
ค่าเฉลี่ย	2486.67	2808.67	-	2818.22	3098.67	-	3040.00
SD	486.40	484.04	-	455.73	352.92	-	360.29
ค่าสูงสุด	2984.00	3310.00	16.50	3308.00	3436.00	35.79	3428.00
ค่าต่ำสุด	2012.00	2344.00	10.92	2406.67	2732.00	15.15	2716.00

ภาคผนวก จ
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณปริมาณ TiO_2 ที่ใช้ในการเคลือบกระจก

จากปริมาตรของรางปฏิกรณ์ 1 ราง เท่ากับ $150 \times 8 \times 0.5 = 600 \text{ ซม}^3$

หรือ $= 0.60 \text{ ลิตร}$

ดังนั้น จากปริมาณ TiO_2 ที่ได้จากขั้นตอนผลของปริมาณ TiO_2 ต่อการเกิดปฏิกิริยาคือ 3 กรัม/ลิตร และจากปริมาตรรางเท่ากับ 0.60 ลิตร

จะได้ ใน 1 ลิตร ใช้ปริมาณ TiO_2 3 กรัม

ดังนั้นใน 0.6 ลิตร ใช้ปริมาณ TiO_2 เท่ากับ $3 \times 0.6 = 1.80 \text{ กรัม/ลิตร}$

แต่ปริมาณ TiO_2 ที่ได้นั้นเป็นการทดลองแบบแบดซ์มีการกวนผสมทำให้น้ำเสียนอกอนุภาค TiO_2 มีการสัมผัสกันทั้งก้อน แต่เมื่อเคลือบบนกระจกการสัมผัสกับเนื้อสารจะสัมผัสได้เพียงแค่ครึ่งเดียว อาจเนื่องมาจากการซ้อนทับกันของอนุภาค จึงต้องเพิ่มอนุภาค TiO_2 ที่ใช้เป็น 2 เท่าเท่ากับ 3.6 กรัม/ลิตร

ซึ่งใน 1 รางจะวางกระจกจำนวน 5 แผ่น ดังนั้น ปริมาณ TiO_2 ที่ใช้ต่อกระจก 1 แผ่น เท่ากับ $3.6/5 = 0.72 \text{ กรัม}$

แต่ในการเคลือบกระจกนั้นเมื่อเคลือบเสร็จแล้วจะต้องนำมาล้างน้ำกลั่นเพื่อเอา TiO_2 ส่วนเกินออก จึงต้องชั่งปริมาณ TiO_2 เกินเป็น 0.90 กรัม

2. การคำนวณปริมาณ H_2O_2 ที่ได้จาก H_2O_2 30% (w/w)

H_2O_2 30% (w/w) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 34 กรัม และมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.1 กรัม/มิลลิลิตร

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของ H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร จะต้องใช้ปริมาณ H_2O_2 กี่มิลลิลิตร

จากมวลโมเลกุลของ $\text{H}_2\text{O}_2 = 34 \text{ กรัม}$

ดังนั้น 1 โมล มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 34 กรัม

ถ้า 5×10^{-3} โมล จะมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 0.17 กรัม

จาก $D = M/V$

$D =$ ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)

$M =$ มวล (กรัม)

$V =$ ปริมาตร (มิลลิลิตร)

จะได้

$$V = M/D$$

$$= 0.17/1.1 = 0.15 \text{ มิลลิลิตร}$$

จาก H_2O_2 30% (w/w) คือ มีเนื้อสาร 30 มิลลิลิตรใน 100

ถ้าเนื้อสาร 0.15 มิลลิลิตรจะต้องใช้ปริมาณ H_2O_2 เท่ากับ $(0.15 \times 100)/30 = 0.52$ มิลลิลิตร/

ลิตร

ดังนั้น ความเข้มข้นของ H_2O_2 5 มิลลิโมล/ลิตร จะต้องใช้ปริมาณ H_2O_2 0.52 มิลลิลิตร/ลิตร

3. การคำนวณค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k)

จากสมการค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

$$\frac{C}{C_0} = e^{-k\tau}$$

ตัวอย่าง จากประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซีของกระบวนการโฟโตคะตะลิติกออกซิเดชันที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรางเปิดแบบไหลต่อเนื่องของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในที่สว่าง (เฉลี่ย 9 ชั่วโมง) ซึ่งมีค่า C_0 เฉลี่ย = 406.33 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า C เฉลี่ย = 330.17 มิลลิกรัม/ลิตร และ τ เท่ากับ 30 นาที หรือ 1800 วินาที

$$\text{นำค่าแทนในสมการจะได้} \quad \frac{330.17}{406.33} = e^{-k(1800)}$$

$$0.81 = e^{-k(1800)}$$

$$\ln 0.81 = -1800 k$$

$$\text{ดังนั้น} \quad k = 1.17 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

4. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) จาก Manning' s equation

จาก Manning' s equation

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

โดยให้

v = ความเร็วในการไหล (เมตร/วินาที)

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ

R = Hydraulic Radius

= A/P

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)

P = เส้นขอบเปียกน้ำ (เมตร)

S = ความลาดเอียง (slope)

= $\Delta y/\Delta x$

ดังนั้นจากสมการแมนนิง

หาพื้นที่หน้าตัดการไหล (A)

$$\begin{aligned} A &= (1/2) \times \text{สูง} \times \text{ผลบวกด้านคู่ขนาน} \\ &= (1/2) \times 0.8 \times 16.5 \\ &= 6.6 \times 10^{-4} \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

หาเส้นขอบเปียกน้ำ (P)

$$\begin{aligned} P &= 2d+w \\ &= 2(0.838)+8 \\ &= 9.676 \times 10^{-2} \text{ เมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นจาก

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= (6.6 \times 10^{-4}) / (9.676 \times 10^{-2}) \end{aligned}$$

จะได้ค่า R

$$= 6.82 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

หาอัตราการไหล (Q)

$$\begin{aligned} Q &= V/t \\ &= 10/30 \text{ (มิลลิลิตร/วินาที)} \\ &= 3.33 \times 10^{-7} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \end{aligned}$$

หาความเร็วในการไหล (v)

$$Q = v/A$$

$$v = Q/A$$

$$= \frac{3.33 \times 10^{-7} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}}{6.6 \times 10^{-4} \text{ ตารางเมตร}}$$

ดังนั้น $v = 5.045 \times 10^{-4} \text{ เมตร/วินาที}$

หาความลาดเอียง (slope)

$$s = \Delta y / \Delta x$$

$$= (8 \times 10^{-2} \text{ เมตร}) / (1.5 \text{ เมตร})$$

$$= 5.33 \times 10^{-2} \text{ เมตร}$$

ดังนั้นนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาแทนในสมการ

$$v = \frac{1R^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

จะได้ $5.045 \times 10^{-4} \text{ เมตร/วินาที} = \frac{1(6.82 \times 10^{-3} \text{ เมตร})^{2/3}(5.33 \times 10^{-2} \text{ เมตร})^{1/2}}{n}$

$$n = 16.58$$

ดังนั้นจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เท่ากับ 16.58

5. การคำนวณปริมาตรถัง

ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (V) = ความกว้าง (W) × ความยาว (L) × ความลึก (D)

ถังปฏิกรณ์มีความกว้าง (W) = 8 เซนติเมตร

ความยาว (L) = 150 เซนติเมตร

ความลึก (D) = 0.5 เซนติเมตร

ปริมาตรของถัง = 8 ซม. × 150 ซม. × 0.5 ซม.

= 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 600 มิลลิลิตร

6. การคำนวณระยะเวลาเก็บกัก (T)

$$\text{ระยะเวลาเก็บกัก (T)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำในถังปฏิกิริยา (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}{\text{อัตราการไหล (ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที)}}$$

$$\begin{aligned}\text{อัตราการไหล} &= 3.33 \times 10^{-7} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \\ &= 0.333 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาเก็บกัก} &= \frac{600 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}}{0.333 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที}} \\ &= 1800 \text{ วินาที} \\ &= 30 \text{ นาที}\end{aligned}$$

7. การคำนวณร้อยละการระเหยของน้ำ

$$\text{ร้อยละการระเหยของน้ำ} = \left(\frac{\text{ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในชุดควบคุม}}{\text{ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำเริ่มต้น}} - 1 \right) \times 100\%$$

การทดลองเบื้องต้น เมื่อใช้ TiO_2 ร่วมกับ H_2O_2 ในชุดควบคุมที่มีแสง
 ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำในชุดควบคุม = 123008.00 มิลลิกรัม/ลิตร
 ความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำเริ่มต้น = 120544.00 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned}\text{ร้อยละการระเหยของน้ำ} &= \left(\frac{123008.00}{120544.00} - 1 \right) \times 100\% \\ &= 2.04\%\end{aligned}$$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวสวีณี บรรพจน์พิทักษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 สิงหาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนของบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2549 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์