

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปรีชา พหลเทพ. (2549). โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. กองจัดการสาร
อันตรายและกากของเสีย. (2542). ฟีนอล (phenol). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศรีเมือง.

ภาษาอังกฤษ

- Addamo, M., et. al. (2008). Photocatalytic thin films of TiO_2 formed by a sol-gel process using titanium tetraisopropoxide as the precursor. Thin Solid Film 516: 3802-3807.
- Ahmed, S., Rasul, M.G., Martens, W.N., Brown, R., and Hashib, M.A. (2010). Heterogeneous photocatalytic degradation of phenol in wastewater: A review on current status and developments. Desalination 261: 3-18.
- Arana, J., et. al. (2004). Photocatalytic degradation of formaldehyde containing wastewater from veterinarian laboratories. Chemosphere 55: 893-904.
- Baker, E.L., et. al. (1978). Phenol poisoning due to contaminated drinking water. Arch Environ Health 33: 89-94.
- Barbeni, M. Pramauro, E. Pelizzetti, E., Borgarello, E., and Serpone, N. (1985). Photodegradation of pentachlorophenol catalyzed by semiconductor particles. Chemosphere 14: 195-208.
- Carp, O., Huisman, C.L., and Reller, A. (2004). Photoinduced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry 32: 33-177.
- Cheng, S., Tsai, S.J., and Lee, Y.F. (1995). Photocatalytic decomposition of phenol over titanium dioxide of various structures. Catalysis Today 26: 87-96.
- Chiou, C.-H., Wu, C.-Y., and Juang, R.-S. (2008). Influence of operating parameters on photocatalytic degradation of phenol in UV/ TiO_2 process. Journal of Chemical Engineering 139: 322-329.
- Chiou, C., and Juang, R. (2007). Photocatalytic degradation of phenol in aqueous solutions by Pr-doped TiO_2 nanoparticles. Journal of Hazardous 149: 1-7.

- Chun, H., Yizhong, W., and Aongxiao, T. (2000). Destruction of phenol aqueous solution by photocatalysis or direct photolysis. Chemosphere 41: 1205-1209.
- Clark, J. (2004). Assorted reactions of phenol [Online]. Available from: <http://www.chemguide.co.uk/organicprops/phenol/other.html>. [2010, February 5]
- Doong, R.A., Chen, C.H., Maithreepala, R.A., and Chang, S.M. (2001). The influence of pH and cadmium sulfide on photocatalytic degradation of 2-chlorophenol in titanium dioxide suspension. Water Research 35: 2873-2880.
- Edwards, J., and Curoi, R. (1982). (R. in : Strukul (Ed.), Catalytic oxidation with H₂O₂ as oxidation. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Fujishima, A., Hashimoto, K., and Watanabe, T. (1999). TiO₂ Photocatalysis: Fundamental and Applications. Tokyo, Japan: BKC Inc.
- Fujishima, A., Rao, T.N., and Tryk, D.A. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 1: 1-21.
- Fumihide, S., Shotaro, I., and Naoya, K. (2009). Photocatalytic decompositions of gaseous HCHO over thin films of anatase titanium oxide converted from amorphous in a heated air and in an aqueous solution of hydrogen peroxide. Journal of Chemical Engineering 148: 234-241.
- Hermann, J.-M. (1999). Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. Catalysis Today 53: 115-129.
- Hoffmann, M.R., Martin, S.T., Dhoi, W., and Bahnemann, D.W. (1995). Environmental applications of semiconductor photocatalysis. Chemical Reviews 95: 69-96.
- Horikoshi, S., Watanabe, N., Onishi, H., Hidaka, H., and Serpone, N. (2002). Photodecomposition of a nonylphenol polyethoxylate surfactant in a cylindrical photoreactor with TiO₂ immobilized fiberglass cloth. Applied Catalysis B: Environmental 37: 117.
- Hosseini, S.N., Borghei, S.M., Vossoughi, M., and Taghavinia, N. (2007). Immobilization of TiO₂ on perlite granules for photocatalytic degradation of phenol. Applied Catalyst B 74: 53.

- Hu, Y., and Yuan, C. (2005). Low-temperature preparation of photocatalytic TiO₂ thin films from anatase sols. Journal of Crystal Growth 274: 563-568.
- Hu, Y., and Yuan, C. (2006). Low-temperature preparation of photocatalytic TiO₂ thin film on polymer substrates by direct depositon from anatase sol. Journal of Materials Science and Technology 22: 239.
- Ilisz, I., and Dombi, A. (1999). Investigation of the photodecomposition of phenol in near UV irradiated aqueous TiO₂ suspension II: Effect of charge trapping species on product distribution. Applied Catalysis: General 180: 35-45.
- Juan, K.D. (1984). The fundamental and practice for the removal of phenolic compounds in wastewater. Industrial Pollutant Prevention Control 3(3): 88.
- Jung, K.Y., and Park, S.B. (1999). Anatase-phase titania: preparation by embedding silica and photocatalytic activity for the decomposition of trichloroethylene. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 127: 117-122.
- Karches, M., et. al. (2002). Plasma-CVD-coated glass beads as photocatalyst for water decontamination. Catalyst Today 72: 267.
- Kazuya, I., Ren-De, S., Motoyuki, T., Ken, H., and Osamu, Y. (2003). Sol-gel-derived TiO₂/poly(dimethylsiloxane) hybrid films and their photocatalytic activities. Journal of Physics and Chemistry of Solids 64: 507-513.
- Konstantinou, I.K., and Albanis, T.A. (2003). TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations A review. Applied Catalysis B: Environmental 49: 1-14.
- Komann, C., Bahnemann, D.W., and Hoffmann, M.R. (1991). Algicidal and chemical effect of u.v. radiation of water containing humic substances. Environmental Science Technology 25: 494.
- Lathasree, S., Rao, A.N., Sivasankar, B., Sadasivam, V., and Rengaraj, K. (2004). Heterogeneous photocatalytic mineralizaion of phenols in aqueous solutions. Journal of Molecular Catalysis A: Chemistry 223: 101-105.

- Lee, J.C., Kim, M.S., and Kim, B.W. (2002). Removal of parquet dissolved in a photoreactor with TiO_2 immobilized on the glass-tubes of UV lamps. Water Research 36: 1776.
- Litter, M.I. (1999). Heterogeneous photocatalysis transition metal ions in photocatalytic systems. Applied Catalysis B : Environmental 23: 89-114.
- Liu, S.Y., Yang, M.J., and Dan, Y. (2006). Study of performance of photocatalytic degradation organic pollutants of PMMA/ TiO_2 composite particles. Gaofenzi Cailiao Kexue Yu Gongcheng/Polymeric Materials Science and Engineering 22: 93.
- Liu, S.X., Qu, Z.P., Han, X.W., and Sun, C.L. (2004). A mechanism for enhanced photocatalytic activity of silver-loaded titanium dioxide. Catalysis Today 95: 877-884.
- Mugglie, D.S., and Ding, L. (2001). Photocatalytic performance of sulfated TiO_2 and Degussa P-25 TiO_2 during oxidation of organics. Applied Catalysis B: Environmental, 32, 181-188.
- Matthew, R.W. (1987). Photooxidation of organic impurities in water using thin films of titanium dioxide. Journal of Physical Chemistry 91: 3328-3333.
- Montgomery, D.C. (2001). Design and Analysis of Experiments. 5th ed. New York: John Wiley & Sons.
- Moza, D.N., Fytianos, K., Samanidou, V., and Korte, F. (1988). Photodecomposition of chlorophenols in aqueous medium in presence of hydrogen peroxide. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 41: 678.
- Murov, S.L., Carmichael, I., and Huy, G.L. (1993). Handbook of photochemistry. New York: Marcel Dekker.
- Naeem, K., and Ouyang, F. (2009). Preparation of Fe^{3+} -doped TiO_2 nanoparticles and its photocatalytic activity under UV light. Physical B: Condensed Matter 405: 221-226.
- Noorjahan, M., Naeem, K., and Ouyang, F. (2009). Preparation of Fe^{3+} -doped TiO_2 nanoparticles and its photocatalytic activity under UV light. Physical B: Condensed Matter 405: 221-226.

- Ollis, D.F., Pelizzetti, E., and Serpone, N. (1991). Destruction of water contaminants. Environmental Science Technology 25: 1522.
- Pratap, M., Durga Kumari, V., Lavedrine, B., Boule, D., and Subrahman yam, M. (2003). Photocatalytic degradation of H-acid over a noval TiO₂ thin film fixed bed reactor and in aqueous suspension. Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry 156:179-187.
- Qamar, M., Saquib, M., and Muneer, M. (2005). Photocatalytic degradation of two selected dye derivation chromotrope 2B and amida 10 B in aqueous suspension of titanium dioxide. Dyes and pigments 65: 1-9.
- Rajeshwar, K. (1995). Photoelectrochemistry and the environment. Journal of Applied Electrochemistry 25: 1067-1082.
- Rengaraj, S., and Li, X.Z. (2006). Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ by doping with Ag for degradation of 2,4,6-trichlorophenol in aqueous suspension. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 243: 60-67.
- Reutergardh, L.B., and langphasuk, M. (1997). Semiconductor photocatalysis : An environmentally acceptable alternative production technique and effluent treatment process. Chemosphere 35(3): 585-596.
- Reddy, S.S., and Kotaiah, B. (2006). The removal of composite reactive dye from dyeing unit effluent using sewage sluge derived activated carbon. Journal of Energy Environmental Science 30: 367-373.
- Robertson, P.K.J. (1996). Semiconductor photocatalysis: an environmentally acceptable alternative production technique and effluent treatment process. Journal of Cleaner Production 4(3-4): 203-212.
- Smith, J.V. (1960). X-ray Powder Data File. American Society for Testing Materials.
- Sauer, T., Cesconetoneto, G., Jose, H.J., and Moreira, R.F.P.M. (2002). Kinetic of photocatalytic degradation of reaction dyes in a TiO₂ slurry reactor. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 149:147-154.

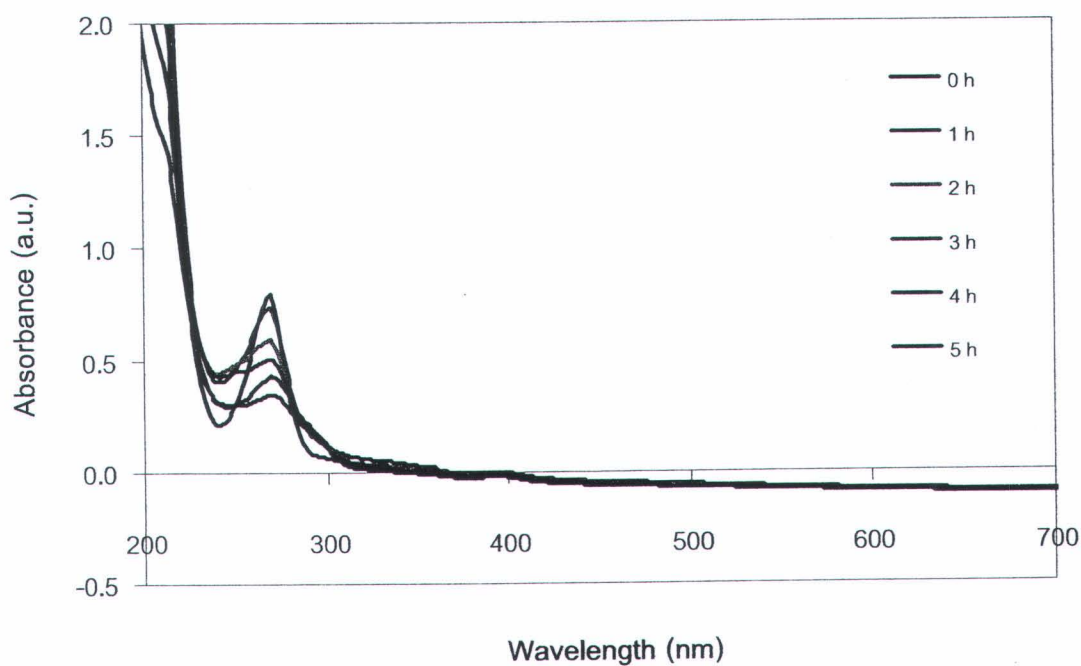
- Shibaeva, I.V., Metelitsa, D.I., and Denison, E.T. (1969). The oxidation of phenol with molecular oxygen in aqueous solution II. The role of hydrogen in the oxidation of phenol with oxygen. Kinetic Catalyst 10: 1022.
- Sobczynski, A., Duczmal, L., and Zmudzinski, W. (2002). Phenol destruction by photocatalysis on TiO_2 : an attempt to solve the reaction mechanism. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 13: 225-230.
- Sun, J., Qiao, L., Sun, S., and Wang, G. (2007). Photocatalytic degradation of Orange G on nitrogen-doped TiO_2 catalysts under visible light and sunlight irradiation. Journal of Hazardous Materials, In Press.
- Swarnalatha, B, and Anjaneyulu, Y. (2004). Studied on the heterogeneous photocatalytic oxidation of 2,6-dinitrophenol in aqueous TiO_2 suspension. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 223: 161-165.
- Wang, C.C., and Ying J. (1999). Sol-gel synthesis and hydrothermal processing of anatase and rutile titania nanocrystals. Chemistry of Materials 11: 3113-3120.
- Wei, T.Y. and Wan, C.C. (1991). Heterogeneous photocatalytic oxidation of phenol with titanium dioxide powders. Industrial Chemistry Research 30(6): 1294-1300.
- Xie, Y., Yuan, C. (2003). Photocatalytic activity and recycle application of titanium dioxide sol for X-3B photodegradation. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 206: 419-428.
- Yang, J.-H., Han, Y.-S., and Choy, J.-H. (2006). TiO_2 thin-films on polymer substrates and their photocatalytic activity. Thin Solid Films 495: 266-271.
- Yang, Y., Guo, Y., Hua, C., Wang, Y., and Wang, E. (2004). Preparation of surface modifications of mesoporous titania with monosubstituted Keggin units and their catalytic performance for organochlorine pesticide and dyes under UV irradiation. Applied Catalysis A: General 273: 201-210.
- Yu, J., and Zhao, X. (2000). Effect of substrates on the photocatalytic activity of nanometer TiO_2 thin films. Materials Research Bulletin 35: 1293-1301.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต

ตัวอย่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ของสารละลายฟีนอล ณ เวลาใด ๆ



รูปที่ ก1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตของสารละลายฟีนอล ณ เวลาใด ๆ (จำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ = 8 แผ่น ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล = 50 พีพีเอ็ม และปริมาตรสารละลายฟีนอล = 500 มิลลิลิตร)

ภาคผนวก ข

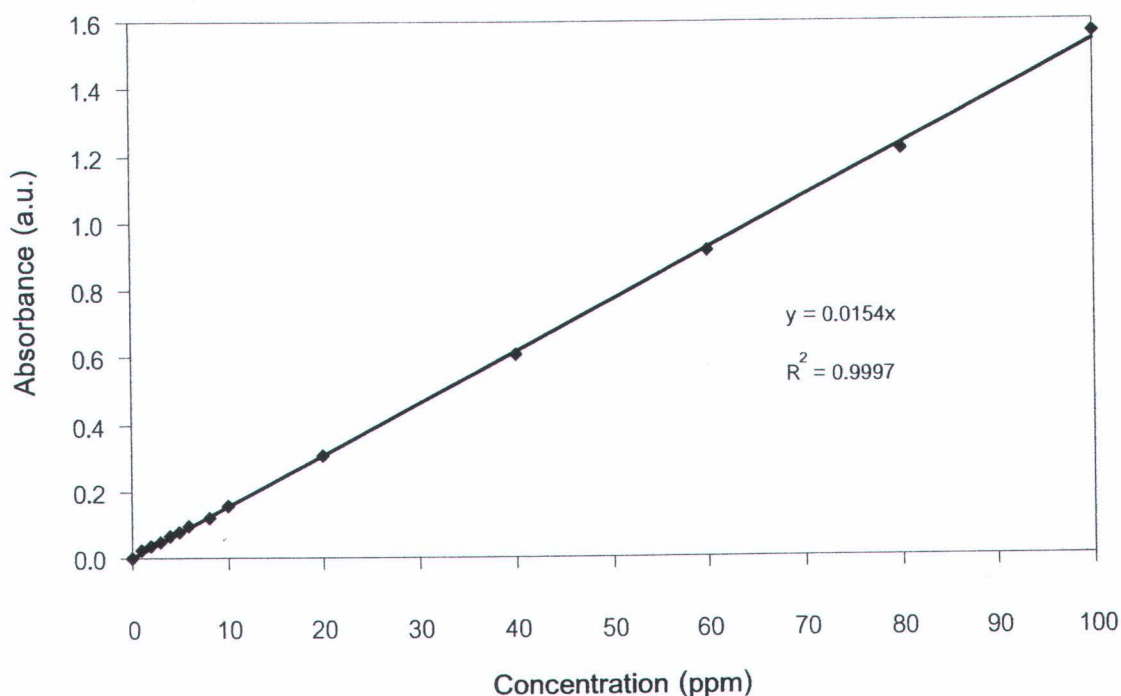
การคำนวณ

ข1. Calibration curve ของสารละลายฟีนอล

Calibration curve ของสารละลายฟีนอล โดยทดสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นคงที่ที่ 269 นาโนเมตร

ตารางที่ ข1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 0-100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.0006
1	0.0227
2	0.0335
3	0.0481
4	0.0632
5	0.0798
6	0.0961
8	0.1213
10	0.1552
20	0.3061
40	0.6083
60	0.9152
80	1.2158
100	1.5656



รูปที่ ข1 Calibration curve ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 0-100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข2. ปริมาณฟีนอลที่ถูกขจัด

ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนพอลิเมทิลเมทาคริเลตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการขจัดฟีนอล

ภาวะการทดลอง

อุณหภูมิในการทดลองคงที่	30	องศาเซลเซียส
ปริมาณของสารละลายฟีนอล	500	มิลลิลิตร
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้	8	แผ่น
ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	0.62	โมลาร์

จากการทำ Calibration curve ของสารละลายฟีนอล โดยทดสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 0-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นคงที่ที่ 269 นาโนเมตร

จะได้สมการดังนี้

$$Y = 0.0154X$$

(ข1)

เมื่อ Y แทนค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล

X แทนค่าความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล

จากตารางที่ ๖5 ในภาคผนวก ง

ตารางที่ ๖5 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (โมลาร์)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัดฟีนอล (%)
0.62	0	0.9308	60.44	0
	1	0.6997	45.43	24.82
	2	0.4621	30.00	50.35
	3	0.2903	18.85	68.81
	4	0.1854	12.03	80.08
	5	0.0801	5.20	91.39

1.1 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลเริ่มต้น

จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการ (ข1) จะได้ว่า

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล

=

ค่าการดูดกลืนแสง

0.0154

=

0.9308

0.0154

=

60.44 มิลลิกรัม/ลิตร

- 1.2 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลหลังจากทำการทดลองขจัดเชิงแสง 5 ชั่วโมง
จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการ (ข1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของฟีนอล} &= \frac{0.0801}{0.0154} \\ &= 5.20 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \end{aligned}$$

- 1.3 ปริมาณสารละลายฟีนอลที่ถูกขจัดภายหลังจากทำการทดลองขจัดเชิงแสง 5 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{ฟีนอลที่ถูกขจัด} &= \frac{\text{ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น}} \times 100 \\ \text{ฟีนอลที่ถูกขจัด} &= \frac{60.44 - 5.20}{60.44} \times 100 \\ &= 91.38\% \end{aligned}$$

ข3. ค่าคงที่ปรากฏของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการขจัดฟีนอล

จากสมการจลนพลศาสตร์ของแลงเมียร์-ฮินเชลวูด (Langmuir-Hinshelwood) แสดงดัง
สมการ ข2

$$-\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = k_{app}t \quad (ข2)$$

เมื่อ k_{app} คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาปรากฏของปฏิกิริยอันดับหนึ่งเทียม
(นาที่⁻¹)

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล (พีพีเอ็ม)

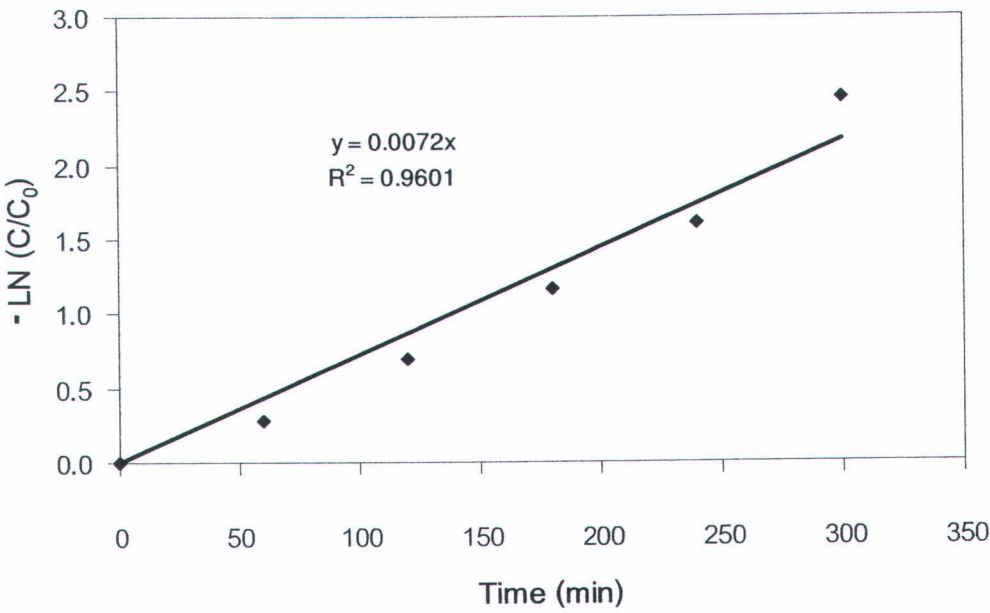
C_t คือ ความเข้มข้นของฟีนอล ณ เวลานั้น (พีพีเอ็ม)

เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและ $-\ln(C_t/C_0)$ ความชันของ
กราฟที่ได้ คือ ค่า k_{app} แสดงดังรูปที่ ข2 พบว่าค่าคงที่ปรากฏเท่ากับ 7.2×10^{-3} นาที่⁻¹

จากตารางที่ ๕ ในภาคผนวก ง

ตารางที่ ๕ ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	C/C ₀	-LN (C/C ₀)
0	0.9308	60.44	1	0
1	0.6997	45.43	0.75	0.28
2	0.4621	30.00	0.49	0.70
3	0.2903	18.85	0.31	1.16
4	0.1854	12.03	0.20	1.61
5	0.0801	5.20	0.08	2.45



รูปที่ ๒ ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าคงที่ปรากฏอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสงในการขจัดฟีนอล (จำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ = 8 แผ่น ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล = 50 พีพีเอ็ม ค่า pH เริ่มต้น = 5 กำลังของหลอดยูวี = 135 วัตต์ที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส)

ภาคผนวก ค

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

ตารางที่ ค1 ค่าคงที่คอนแทรสต์ ค่าประมาณปัจจัยและผลรวมกำลังสองของการจัดฟีนอล (%) จากการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจำนวน 4 ปัจจัย

การทดลอง	เครื่องหมาย	ปัจจัยแฟกทอเรียล															การจัดฟีนอล (%) ที่ 5 ซม.
		A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD	ABCD	
1	(1)	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	9.71
2	a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	24.15
3	b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	4.21
4	ab	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	16.2
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	35.85
6	ac	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	69.03
7	bc	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	10.2
8	abc	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	39.38
9	d	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	14.2
10	ad	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	45.42
11	bd	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	7.86
12	abd	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	20.81
13	cd	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	44.87
14	acd	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	91.44
15	bcd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	24.17
16	abcd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	54.94
คอนแทรสต์		210.30	-156.90	-40.52	227.32	69.10	-68.10	0.92	94.98	32.72	-19.40	-27.62	26.94	-2.76	15.60	4.02	X = 32.03
ค่าประมาณปัจจัย		26.29	-19.61	-5.07	28.42	8.64	-8.51	0.12	11.87	4.09	-2.43	-3.45	3.37	-0.35	1.95	0.50	
ผลรวมกำลังสอง		2764.13	1538.60	102.62	3229.65	298.43	289.85	0.05	563.83	66.91	23.52	47.68	45.36	0.48	15.21	1.01	

Σ ผลรวมกำลังสอง = 8987.32

ภาคผนวก ง

ประสิทธิภาพการขจัดฟีนอล

ตารางที่ ง1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา TiO_2 (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัดฟีนอล (%)
ไม่เผา	0	0.8547	55.50	0
	1	0.7089	46.03	17.05
	2	0.6061	39.35	29.08
	3	0.4832	31.37	43.46
	4	0.4071	26.08	53.60
	5	0.2690	17.46	68.52
400	0	0.8217	53.35	0
	1	0.7145	46.39	13.04
	2	0.6076	39.45	26.05
	3	0.5349	34.73	34.90
	4	0.4582	29.75	44.23
	5	0.4052	26.31	50.68
500	0	0.9468	53.29	0
	1	0.8152	45.72	14.21
	2	0.7145	38.33	28.07
	3	0.6020	31.86	40.21
	4	0.4870	25.70	51.77
	5	0.3947	19.99	62.48

ตารางที่ ง1 (ต่อ) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา TiO_2 (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัดฟีนอล (%)
600	0	0.9340	60.64	0
	1	0.8532	55.40	8.65
	2	0.8126	52.76	12.99
	3	0.7946	51.59	14.92
	4	0.6852	44.49	26.63
	5	0.5960	38.70	36.18
700	0	0.8625	56.00	0
	1	0.8005	51.98	7.18
	2	0.7819	50.77	9.34
	3	0.7446	48.35	13.66
	4	0.7029	45.64	18.50
	5	0.6611	42.92	23.35

ตารางที่ 2 ผลของจำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

จำนวนแผ่น PMMA เคลือบ TiO ₂ (แผ่น)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การจัด ฟีนอล (%)
ยวีย่อย่างเดียว	0	0.8083	52.48	0
	1	0.8036	52.18	0.58
	2	0.7948	51.61	1.67
	3	0.7919	51.42	2.02
	4	0.7783	50.53	3.71
	5	0.7658	49.72	5.25
2	0	0.8386	54.45	0
	1	0.7842	50.92	6.48
	2	0.7125	46.26	15.03
	3	0.6542	42.48	21.98
	4	0.5864	38.07	30.07
	5	0.5379	34.92	35.85
4	0	0.8453	54.88	0
	1	0.7621	49.48	9.84
	2	0.6829	44.34	19.21
	3	0.6001	38.96	29.00
	4	0.5449	35.38	35.53
	5	0.4689	30.44	44.52

ตารางที่ ง2 (ต่อ) ผลของจำนวนแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

จำนวนแผ่น PMMA เคลือบ TiO ₂ (แผ่น)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัด ฟีนอล (%)
6	0	0.8491	55.13	0
	1	0.7221	46.88	14.95
	2	0.6294	40.87	25.87
	3	0.5351	34.74	36.98
	4	0.4627	30.04	45.50
	5	0.3765	24.44	55.65
8	0	0.8208	53.29	0
	1	0.7041	45.72	19.99
	2	0.5904	38.33	28.07
	3	0.4907	31.86	40.21
	4	0.3958	25.70	51.77
	5	0.3079	19.99	62.48

ตารางที่ ๓ ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล (พีพีเอ็ม)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัดฟีนอล (%)
10	0	0.1552	10.07	0
	1	0.1027	6.66	33.82
	2	0.0949	6.16	38.85
	3	0.0790	5.12	49.09
	4	0.0589	3.82	62.04
	5	0.0347	2.25	77.64
50	0	0.8970	58.24	0
	1	0.7430	48.24	19.16
	2	0.6046	39.25	32.59
	3	0.5163	33.52	42.44
	4	0.3911	25.39	56.39
	5	0.2778	18.03	69.03
75	0	1.2319	79.99	0
	1	1.1189	72.65	9.17
	2	0.9542	61.96	22.54
	3	0.8826	57.31	28.35
	4	0.7612	49.42	38.20
	5	0.6083	39.50	50.62

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ความเข้มข้น เริ่มต้นของฟีนอล (พีพีเอ็ม)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การกำจัด ฟีนอล (%)
100	0	1.5363	99.75	0
	1	1.4340	93.11	6.65
	2	1.3107	85.11	14.68
	3	1.1759	76.35	23.45
	4	1.0524	68.33	31.49
	5	0.9312	60.46	39.38

ตารางที่ 4 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ค่าความเป็น กรด-เบส	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การกำจัด ฟีนอล (%)
3	0	0.9053	58.78	0
	1	0.8228	53.42	9.11
	2	0.7108	46.15	21.48
	3	0.5690	36.94	37.14
	4	0.4715	30.61	47.91
	5	0.4135	26.85	54.32

ตารางที่ 4(ต่อ) ผลของค่าความเป็นกรด-เบสต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล (พีพีเอ็ม)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัดฟีนอล (%)
5	0	0.8208	53.29	0
	1	0.7041	45.72	18.34
	2	0.5904	38.33	28.07
	3	0.4907	31.86	40.21
	4	0.3958	25.70	51.77
	5	0.2825	18.34	65.58
7	0	0.8988	58.36	0
	1	0.7814	50.74	13.06
	2	0.6574	42.68	26.85
	3	0.5503	35.73	38.77
	4	0.4543	29.50	49.45
	5	0.3710	24.09	58.72
9	0	0.8887	57.70	0
	1	0.8280	53.76	6.83
	2	0.7236	46.98	18.57
	3	0.6498	42.19	26.88
	4	0.5746	37.31	35.34
	5	0.4975	32.30	44.02

ตารางที่ 5 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอล
ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ความเข้มข้น ไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (โมลาร์)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัด ฟีนอล (%)
0.31	0	0.9323	60.53	0
	1	0.7636	49.58	18.09
	2	0.5598	36.35	39.95
	3	0.4715	30.61	49.42
	4	0.3185	20.68	65.83
	5	0.2162	14.03	76.81
0.62	0	0.9308	60.44	0
	1	0.6997	45.43	24.82
	2	0.4621	30.00	50.35
	3	0.2903	18.85	68.81
	4	0.1854	12.03	80.08
	5	0.0801	5.20	91.39
1.65	0	1.0430	67.72	0
	1	0.8072	52.41	22.60
	2	0.6364	41.32	38.98
	3	0.4150	26.94	60.21
	4	0.2389	15.51	77.09
	5	0.0963	6.25	90.76

ตารางที่ 5 (ต่อ) ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล
ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ความเข้มข้น ไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (โมลาร์)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การกำจัด ฟีนอล (%)
3.13	0	1.2878	83.62	0
	1	1.0868	70.57	15.60
	2	0.8487	55.11	34.09
	3	0.6389	41.48	50.38
	4	0.4870	31.62	62.18
	5	0.2560	16.62	80.12
4.95	0	1.4750	95.77	0
	1	1.3116	85.16	11.07
	2	1.0771	69.94	26.97
	3	0.8235	53.47	44.16
	4	0.5854	38.10	60.31
	5	0.4462	28.97	69.74
6.26	0	1.6184	105.09	0
	1	1.4459	93.88	10.65
	2	1.2410	80.58	23.31
	3	0.9561	62.08	40.92
	4	0.7878	51.15	51.32
	5	0.6104	39.63	62.28

ตารางที่ ๖ ผลของกำลังของหลอดอัลตราไวโอเล็ตต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

กำลังของหลอดยูวี (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัด ฟีนอล (%)
45	0	0.8517	55.30	0
	1	0.8149	52.91	4.32
	2	0.7674	49.83	9.89
	3	0.7353	47.74	13.66
	4	0.6859	44.53	19.46
	5	0.6460	41.94	24.15
99	0	0.7009	45.51	0
	1	0.6106	40.03	12.02
	2	0.5954	38.51	15.36
	3	0.5354	34.76	23.61
	4	0.4873	31.64	30.47
	5	0.4001	25.98	42.91
135	0	0.8208	53.29	0
	1	0.7041	45.72	14.21
	2	0.5904	38.33	28.07
	3	0.4907	31.86	40.21
	4	0.3958	25.70	51.77
	5	0.2825	18.34	65.58

ตารางที่ ๗7 ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยา
ออกซิเดชันเชิงแสง

ออกซิเจน (มล./นาที)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การจัด ฟีนอล (%)
0	0	0.8768	56.93	0
	1	0.7991	51.88	8.86
	2	0.7145	46.39	18.51
	3	0.6716	43.61	23.40
	4	0.6358	41.28	27.48
	5	0.5778	37.51	34.10
200	0	0.8208	53.29	0
	1	0.7041	45.72	14.21
	2	0.5904	38.33	28.07
	3	0.4907	31.86	40.21
	4	0.3958	25.70	51.77
	5	0.2825	18.34	65.58
400	0	0.9534	61.90	0
	1	0.8049	52.26	15.57
	2	0.6741	43.77	29.29
	3	0.5462	35.46	42.71
	4	0.4584	29.76	51.91
	5	0.3160	20.51	66.85

ตารางที่ ๗ (ต่อ) ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่อประสิทธิภาพการจัดฟีนอลด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

ออกซิเจน (มล./นาท)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การจัด ฟีนอล (%)
800	0	0.8533	55.40	0
	1	0.7210	46.81	15.50
	2	0.6263	40.66	26.60
	3	0.5184	33.66	39.24
	4	0.4154	26.97	51.31
	5	0.2949	19.14	65.44

ตารางที่ ๘ ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยา
ออกซิเดชันเชิงแสง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การจัด ฟีนอล (%)
30	0	0.8970	58.24	0
	1	0.7430	48.24	17.16
	2	0.6046	39.25	32.59
	3	0.5163	33.52	42.44
	4	0.3911	25.39	56.39
	5	0.2778	18.03	69.03
40	0	0.8768	56.93	0
	1	0.7091	46.04	19.12
	2	0.6145	39.90	29.91
	3	0.4716	30.62	46.21
	4	0.3358	21.80	61.70
	5	0.2778	18.03	68.31

ตารางที่ ง8 (ต่อ) ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วย
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัด ฟีนอล (%)
50	0	0.8517	55.30	0
	1	0.6408	41.61	24.76
	2	0.4826	31.33	43.33
	3	0.3763	24.43	55.81
	4	0.2953	19.17	65.32
	5	0.1578	10.24	81.47
60	0	0.9174	59.57	0
	1	0.6687	43.42	27.10
	2	0.5047	32.77	44.98
	3	0.3763	24.43	58.98
	4	0.3074	19.96	61.49
	5	0.1649	10.70	82.02
70	0	0.9174	59.57	0
	1	0.6408	41.61	30.15
	2	0.4826	31.33	47.39
	3	0.3763	24.43	58.98
	4	0.2953	19.17	67.81
	5	0.1498	9.72	83.67

ตารางที่ 9 ผลของจำนวนรอบการใช้งานของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วยไทเทเนียม ไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงแสง

จำนวนรอบ	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัด ฟีนอล (%)
1	0	0.8970	58.24	0
	1	0.7430	48.24	17.16
	2	0.6046	39.25	32.59
	3	0.5663	33.52	42.44
	4	0.3911	25.39	56.39
	5	0.2778	18.03	69.03
2	0	0.8118	52.17	0
	1	0.7016	45.55	13.57
	2	0.6019	39.08	25.85
	3	0.5019	32.76	38.17
	4	0.3968	25.76	51.12
	5	0.2979	19.34	63.30
3	0	0.8176	53.09	0
	1	0.7082	45.98	13.38
	2	0.5997	38.94	26.65
	3	0.5287	34.33	35.33
	4	0.4111	26.69	49.71
	5	0.3134	20.35	63.66

ตารางที่ 9(ต่อ) ผลของจำนวนรอบการใช้งานของแผ่นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคลือบด้วย
ไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการขจัดฟีนอลด้วยปฏิกิริยา
ออกซิเดชันเชิงแสง

จำนวนรอบ	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	การขจัด ฟีนอล (%)
4	0	0.9063	58.85	0
	1	0.8203	53.26	9.48
	2	0.6458	41.93	28.74
	3	0.5869	38.11	35.24
	4	0.4759	30.90	47.48
	5	0.3879	25.18	57.19
5	0	0.9041	58.70	0
	1	0.8105	52.62	10.35
	2	0.6659	43.24	26.34
	3	0.6063	39.37	32.93
	4	0.4854	31.51	46.31
	5	0.4079	26.48	54.88



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวฐนิษฐา เลื่อนลอย เกิดวันที่ 7 เมษายน 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551

