

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก.1 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

เวลา (นาทีก)	เจือจางน้ำชะขยะ 10 เท่า			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	37.00	37.00	37.00	37.00
10	34.50	35.00	34.50	34.67
20	32.00	32.00	32.50	32.17
30	31.50	31.00	31.00	31.17
60	31.00	31.00	31.00	31.00

ตารางผนวกที่ ก.2 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

เวลา (นาทีก)	เจือจางน้ำชะขยะ 20 เท่า			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	29.00	29.00	29.00	29.00
10	21.50	21.00	21.00	21.17
20	17.50	17.50	17.50	17.50
30	14.50	14.00	14.00	14.17
60	14.50	14.00	13.50	14.00

ตารางผนวกที่ ก.3 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

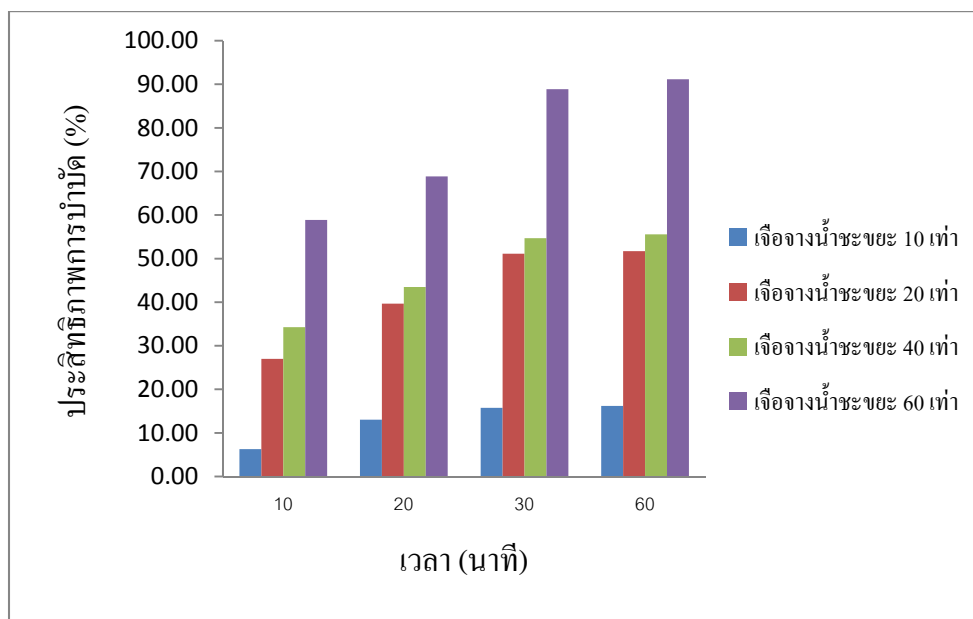
เวลา (นาทีก)	เจือจางน้ำชะขยะ 40 เท่า			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	18.00	18.00	18.00	18.00
10	12.00	12.00	11.50	11.83
20	10.50	10.00	10.00	10.17
30	7.50	8.50	8.50	8.16
60	7.50	8.50	8.00	8.00

ตารางผนวกที่ ก.4 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

เวลา (นาทีก)	เจือจางน้ำชะขยะ 60 เท่า			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	15.00	15.00	15.00	15.00
10	6.00	6.50	6.00	6.17
20	4.50	5.00	4.00	4.67
30	2.00	1.50	1.50	1.67
60	1.50	1.00	1.50	1.33

ตารางผนวกที่ ก.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

ประสิทธิภาพการบำบัด (%)				
เวลา (นาทีก)	10 เท่า	20 เท่า	40 เท่า	60 เท่า
10	6.30	27.00	34.28	58.87
20	13.05	39.66	43.50	68.87
30	15.76	51.14	54.67	88.87
60	16.22	51.72	55.56	91.13



รูปที่ ก.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบาง

ตารางผนวกที่ ก.6 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 แบบผง

เวลา (นาที)	ปริมาณผงไทเทเนียม (g)	เจือจางน้ำชะขยะ 10 เท่า			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	10	37.00	37.00	37.00	37.00
	30	35.00	35.00	35.00	35.00
	50	32.00	32.50	32.00	32.17
20	10	37.00	37.00	37.00	37.00
	30	32.00	31.50	31.50	31.67
	50	31.00	30.50	30.50	30.67
30	10	37.00	37.00	37.00	37.00
	30	31.50	31.50	31.50	31.50
	50	31.00	31.00	31.00	31.00
60	10	37.00	37.00	37.00	37.00
	30	31.50	31.50	31.50	31.50
	50	30.50	31.00	31.00	30.83

ตารางผนวกที่ ก.7 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 แบบผง

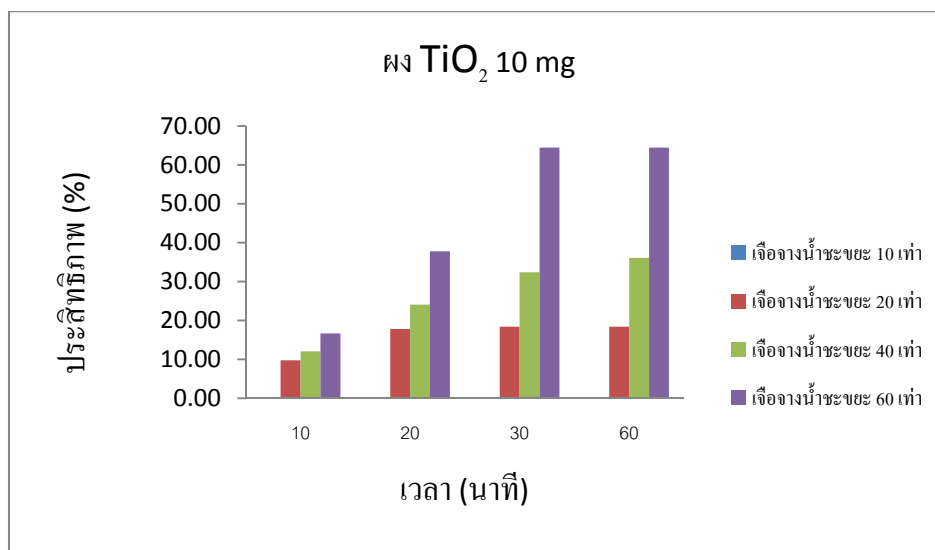
เวลา (นาที)	ปริมาณผงไทเทเนียม (g)	เจือจางน้ำชะขยะ 20 เท่า			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	10	26.00	26.00	26.50	26.17
	30	22.00	21.50	21.50	21.67
	50	17.00	16.50	16.50	16.67
20	10	23.50	24.00	24.00	23.83
	30	18.00	17.50	18.00	17.83
	50	14.50	15.00	14.50	14.67
30	10	23.50	23.50	24.00	23.67
	30	14.50	14.50	15.00	14.67
	50	14.00	13.50	13.50	13.67
60	10	23.50	23.50	24.00	23.67
	30	14.00	14.00	14.50	14.17
	50	13.50	13.50	13.00	13.33

ตารางผนวกที่ ก.8 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 แบบผง

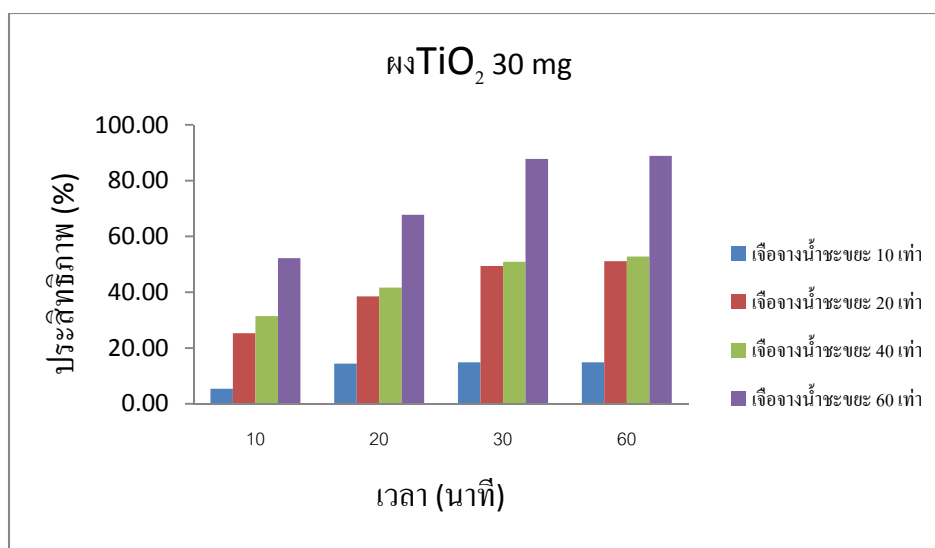
เวลา (นาที)	ปริมาณผงไทเทเนียม (g)	เจือจางน้ำชะขยะ 40 เท่า			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	10	15.50	16.00	16.00	15.83
	30	12.50	12.50	12.00	12.33
	50	9.50	9.00	9.00	9.17
20	10	14.00	13.50	13.50	13.67
	30	10.50	10.50	10.50	10.50
	50	7.00	7.00	7.00	7.00
30	10	12.50	12.00	12.00	12.17
	30	9.00	8.50	9.00	8.83
	50	5.50	6.00	6.00	5.83
60	10	11.00	12.00	11.50	11.50
	30	8.50	8.50	8.50	8.50
	50	5.00	6.00	6.00	5.67

ตารางผนวกที่ ก.9 การกำจัดสีของน้ำชะขยะด้วย TiO_2 แบบผง

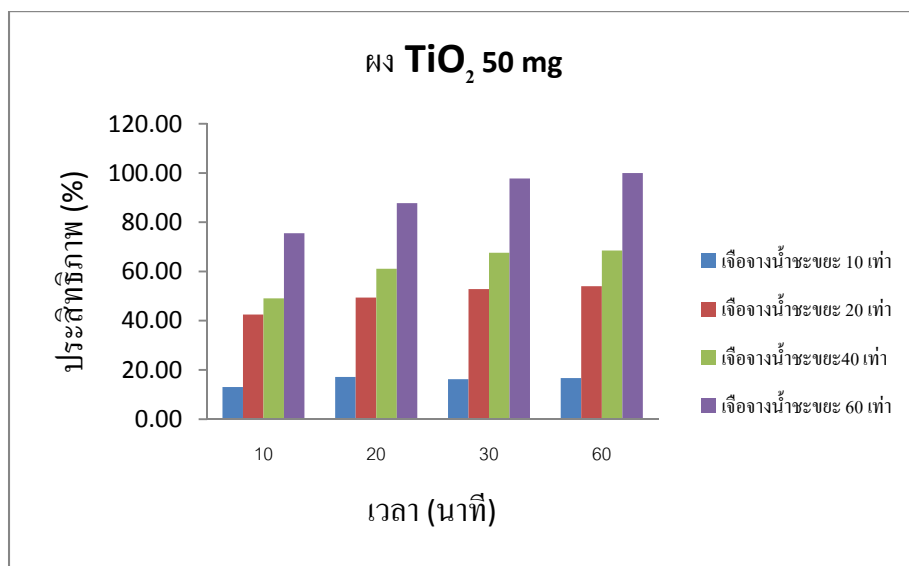
เวลา (นาที)	ปริมาณผงไทเทเนียม (g)	เจือจางน้ำชะขยะ 60 เท่า			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	10	13.00	12.00	12.50	12.50
	30	7.50	7.00	7.00	7.17
	50	4.00	3.50	3.50	3.67
20	10	9.50	9.00	9.50	9.33
	30	5.00	4.50	5.00	4.83
	50	2.00	1.50	2.00	1.83
30	10	5.00	5.50	5.50	5.33
	30	2.00	1.50	2.00	1.83
	50	0.50	0.00	0.50	0.33
60	10	5.00	5.50	5.50	5.33
	30	1.50	2.00	1.50	1.67
	50	0.00	0.00	0.00	0.00



รูปที่ ก.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะขยะ TiO_2 แบบผง



รูปที่ ก.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะขยะ TiO_2 แบบผง



รูปที่ ก.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะขยะ TiO_2 แบบผง

ตารางผนวกที่ ก.10 คุณสมบัติ TiO_2 แบบผง

รายการ	รายละเอียด	ผลการทดสอบ
ความบริสุทธิ์	มากกว่า 98 %	98.12 %
สีเปรียบเทียบกับมาตรฐาน	ไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน	สอดคล้องกัน
% ความแข็งแรงสีย้อมเทียบกับมาตรฐาน	มากกว่า 100	122.11
สารละลายที่อุณหภูมิ 105 C° m/m	ต่ำกว่า 0.5	0.22
pH ของการระงับสารละลายไว้	6.50 – 8.00	7.00
การดูดซับน้ำมัน g/100g	ต่ำกว่า 26	21.5
ดัดโค้งบนตะแกรง 45 μm	ต่ำกว่า 0.1	0.050
ตัวทำละลายในน้ำ	ต่ำกว่า 0.5	0.040

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 5 ชั้น

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	160 mgL^{-1}				240 mgL^{-1}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	160.00	160.00	160.00	160.00	240.00	240.00	240.00	240.00
10	80.00	120.00	100.00	100.00	200.00	200.00	200.00	200.00
20	80.00	80.00	80.00	80.00	180.00	160.00	170.00	170.00
30	80.00	80.00	75.00	78.00	160.00	160.00	160.00	160.00
40	75.00	75.00	75.00	75.00	160.00	140.00	120.00	140.00
60	70.00	70.00	70.00	70.00	120.00	110.00	100.00	130.00

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 5 ชั้น

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	320 mgL^{-1}				400 mgL^{-1}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	320.00	320.00	320.00	320.00	400.00	400.00	400.00	400.00
10	292.00	292.00	292.00	292.00	400.00	340.00	320.00	353.33
20	280.00	260.00	240.00	260.00	320.00	320.00	320.00	320.00
30	260.00	240.00	250.00	250.00	320.00	320.00	320.00	320.00
40	220.00	200.00	200.00	206.67	320.00	320.00	320.00	320.00
60	200.00	200.00	200.00	200.00	320.00	320.00	320.00	320.00

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 4 ชั้น

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	160 mgL^{-1}				240 mgL^{-1}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	160.00	160.00	160.00	160.00	240.00	240.00	240.00	240.00
10	160.00	140.00	120.00	140.00	220.00	210.00	200.00	210.00
20	120.00	120.00	120.00	120.00	200.00	200.00	200.00	200.00
30	100.00	100.00	100.00	100.00	200.00	180.00	160.00	180.00
40	80.00	80.00	80.00	80.00	160.00	140.00	120.00	140.00
60	80.00	80.00	80.00	80.00	140.00	140.00	140.00	140.00

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 4 ชั้น

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	320 mgL^{-1}				400 mgL^{-1}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	320.00	320.00	320.00	320.00	400.00	400.00	400.00	400.00
10	280.00	280.00	280.00	280.00	380.00	355.00	330.00	355.00
20	280.00	240.00	220.00	246.67	360.00	360.00	320.00	346.67
30	260.00	240.00	220.00	240.00	320.00	320.00	320.00	320.00
40	240.00	240.00	240.00	240.00	300.00	300.00	300.00	300.00
60	240.00	240.00	240.00	240.00	300.00	300.00	300.00	300.00

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 3 ชั้น

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	160 mgL ⁻¹				240 mgL ⁻¹			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	160.00	160.00	160.00	160.00	240.00	240.00	240.00	240.00
10	160.00	140.00	120.00	140.00	220.00	210.00	200.00	210.00
20	120.00	110.00	100.00	110.00	200.00	200.00	200.00	200.00
30	100.00	100.00	100.00	100.00	180.00	170.00	160.00	170.00
40	100.00	100.00	100.00	100.00	140.00	140.00	140.00	140.00
60	80.00	80.00	80.00	80.00	140.00	140.00	140.00	140.00

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 3 ชั้น

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	320 mgL ⁻¹				400 mgL ⁻¹			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	320.00	320.00	320.00	320.00	400.00	400.00	400.00	400.00
10	280.00	280.00	280.00	280.00	360.00	360.00	340.00	353.33
20	280.00	280.00	240.00	266.67	340.00	340.00	320.00	333.33
30	220.00	210.00	200.00	210.00	320.00	300.00	280.00	300.00
40	210.00	210.00	210.00	210.00	300.00	300.00	300.00	300.00
60	200.00	200.00	200.00	200.00	280.00	280.00	240.00	266.67

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 5 ชั้น

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	640 mgL^{-1}				1,040 mgL^{-1}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	640.00	640.00	640.00	640.00	1,040.00	1,040.00	1,040.00	1,040.00
10	560.00	480.00	480.00	506.67	960.00	880.00	800.00	880.00
20	480.00	480.00	400.00	453.33	960.00	880.00	720.00	853.33
30	480.00	480.00	400.00	453.33	720.00	720.00	720.00	720.00
40	480.00	480.00	320.00	426.67	720.00	640.00	560.00	640.00
60	320.00	320.00	320.00	320.00	640.00	640.00	400.00	560.00

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน ด้วย TiO_2 ชนิดฟิล์มบางเคลือบบนผิวตัวกลาง 5 ชั้น

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสารอินทรีย์เริ่มต้น							
	2,240 mgL^{-1}				3,360 mgL^{-1}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	2,240.00	2,240.00	2,240.00	2,240.00	3,360.00	3,360.00	3,360.00	3,360.00
10	1,920.00	1,680.00	1,680.00	1,760.00	3,200.00	3,120.00	-	3,160.00
20	1,760.00	1,760.00	1,680.00	1,733.33	3,200.00	2,960.00	2,960.00	3,040.00
30	1,680.00	1,600.00	1,600.00	1,626.67	2,720.00	2,640.00	2,560.00	2,640.00
40	1,600.00	1,600.00	1,440.00	1,546.67	2,720.00	2,560.00	2,560.00	2,613.33
60	1,280.00	1,280.00	1,120.00	1,226.67	2,400.00	2,240.00	2,240.00	2,293.33

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์วิเคราะห์คุณสมบัติของ TiO_2



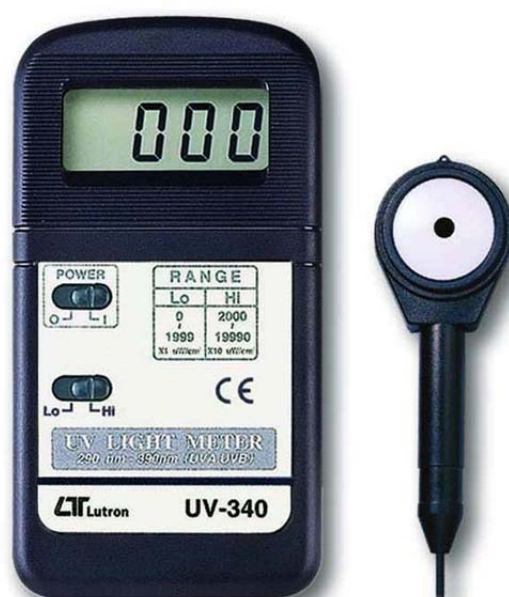
รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ X-ray diffraction (XRD) รุ่น Bruker model D8 Advance
 สภาวะที่ทำการวิเคราะห์ : Cu K α radiation at scan rate of 0.02° S-1



รูปที่ ข.2 อุปกรณ์ UV-Vis spectrometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Lambda 650
 สภาวะที่ทำการวิเคราะห์ : ความยาวคลื่นในช่วง 290–800 nm



รูปที่ ข.3 อุปกรณ์ Atomic Force Microscopy (AFM) ยี่ห้อ Asylum research รุ่น MFP-3D-BIO™



รูปที่ ข.4 อุปกรณ์วัดความเข้มแสง ยี่ห้อ UV-Light Meter Model UV-340



รูปที่ ข.5 ปิเปตอัตโนมัติ ยี่ห้อ Engineered for Excellence BIOHIT

ภาคผนวก ค

บทความเผยแพร่

- 1 -

Study of COD Removal Efficiency from Synthetic Wastewater by Photocatalytic Process

Orawan Rojviroon^{1*} Thammasak Rojviroon² Jaray Sangsayan³ Chontida Joikrajang⁴ and Sanya Sirivithayapakorn⁵

^{1,2}Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand; ³Master student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand; ⁴Bachelor student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand; ⁵Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand; Phone : 02-549-3418, Fax : 02-549-3412, E-mail : orawan_env@yahoo.com

ABSTRACT

The titanium dioxide (TiO₂) thin films on the surfaces of borosilicate glass were synthesized by using a simplified sol-gel preparation method with different numbers of coating layers, from 3-5 layers. The crystalline phase structures of the prepared TiO₂ thin films were entirely anatase. The measured optical band gaps of the TiO₂ thin films were 3.24. The grain sizes of TiO₂ crystals in the thin films were in the range 20-250 nm. The total apparent surface area per total weight of TiO₂ thin films at 3 layers coating was 4.74 m² g⁻¹, while for the 4 layers coating and the 5 layers coating they were 3.86 and 2.79 m² g⁻¹, respectively. The kinetics of the photocatalytic processes under a UVA light source could be explained by the Langmuir-Hinshelwood kinetic model. The specific rates of the photocatalytic process of TiO₂ at 3 layers coating, 4 layers coating and 5 layers coating were 1.40×10⁻⁴, 1.50×10⁻⁴ and 4.60×10⁻⁴ min⁻¹ mW⁻¹, respectively. The photocatalytic performance of COD degradation was higher with smaller grain size, higher surface area and narrow optical band gaps. Moreover, the numbers of coating layer on substrate also have great influence for kinetic of COD removal.

Keywords : kinetic; nano-sized TiO₂; sol-gel; thin film; wastewater treatment

INTRODUCTION

Industrial development causes high water demand. The industrial expansion also increases impacts to the environment. Wastewater discharged from certain industrial activities contains large amount of organic matters. If this wastewater were discharged into the environmental without prior treatment, it would cause water pollution problems. The water pollution could affect the ecosystems, causing impact to the overall environment.

In this research, the TiO₂ thin films prepared by sol-gel process were used as a catalyst to degrade COD in a photoreactor. The objectives of this research were to study the efficiencies and kinetics of COD removal through photocatalytic process using the prepared TiO₂ thin films and UVA light as the light source.

METHODOLOGY

The TiO₂ thin films were prepared by an acid catalyzed sol-gel dip-coating onto the of borosilicate glass slide (40.0×85.0×0.3 mm) and petri dish (100 mm dia. × 15 mm deep) by using titanium tetraisopropoxide (Ti[OCH(CH₃)₂]₄, TTIP) as a precursor. In this study, the sol solution was prepared and coated on the surfaces of substrates according to the methods described by Rojviroon and Sirivithayapakorn [1,2]. All of the glass slides were weighed before and after the coating of each layer. The physical properties and the analyzing techniques were summarized in Table 1.

Table 1 The techniques used for analyses of physical properties of the thin films

Physical properties	Analytical technique
Structure	X-ray Diffraction
Optical band gap	UV-Vis Spectrometer
Surface morphology and grain size	Atomic Force Microscopy
Apparent surface area	Gwyddion Software

³rd International Conference on Environmental Engineering, Science and Management
The Twin Towers Hotel Bangkok, Rong Muang, Thailand, March 26-28, 2014

- 2 -

Surface area	BET Surface
--------------	-------------

The photocatalytic activities of the thin films were evaluated by the decomposition of COD. A petri dish batch test of 50 mL capacity was used as a reaction container (photoreactor). The reactor was placed in a chamber that contained a UVA light bulb (Fig. 1). The average intensity in the photoreactor was 100 mW.m⁻² measured by UV-light Meter Model UV-340. The concentration of indigo carmine vapour was measured by a Libra S12 Visible & UV Spectrophotometers.

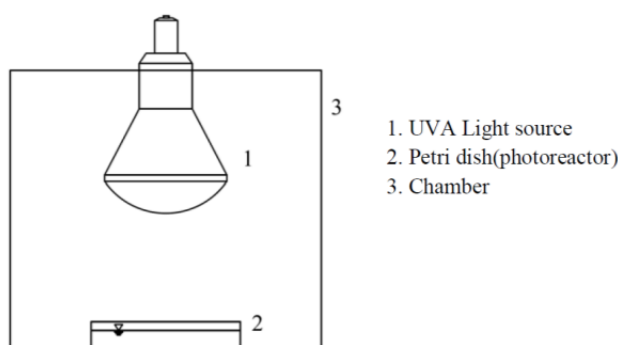


Fig.1 Schematic diagram of a photoreactor for degradation of COD

Glucose was used in preparing the synthetic wastewater with the desired amount of COD in the concentration range of 160-400 mg/L and filled into the reactor. Sample was taken for measurement of the initial concentration of COD right before the UVA light bulb was turned on. The concentration of COD was recorded with the reaction time throughout the photocatalytic activity test. The measured concentrations of COD from the photocatalytic activity test were corrected by the results from the control experiments carried out in the dark (with the presence of catalyst) and those carried out under the UVA light only (without the presence of catalyst) prior to the kinetics calculations.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The result of the XRD pattern showed prominent peaks occurring at $2\theta = 25.2^\circ$ (Fig. 2). The strong peaks confirm the presence of an anatase phase only in the TiO₂ thin films [3]. The band gap, E_g , was obtained from a linear regression of $(\alpha h\nu)^{1/2}$ against $h\nu$ with extrapolation to zero (equation (1), often called a Tauc plot [4-6].

$$(\alpha h\nu)^{1/2} = A(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Where α is the absorbance, arbitrary units; $h\nu$ is photon energy, eV; A is an independent parameter of the photon's energy for the respective transitions, eV; E_g is the band gap, eV. The Tauc plots of all samples indicated that the band gaps were 3.24 eV, which is the optical band gap for crystalline anatase.

- 3 -

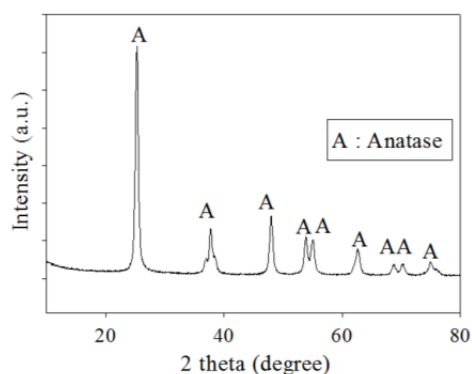


Fig.2 The XRD pattern of TiO₂ crystalline

The grain sizes of TiO₂ thin films for all sample surfaces were between 15-100 nm. The results indicated that the TiO₂ particles in the thin film coating on the glass slides were uniform and evenly distributed. The results showed that the surface of TiO₂ thin films on glass substrates was smoother when the number of coating layers increased. The data for surface morphology are summarized in Table 2.

Table 2 Surface Morphology of TiO₂ Thin Films at Different Layers of Dip-coating on Glass

Surface Properties	Layers of dip-coating		
	3	4	5
Crystalline phase	anatase		
Optical band gap, (eV)	3.24		
Grain size, (nm)	20-100	15-80	15-50
rms, (nm)	21.11	20.93	14.94
Apparent Surface area, (m ² m ⁻²) ❶	1.09	1.08	1.09
Total weight of TiO ₂ on substrate, (g m ⁻²) ❷	0.23	0.28	0.39
Total apparent Surface area per total weight of TiO ₂ , (m ² g ⁻¹) ❸ = ❶/❷	4.74	3.86	2.79
BET Surface area, (m ² g ⁻¹)	36.22		

The apparent surface area tended to decrease when the number of layers of coatings increased, similar to the results reported by Procha'zka *et al.* [7]. Since the addition of further coating layers fill up the crevices on the surface, therefore the surface became smoother and the overall apparent surface area decreased. The AFM images (1 μm²) for the 3-5 layers of coating are shown in Fig. 3.

- 4 -

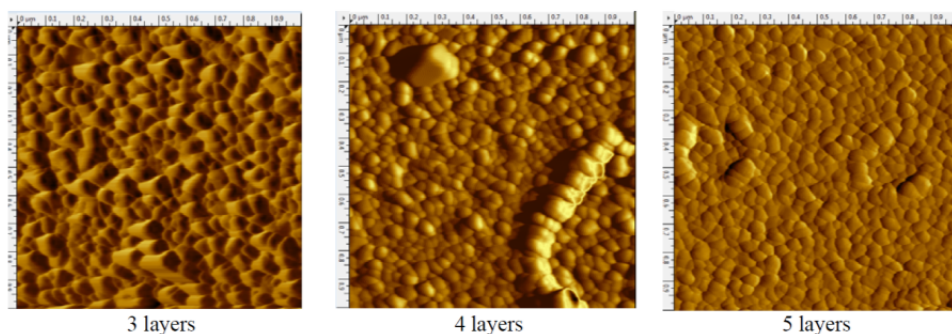


Fig.3 AFM images in 2D of TiO₂ thin films on glass slides

A series of tests of photocatalytic degradation at various initial concentrations of COD were used to evaluate the decomposition efficiency of COD. The Langmuir-Hinshelwood model (L-H model) was the kinetic model of the photocatalytic process that was usually used for the analyses of the initial rate of photocatalytic degradation [8]. The initial photocatalytic degradation rate, r_0 , (mol.L⁻¹.min⁻¹) was observed to be a function of the initial concentrations of COD (C_0). According to Equation (2), a linear L-H plot of r_0^{-1} versus C_0^{-1} was obtained, the L-H rate constant (k), and the Langmuir adsorption constant (K) of COD in the photocatalytic degradation reaction can be calculated.

The kinetic parameters k and K of the photocatalytic degradation reaction are summarized in Table 3.

$$\frac{1}{r_0} = \frac{1}{kKC_0} + \frac{1}{k} \quad (2)$$

Table 3 L-H parameters obtained in the photocatalytic degradation of COD

L-H parameters	Layers of TiO ₂ thin film		
	3	4	5
Degradation efficiency (%)	43.75	50.00	56.25
k (mol.L ⁻¹ .min ⁻¹)	50.96×10^{-3}	39.99×10^{-3}	4.46×10^{-3}
K (L.mol ⁻¹)	0.29	0.38	10.34
kK (min ⁻¹) ④	0.014	0.015	0.046
Coated area (m ²) ⑤	0.01		
Intensity (mW.m ⁻²) ⑥	100		
Specific rate (min ⁻¹ .mW ⁻¹) ④/⑤×⑥	1.40×10^{-4}	1.50×10^{-4}	4.60×10^{-4}

Conclusion

The prepared TiO₂ thin films had desirable physical properties including anatase crystalline structure and nano-sized grains. The photocatalytic degradation efficiency of COD increased as the number of coating layer increased and reached its maximum COD degradation efficiency at 56.25% within 60 min at 5 layers of coating. The values of the reaction rate constants from this study were in the order of 10⁻⁴ min⁻¹.mW⁻¹.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was financially supported by Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and National Research Council of Thailand (NRCT) in 2013.

REFERENCE

- [1] Rojviroon, T., and Sirivithayapakorn, S. 2013. Properties of TiO₂ thin films prepared using sol-gel process. *Surface Engineering*. 29(1): 77-80.
- [2] Rojviroon, T., Laobuthee A. and Sirivithayapakorn, S. 2012. Photocatalytic activity of toluene under UV-LED light with TiO₂ thin films. *International Journal of Photoenergy*. 2012.
- [3] Eshaghi, A., Pakshir, M. and Mozaffarinia R. 2010. Preparation and characterization of TiO₂ sol-gel modified nanocomposite films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 55(3): 278-284.
- [4] Ge, L., Xu, M. and H. Fang. 2006. Photo-catalytic degradation of methyl orange and formaldehyde by Ag/InVO₄-TiO₂ thin films under visible-light irradiation. *Journal of Molecular Catalysis A*, 258(1-2): 68–76.
- [5] Augugliaro, V., Loddo, V., Palmisano, G., Palmisano L. and Pagliaro M. 2010. Clean by light irradiation practical applications of supported TiO₂. 278. Cambridge, The Royal Society of Chemistry.
- [6] Murphy, A. B. 2007. Band-gap determination from diffuse reflectance measurements of semiconductor films, and application to photoelectrochemical water-splitting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 91(14): 1326–1337.
- [7] Prochazka, J., Kavan, L., Shklover, V., T. Zikalova, M., Frank, O., Kalbac, M., Zuka, A. T., Pelouchova, H., Janda, P., Mocek, K., Klementova, M. and D. Carbone. 2008. Multilayer Films from Templated TiO₂ and Structural Changes during their Thermal Treatment. *Chemistry of Materials*. 20: 2985-2993.
- [8] Yu, J., Zhou, M., Yu, H., Zhang, Q. and Yu, Y. 2006. Enhanced photoinduced super-hydrophilicity of the sol-gel-derived TiO₂ thin films by Fe-doping. *Materials Chemistry and Physics*. 95(2-3): 193–196.