

# 利用 TiO<sub>2</sub> 光觸媒填充床處理室內 揮發性有機物之研究

蔡嘉緯<sup>1</sup>、張章堂<sup>2</sup>、邱求三<sup>3</sup>

1. 國立宜蘭大學環境工程系學生
2. 國立宜蘭大學環境工程系教授
3. 國立宜蘭大學環境工程系副教授

## 摘 要

因近幾年工商業的進步，加上人們居於室內時間頗多，因此室內揮發性有機物(VOCs)易對日常生活產生危害與困擾，亟需予以管制。雖處理室內 VOCs 技術頗多，仍以 TiO<sub>2</sub> 光催化技術最具成效與應用性；又 TiO<sub>2</sub> 活性主要受到污染物濃度、氣流流量、濕度及溫度等操作因子的影響。因此本研究目的乃評估 TiO<sub>2</sub> 光觸媒對 VOCs 之處理效率，以瞭解 TiO<sub>2</sub> 光觸媒反應特性。本實驗乃使用 Degussa P-25 商用 TiO<sub>2</sub> 與石英砂為載體之自製 TiO<sub>2</sub>，藉填充床反應器處理甲苯、二甲苯及乙基苯等 VOCs，並進行處理效率之評估。研究結果得知鈦玻璃填充床反應器於不照光下，甲苯經過 20 分鐘反應時間後，其去除率為 12.3%；當照射 365nm 光線時，去除效率可高達 99%。利用含鈦光觸媒處理 VOCs 時，以處理甲苯之處理效率為最高，高達 90.5%，其次為乙基苯和二甲苯，處理效率皆為 73.6%，並隨環境溼度之增加，處理效率相對提升；另廢氣通過填充床交換次數越多，對 VOCs 處理效率愈高。

**關鍵詞：**光觸媒、填充床、二氧化鈦、揮發性有機物

## Study on the VOCs Removal with TiO<sub>2</sub> Photo-catalyst Packing Bed

Chia-Wei Tsai<sup>1</sup> Chang-Tang Chang<sup>2</sup> Chyow-San Chiou<sup>3</sup>

1. College students, Department of Environmental Engineering, National I lan University

2. Professor, Department of Environmental Engineering, National I lan University

3. Associate professor, Department of Environmental Engineering, National I lan University

### Abstract

Volatile organic compounds (VOCs) are the typical indoor pollutants emitted from the furniture and clean agents in recent years of Taiwan. It is interesting that those VOCs could cause obvious effect on human health since human being stay in house for a long time. It is important to control those emitted VOCs and to understand the performance of control strategies, especially the most effective control techniques- TiO<sub>2</sub>/UV control system. This study evaluated the performance of a photo-reactor packed with TiO<sub>2</sub>/Glass that was initiated by the UV irradiation to decompose toluene and ethyl benzene and xylene (TEX) for indoor VOCs control. As a result, the degradation efficiency of TEX depended on packing materials and according to the sequence as follows: UV/TiO<sub>2</sub>/glass > UV/glass > TiO<sub>2</sub>/glass. It is also important to understand the influence of operation parameters, such as species, concentration, temperature, humidity and flow rate etc., on the degradation efficiency. Therefore, the aim of this study is to assess the performance of TiO<sub>2</sub> photo-catalyst reactor under different conditions. This study compared the control efficiency of the commercial TiO<sub>2</sub> material, Degussa P-25, and the self-made TiO<sub>2</sub> material, TiO<sub>2</sub>/Quartz. The results showed that the control efficiency, up to 99%, of UV/TiO<sub>2</sub> system was much larger than that, 12.3%, of TiO<sub>2</sub> system only. Furthermore, the toluene with the largest control efficiency, 90.5%, was the most easily controlled VOCs among the three species. The control efficiency of the other two kinds of VOCs, xylene and ethyl benzene, were only 73.6%. Additionally, the control efficiency of UV/TiO<sub>2</sub> system increased with the increase of relative humidity and exchange rate of waste gas.

**Keywords :** photo- catalytic, packing bed, UV/TiO<sub>2</sub>/Glass, VOCs

## 一、前言

台灣由於地狹人稠且在現今資訊發達的社會下，一般人居於廣義室內空間的時間約佔九十%，因此室內空氣品質頗值得重視，尤其是揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)。室內 VOCs 產生之可能來源，主要為油漆裝璜、殺蟲劑、化粧品、農藥、建築材料、自來水、地毯、香煙及燃燒性材料等[1]，密閉的室內環境中，易累積揮發性有機物 (VOCs)，其濃度常介於 2~4 ppm[2]。行政院環保署已於民國 94 年，針對室內總揮發性有機化合物(TVOC)制定建議值 3 ppm。室內 VOCs 種類主要為甲苯、二甲苯、乙基苯等[3]，雖然室內污染物濃度並不會很高，但在長時間暴露下，對人體之傷害性不低，因此亟需管制室內 VOCs 排放。

VOCs 通常是指 C<sub>2</sub> ~ C<sub>6</sub> 之非甲烷碳氫化合物，在標準狀態(20°C, 760 mmHg)下蒸氣壓大於 0.1 mmHg 以上的有機化合物[4]。由於 VOCs 具有高度的光化學反應性，大氣環境中之 VOCs 受日光照射後，容易被氧化形成游離基(radicals)，會再與大氣中的其它成份如 NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 反應，形成高濃度的臭氧、光化學煙霧(photochemical smog)和致癌物質，如醛、酮及 PANs，由於 VOCs 具有滲透、脂溶、揮發等特性，可經由接觸、呼吸等方式，造成人體呼吸道、肺臟、腎、神經、造血及消化系統之病變。長時間曝露於高濃度 VOCs，人體易產生急性效應(acute effects)[5,6]，因此此類物質為亟需處理的氣態污染物。

處理 VOCs 的方法大致可分為吸收法、活性碳吸附法、冷凝法、熱焚化法、觸媒焚化法及生物處理法等，但此些處理方法皆具有頗多缺點，如價格偏高、二次污染產生與維護不易等問題。由於利用光觸媒所進行的催化分解反應則可在室溫下反應，為一值得深入探討的研究方向。

TiO<sub>2</sub>於1972年由A. Fujishima及K. Honda[7, 8]發現，其先是應用於光能之轉換儲存，後於環境觸媒中發揚光大，成為現今最熱門之環境科技話題之一。TiO<sub>2</sub>光觸媒處理室內VOCs的優點很

多，其於長波長(低能量)光源照射下便可達到電子電洞的形成[9]，進一步和水分子反應形成具高氧化能力的氫氧自由基；且TiO<sub>2</sub>價格低廉亦為考量之因素，目前最常使用之商用TiO<sub>2</sub>為Degussa P-25等。若直接將商用TiO<sub>2</sub>顆粒應用於光化學處理有機廢棄物時，其具有不錯的光化學效率[10]，但由於TiO<sub>2</sub>的顆粒很細(5~30 nm)[11]，後續TiO<sub>2</sub>顆粒的處理需耗費很多的成本[12]，導致於實務操作上並不可行；故便有許多研究者嘗試將TiO<sub>2</sub>固定在不同的鈍性載體上，如玻璃[13]、石英砂、不鏽鋼[14]等材質上，其效果雖然較直接使用TiO<sub>2</sub>顆粒為差，但可克服商用TiO<sub>2</sub>顆粒於實際應用時，其因微小顆粒導致的壓損過大及TiO<sub>2</sub>回收問題。

光催化反應器大致上可區分為五大類：泥漿反應器 (Slurry reactor) [15, 16, 17]、薄膜反應器 (Thin Film Reactor) [18, 19]、填充床反應器 (Packed Bed Reactor) [20, 21, 22]、流體化床反應器 (Fluidized Bed Reactor) [23]和光纖反應器 (Optical Fiber Reactor) [24, 25]。填充床反應器為最廣泛使用的一種光催化反應器，其最基本的形式為一填滿催化劑顆粒的圓型管，反應流體通過此催化床之後形成生成物。其填充方式為將二氧化鈦披覆在載體(matrix)之上，再將載體隨意或依順序填充入反應器內，披覆的方式有許多種，其中較著名為Sol-Gel的方式[20, 21, 22]，載體的種類有許多，例如：玻璃珠、沸石、玻璃纖維等。Zeltner (1995)[21]研究指出此種反應器兼具光催化活性及不具光催化活性催化劑的效果，能進一步提升有機污染物之處理能力。

二氧化鈦光催化技術在應用於處理VOCs時，TiO<sub>2</sub>活性主要受到污染物濃度、氣流流量、濕度及溫度等光催化操作因子的影響[26]。在處理過程中所形成的中間產物會長時間吸附於觸媒表面，造成觸媒活性的降低，濃度高低可能會影響污染物吸附在光觸媒表面上，以影響處理的效率。而環境因子(如溫度和溼度)也可能影響光觸媒處理之效率，一般而言，在常溫下光催化反

應速率不高，但當反應溫度增加至一定程度時，反應速率會急速提昇[27]。當水分子適量存在時，反而有助於移除強吸附在TiO<sub>2</sub>表面的物種，使光觸媒催化活性得以持續[28]。氣流流量的快慢，可能影響到污染物經過光觸媒處理系統的次數，導致處理效率會有所不同。故本研究乃探討四種操作因子(濃度、氣流流量、濕度及溫度)對光觸媒處理效率之影響，以評估TiO<sub>2</sub>光觸媒對VOCs之處理效率，並瞭解TiO<sub>2</sub>光觸媒反應特性。本實驗乃使用Degussa P-25商用TiO<sub>2</sub>與石英砂為載體之自製TiO<sub>2</sub>，藉填充床反應器處理甲苯、二甲苯及乙基苯(Toluene, Ethyl benzene, and Xylene, TEX)等VOCs，並進行各種條件下處理效率之評估。

## 二、研究方法與實驗設備

### (一) 研究方法

#### 1. TiO<sub>2</sub>光觸媒合成

本研究使用TiO<sub>2</sub>為Degussa P-25；石英砂購自Arcos(USA)，其顆粒範圍亦為30至50網目。本實驗合成方法，是將Degussa P-25 TiO<sub>2</sub>溶解在矽酸鹽玻璃珠(粒徑為2 mm)中，表示為TiO<sub>2</sub>/glass。整個合成過程是利用0.5克的TiO<sub>2</sub>和1毫升的水與0.1毫升的cetylacetone相互混合成黏稠狀，然後緩慢的加入1.7毫升的水來稀釋此黏稠物，最後再加入一滴的Triton® X-100於稀釋過的黏稠物中，接著摻雜15克的玻璃珠與黏稠物相互混合，然後經過100°C烘乾10分鐘後，在於450°C燒結30分鐘後，便得到含鈦之石英光觸媒[29]。

#### 2.各種材質光觸媒之性能評估

為瞭解各種材質光觸媒與照光條件對TiO<sub>2</sub>光觸媒處理之影響，本實驗利用三種條件來處理TEX，第一種條件為利用含鈦之石英砂，且在無照射365nm光線時，來處理TEX；第二種條件為在填充床中填裝石英砂，且在照

射365nm光線時處理TEX；第三種條件為利用含鈦觸媒在照射365nm光線時處理污染物，藉此建立較佳之測試條件。

### 3.各種操作條件下光觸媒之性能評估

VOCs經TiO<sub>2</sub>光觸媒處理作用之操作參數如表1所示，其操作條件參數包括污染物濃度、污染物種類、溼度、溫度與流量。污染物濃度分別控制在2、4、6、8與10ppm下；污染物種類為甲苯、二甲苯與乙基苯；溼度設定於30、50、70與90%；流量分別控制在3、5、7、9 L/min；溫度操作於15、25、35°C，並探討在各種不同條件下與處理效率的關係。

### (二) 實驗設備

- 1.採樣瓶：320mL，無色玻璃材質，附螺旋瓶蓋，瓶蓋內襯為鐵氟龍墊片。
- 2.液針：體積為10μL的液針一支。
- 3.氣針：體積為10mL、5mL、1mL氣針各一支。
- 4.烘箱：使用溫度可達200°C。
- 5.排煙櫃。
- 6.流量計：流量可達10 L/min。
- 7.抽氣馬達：具備雙氣密功能，以防止漏氣。
- 8.氣相層析儀：
  - GC-FID：廠牌為中國氣相層析儀。
  - Column: J&W, DB-624, 30m×0.53mm×3μm.
  - 分析條件：GC注射口之溫度設為230°C，偵測器之溫度則設為210°C，Make Gas設定在0.6 kg/cm<sup>2</sup>，此時流量為24 cc/min，Packing Carrier Gas控制在0.3 kg/cm<sup>2</sup>，則流量為6 cc/min。分析甲苯時烘箱溫度為90°C，然而在分析乙基苯和二甲苯時，烘箱溫度增加為130°C。
- 9.實驗裝置：
  - 實驗之反應裝置如圖2所示，其體積為1.1升，且外部管徑為35 mm，內部管徑為26 mm，採批次反應的方式，實驗中所使用馬

達具備雙氣密功能，主要功能為防止漏氣；所有連接管線均為鐵弗龍材質；於光觸媒填充床中添加 50 克的含 TiO<sub>2</sub> 玻璃珠，光源為波長 365 nm、強度為 8 W 的燈管，VOCs 濃度係以 GC-FID 檢測。

### 三、結果與討論

#### (一) 空白測試結果

為瞭解 UV 光與結合 TiO<sub>2</sub> 之重要性，乃分別比較僅使用 UV 光照射石英砂、僅結合 TiO<sub>2</sub> 不照射 UV 光及同時使用 UV 光與結合 TiO<sub>2</sub> 三種條件下之差異性，如圖 3 所示，可知同時使用 UV 光與結合 TiO<sub>2</sub> 條件下的甲苯處理效率遠高於其他兩種條件，反應物的處理效率在處理 20 分鐘後可高達 99%；而僅結合 TiO<sub>2</sub> 不照射 UV 光與僅使用 UV 光照射石英砂，經過相同時間處理，其甲苯處理效率分別僅為 12.1% 和 24.5%。顯示 TiO<sub>2</sub> 光觸媒照射 UV 光後可具備良好的反應效率。

#### (二) 污染物種類對處理效率之影響

當入流濃度為 6ppm，溫濕度為 25°C 與 90%，且流量為 3 L/min、交換次數(單位時間內處理次數，Exchange rate, EC)為 15 min<sup>-1</sup> 時，利用 TiO<sub>2</sub> 光觸媒處理甲苯、乙基苯與二甲苯之處理效率分別為 77.0、73.6 與 73.6%，如圖 4 所示；當 EC 增為 45 min<sup>-1</sup> 時，污染物分子量越小，VOCs 處理效率亦越高，此時甲苯、乙基苯與二甲苯之處理效率分別為 94.6、90.6 與 90.0%。乃因此三種 VOCs 中甲苯分子量(92)最小，較易受光解[30]，而二甲苯與乙基苯為同分異構物，分子量皆為 106。

#### (三) VOCs 濃度對處理效率之影響

當光觸媒處理不同濃度之污染物時，若污染物濃度愈高時，其處理效率也相對增加，由圖 5 所示，以二甲苯處理為例，當濃度分別為 2、6 與 10 ppm 時，以濃度為 10 ppm 處理效率

最高，可達 95.3%；其次為 6 ppm，處理效率為 86.1%；並以濃度為 2 ppm 時，處理效率最低，僅為 69.9%。由此可知，若污染物濃度較高時，其吸附在光觸媒表面機會愈大，導致 TiO<sub>2</sub> 光觸媒系統對處理污染物效率能更為提升[31]。另對甲苯與乙基苯之處理效率，亦隨著濃度的增加而增加。

#### (四) 環境條件對 VOCs 處理效率之影響

由 Arrhenius Law 得知，溫度可能會影響 TiO<sub>2</sub> 光觸媒對 VOCs 的光催化反應效率，故本實驗嘗試探討不同溫度下之光催化反應效率，其結果如圖 6 所示，由此圖可得知，當反應溫度在 25°C 時，甲苯、二甲苯和乙基苯處理效率分別為 96.2、94.9 和 95.5%；但當反應溫度提升為 35°C 時，甲苯、二甲苯和乙基苯分別增至 98.2、96.9 和 97.0%，故溫度對 TiO<sub>2</sub> 光觸媒之處理效率之影響較不顯著。

當甲苯與二甲苯在溼度 30% 時，處理效率分別僅為 70.5 與 59.0%；但濕度增加至 90% 時，甲苯與二甲苯處理效率則可提高至 90.5 與 73.6%，如圖 7 所示。即溼度愈高時，TiO<sub>2</sub> 光觸媒系統之處理效率也愈高，由劉安治的研究[26]可知，當水分子適量存在時，有助於移除強吸附在 TiO<sub>2</sub> 表面的物種，使光觸媒催化活性得以持續。

#### (五) 處理流量對 VOCs 處理效率之影響

當處理氣體流量不同時，VOCs 通過反應器之反應時間也有所不同，由圖 8 可知，當乙基苯經過 TiO<sub>2</sub> 光觸媒處理系統停留時間達 6.7 seconds(氣流流量為 9 L/min)時，其處理效率僅為 73.6%；停留時間達 20 seconds(氣流流量為 3 L/min)時，處理效率高達 94.8%，處理甲苯和二甲苯時，亦有類似結果。因為經過處理系統的機會增加，導致處理效率也相對提高[32]。

### 四、結論

1. 填充床中填裝 TiO<sub>2</sub> 光觸媒，且在照射 UV

- 光下，對 VOCs 處理效率頗高，均在 90% 以上。
2. 含鈦光觸媒處理 VOCs 時，污染物分子量越小，VOCs 處理效率亦越高，甲苯、乙基苯與二甲苯之處理效率分別為 94.6、90.6 與 90.0%。
  3. 通過光觸媒處理停留時間愈長，TiO<sub>2</sub> 光觸媒對 VOCs 處理效率愈高。
  4. VOCs 入流濃度愈高時，其處理效率也相對增加。
  5. 溫度對含鈦光觸媒系統之處理效率影響有限，每增高 10°C，處理效率僅增加 2 到 3 %。
  6. 系統反應溼度增高時，TiO<sub>2</sub> 光觸媒處理效率相對提升。
- (9) 王文，”以光纖反應器進行紫外線光觸媒程序分解氣相中苯之研究”，國立臺灣科技大學化學工程系博士論文，2003。
  - (10) Moctezuma, E.; Leyva, E.; Monreal, E.; Villegas, N.; Infante, D., “Photocatalytic Degradation of the Herbicide: Paraquat,” *Chemosphere*, 39(3): 511-517, 1999.
  - (11) Wang, W.; Ku, Y., “The Light Transmission and Distribution in an Optical Fiber Coated with TiO<sub>2</sub> Particles,” *Chemosphere*, 50, 999-1006, 2003.
  - (12) Pozzo, R. L; Baltanas, M. A.; Cassano, A. E., “Supported Titanium Oxide as Photocatalyst in Water Decontamination: State of the Art,” *Catalyst Today*, 39, 219-231, 1997.
  - (13) Gelover S.; Mondragon, P.; Jimenez, A., “Titanium Dioxide Sol-Gel Deposited over Glass and Its Application as a Photocatalyst for Water Decontamination,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 165, 241-246, 2004.
  - (14) Fernadaz, A.; Lassaletta, G.; Jimenez, V.M.; Justo, A.; Gonzalez-Elipe, A. R.; Herrmann, J.H.; Tahiri, H.; Ait-Ichou, Y., “Preparation and Characterization of TiO<sub>2</sub> Photocatalysts Supported on Various Rigid Supports (Glass, Quartz and Stainless Steel). Comparative Studies of Photocatalytic Activity in Water Purification,” *Applied Catalysis B: Environmental* 7, 49-63, 1995.
  - (15) William, J. C.; Meacham, D. E.; Nickelsen, M. G., and Lin, K., “The Removal of Trichloroethylene (TCE) and Tetrachloroethylene (PCE) from Aqueous Solution Using High Energy Electrons,” *Air and Waste Management Association Annual Meeting*, 43: pp.1358-1366, 1993.
  - (16) Ibusuki, T. and Takeuchi, K., “Toluene

## 參考文獻

- (1) 程惠生，”室內空氣污染”，環境檢驗所，第九期，2004。
- (2) 謝挺蘊，“考量健康風險評估之室內空氣品質指標之研擬”，國立臺北科技大學環境規劃與管理研究所碩士論文，2003。
- (3) 袁紹英，”談室內空氣品質”，環境檢驗所，第十三期，2004。
- (4) 蔡文田、張慶源，”揮發性有機物(VOCs) 催化燃燒處理”，環境工程會刊，第四期，41-58，1992。
- (5) 王榮德，”公害與疾病(一)”，P.41, 203-208, 240-245，台北健康世界雜誌社，1999。
- (6) 蔡文田，”含氯溶劑可行減廢技術介紹”，工業污染防治，第三期，171-182，1993。
- (7) Fujishima, A., Honda, K., “Electrochemical Photolysis of Water at a Semi-Conductor Electrode,” *Nature* 238 (1972) 37-38.
- (8) Fujishima, A., Rao, T.N., Tryk, D.A., “Titanium dioxide photocatalysis, *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem.*” Rev. 1 (2000) 1-21.

- Oxidation on UV-Irradiated Titanimn Dioxide with and without O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, or H<sub>2</sub>O at Ambient Temperature,” *Atmospheric Environment*, 20: pp.1711, 1986.
- (17) Gratson, D. A.; Nimos, M. R., and Wolfrum, E. J., “Photocatalytic Oxidation of Gas-Phase TEX-Contaminated Waste Streams,” The 88<sup>th</sup> Air & Waste Management Association Annual Meeting, June, 1995.
- (18) Hung, C. H. and Marinas, B. J., “Role of Chlorine and Oxygen in the Photocatalytic Degradation of Trichloroethylene Vapor on TiO<sub>2</sub> Films,” *Environmental Science Technology*, 31(2): pp.562-568, 1997.
- (19) Ibusuki, T.; Kutsuna, S.; Takeuchi, K.;, Shin-Kai, K.; Sasamoto, T., and Miyamoto, M., “Removal of Low Concertration Air Pollutions through Photoassisted Heterogeneous Catalysis,” in Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, pp.375, 1993.
- (20) Anderson, M. A.; Aeltner, M., Fu, X., and Tompkins, D., “Chamber Studues Comparing the Effectiveness of Photocatalytic Degradation and Activated Carbon for the Treatment of Indoor Air,” *Air & Waste Management Assocation Annual Metting*, June, 1996.
- (21) Zeltner, W. A.; Fu, X., and Anderson, M. A., “Photocatalytic Ceramic Membrances Reactors: The Chemists Perspective,” The 88<sup>th</sup> Air & Waste Management Association Annual Meeting, June, 1995.
- (22) Peral, J., and Ollis, D. F., “Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Gas-Phase Organics for Air Purification: Acetone, 1-Butanol, Butyaldehyde, Formaldehyde, and m-Xylene Oxidation,” *Journal of Catalyst*, 134: pp.554-565, 1992.
- (23) Dibble, L. A., and Raupp, G. B., “Fluidized-Bed Photocatalytic Oxidation of Trichloroethylene in Contaminated Air Streams,” *Environmental Science Technology*, 1992.
- (24) Hofstadler, K., Bauer, R., Novalle, S., and Heisler, G., “New Reactor Design for Photocatalytic Wastewater Treatment with TiO<sub>2</sub> Immobilized on Fused-Silica Glass Fibers: Photomineralization of 4-Chlorophenol,” *Environmental Science Technology*, pp.670-674, 1994.
- (25) Peill, N. J., and Hoffmann, M. R., “Chemical and Physical Characterization of a TiO<sub>2</sub>-Coated Fiber Optical Cable Reactor,” *Environmental Science Technology*, pp.2806-2812, 1996.
- (26) 謝瑜芬, “以 SCR 觸媒破壞氣相中戴奧辛之初步探討”, 碩士論文, 國立中央大學環境工程研究所, 2003。
- (27) Hung, C. H.; Wu, C. S., and Yuan, C. S., “Photocatalytic Degradation of Benzene via TiO<sub>2</sub> and Metal-Doped TiO<sub>2</sub>,” *Air and Waste Management Association 93<sup>rd</sup> Annual Meeting and Exhibition*, Salt Lake City, Utah, USA, June 18-22, 2000.
- (28) 劉安治, “近紫外光/二氧化鈦光催化分解氣相中低濃度四氯乙烯之操作參數探討,” 國立中山大學環境工程研究所碩士論文, 1997。
- (29) Arabatzis, I.M.; Antonaraki, S.T.; Stergiopoulos, A.; Hiskia, E.; Papaconstantinou, M.C.; Falaras, B.P., “Preparation, Characterization and Photocatalytic Activity of Nanocrystalline Thin Film TiO<sub>2</sub> Catalysts towards 3,5-dichlorophenol Degradation,” *Journal of*

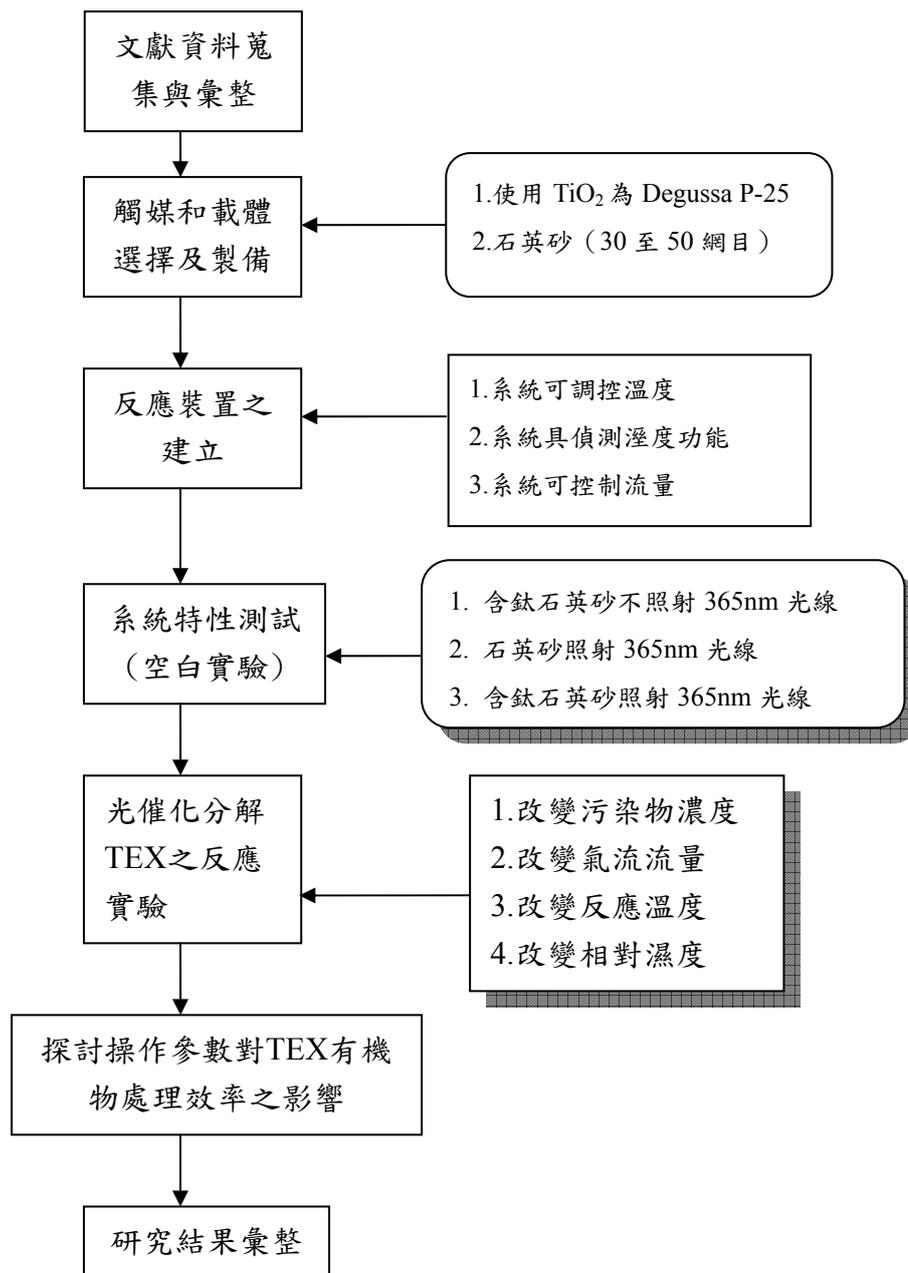
Photochemical Photobiology, A: Chem. 149,  
237-245, 2002.

- (30) 吳政峰，「溫度與濕度效應對光催化分解氣相揮發性有機物之影響，」國立中山大學環境工程研究所碩士論文，2005。
- (31) 巫玉娟，「活性碳纖維塗覆二氧化鈦光觸媒去除揮發性有機物之可行性研究」，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2004。
- (32) 趙鵬文，「以UV/TiO<sub>2</sub>程序處理氣相中三氯乙烯之研究，」國立中興大學環境工程學系碩士論文，1998。

表 1 TiO<sub>2</sub> 光觸媒處理 VOCs 參數表

Table 1: The parameters of TiO<sub>2</sub> photocatalytic reactor for decomposing VOCs

參數	條件
污染物	甲苯、二甲苯、乙基苯
濃度 (ppm)	2、4、6、8、10
溼度(%)	30、50、70、90
溫度(°C)	15、25、35
流量(L/min)	3、5、7、9



備註：具陰影者為本研究重點

圖 1 研究流程圖

Figure 1: The research diagram of this study.

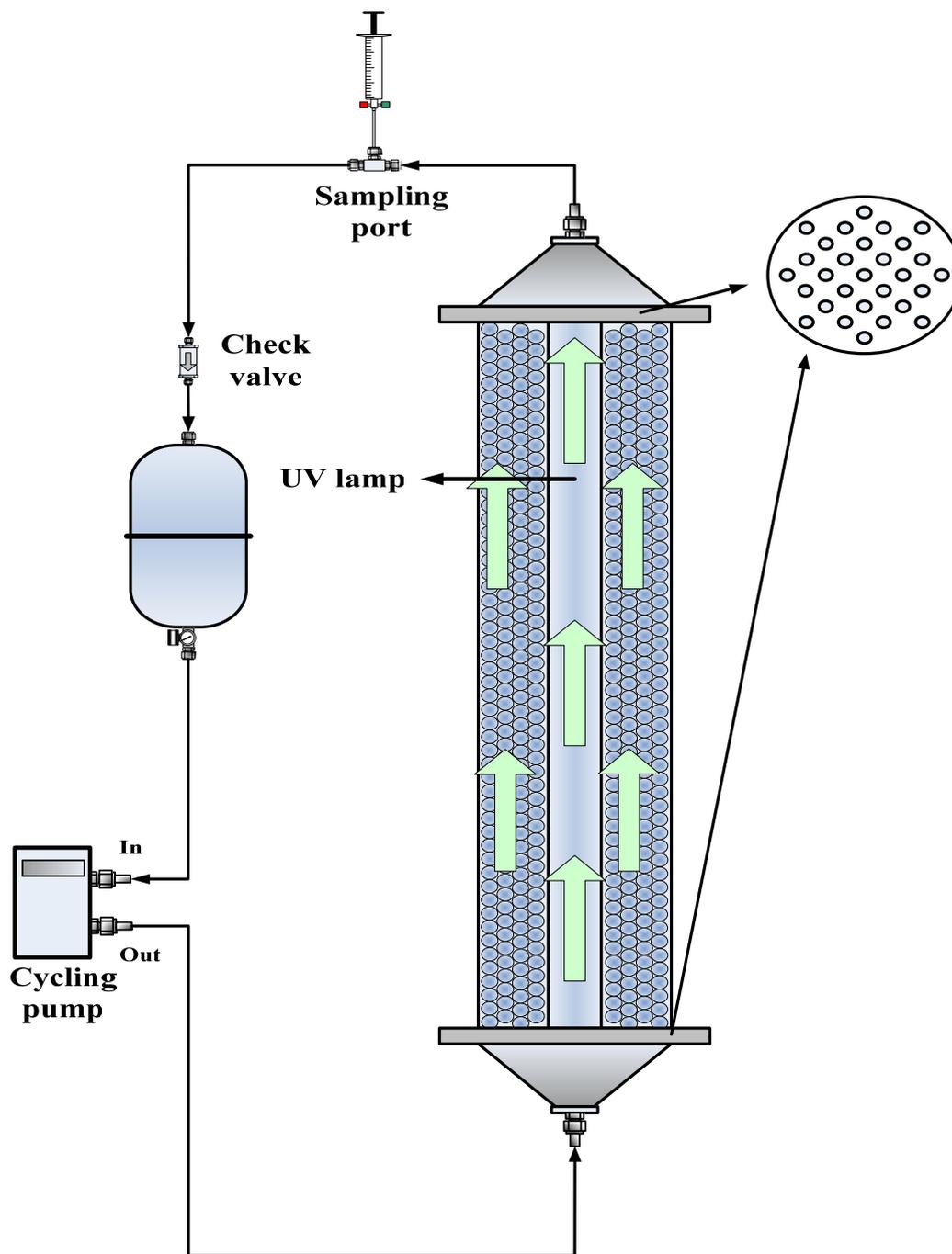


圖 2 填充床光反應裝置

Figure 2: The experimental sketch of photo-catalyst packing bed.

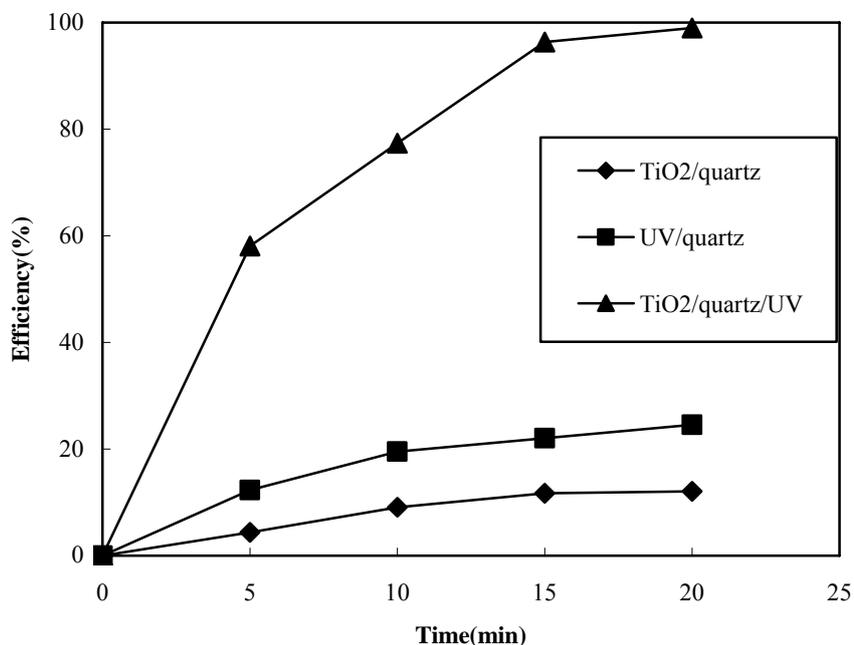


圖 3 各種載體處理效率之比較

實驗條件：(a) 50 克含 TiO<sub>2</sub> 之石英砂。(b) 50 克石英砂在 360nm 波長照射下。  
(c) 50 克含 TiO<sub>2</sub> 之石英砂在 360nm 波長照射下。

Figure 3: Control efficiency of toluene with photo-catalyst packing bed.  
Experimental conditions: case (a): 150 g TiO<sub>2</sub>/glass;  
case (b): UV ( $\lambda_{365}$ ) = 1.67 mWcm<sup>-2</sup>, 50 g glass;  
case (c): UV ( $\lambda_{365}$ ) = 1.67 mWcm<sup>-2</sup>, 50 g TiO<sub>2</sub>/glass.

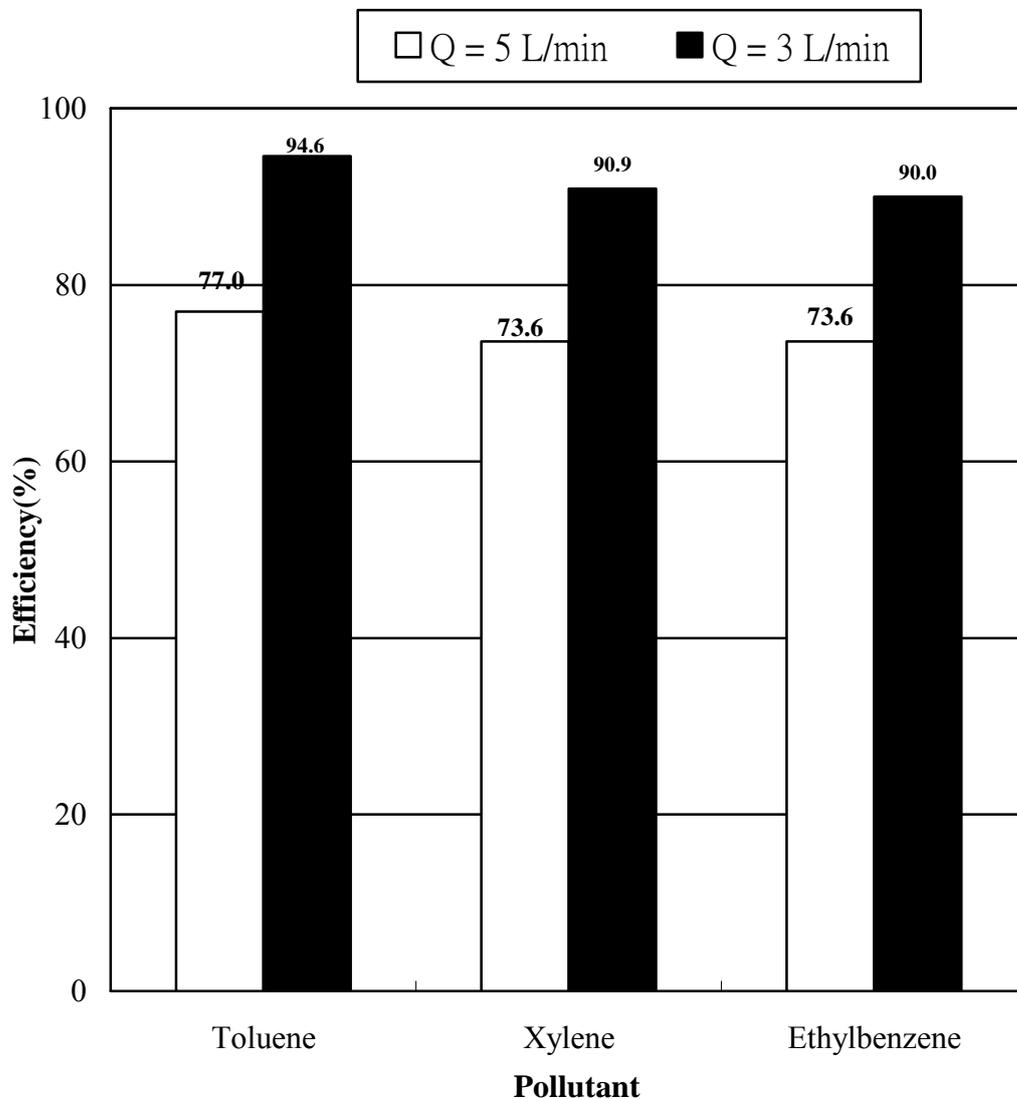


圖 4 三種 VOCs 於不同流量下處理效率之比較

實驗條件：甲苯、乙基苯和二甲苯之入流濃度為 6ppm，溼度為 90%，溫度為 298K，處理流量為 3 與 5 Lmin<sup>-1</sup>，光觸媒含量為 50 克。

Figure 4: The comparison of VOCs control efficiency under two kinds of gas exchange rates. Experimental conditions: C<sub>0</sub> = 6ppm (initial concentration), RH = 90%, T = 298 K, catalyst amount = 50 g TiO<sub>2</sub>/glass, flow rate = 3 and 5 L min<sup>-1</sup>.

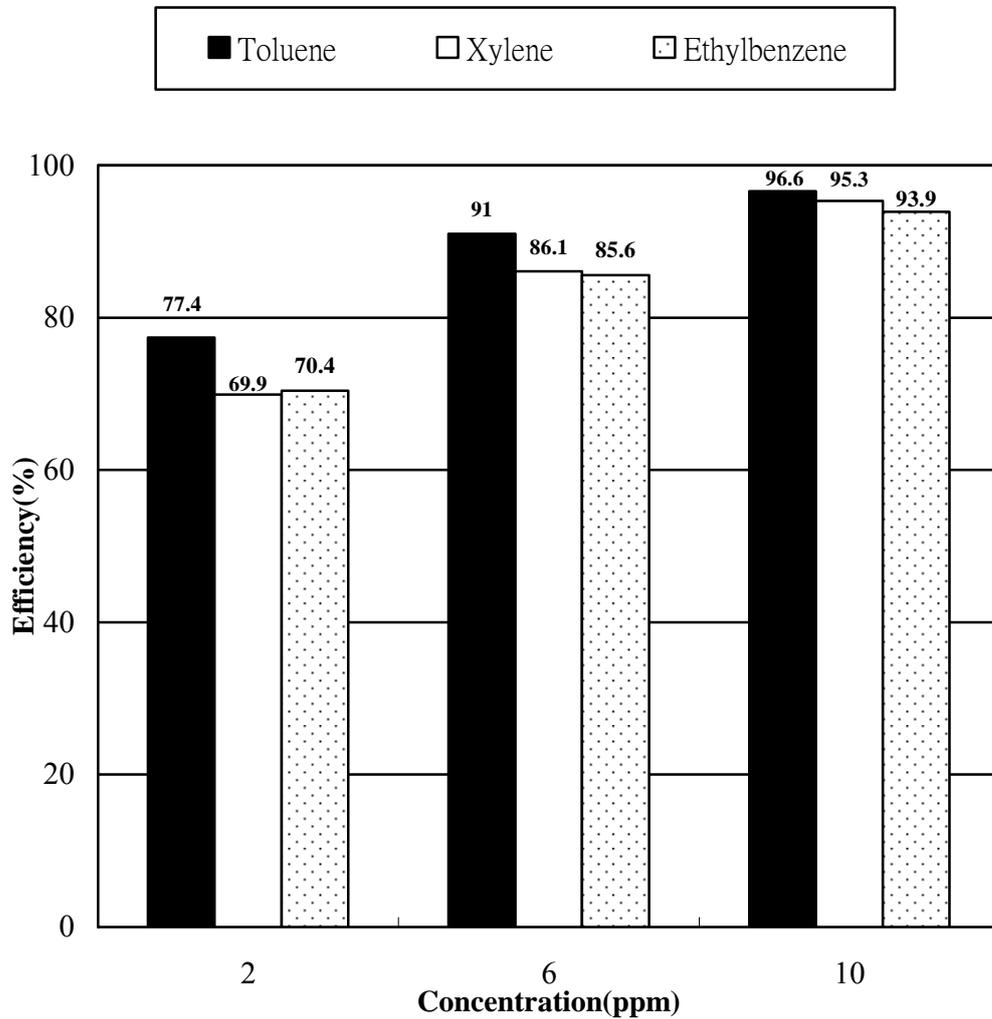


圖 5 光觸媒處理不同濃度 TEX 之效率

實驗條件：甲苯、乙基苯和二甲苯之入流濃度為 2、6 與 10ppm，溼度為 90%，溫度為 298K，流量為 5 L min<sup>-1</sup>，光觸媒含量為 50 克。

Figure 5: The comparison of control efficiency under different initial concentration.  
Experimental conditions: C<sub>0</sub> =2, 6 and 10ppm, RH = 90%, T = 298 K,  
catalyst amount = 50 g TiO<sub>2</sub>/glass, flow rate = 5 L min<sup>-1</sup>.

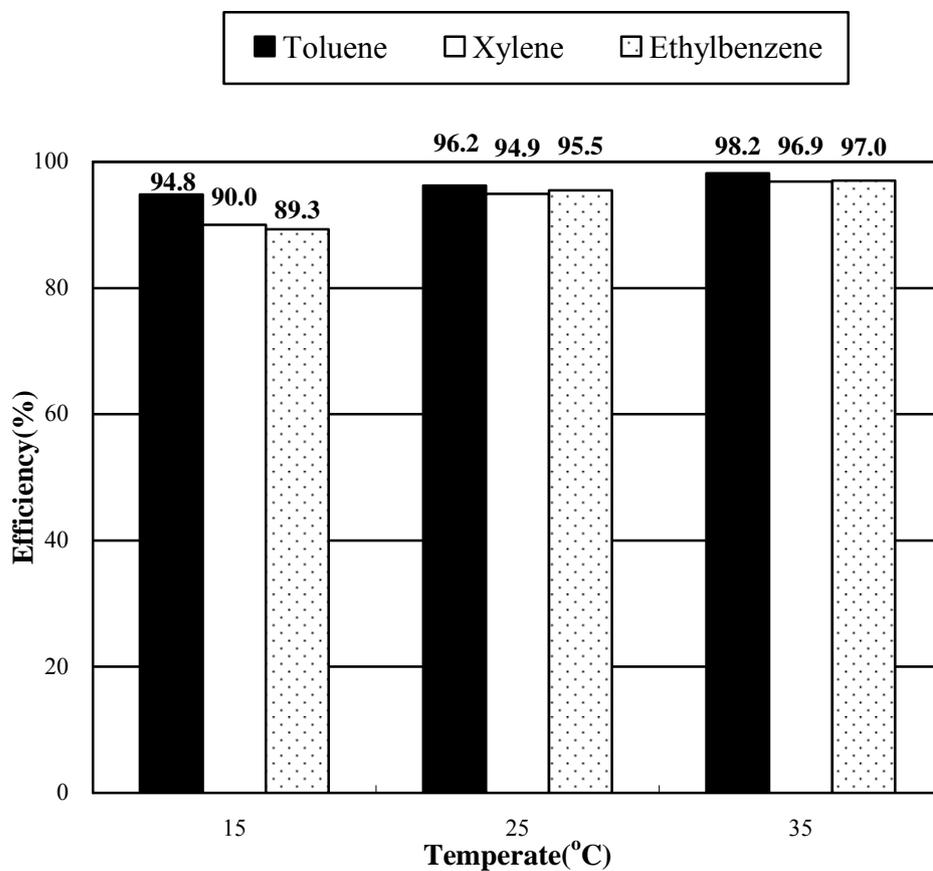


圖 6 光觸媒在不同溫度下處理 TEX 之效率

實驗條件：甲苯、乙基苯和二甲苯之入流濃度為 6ppm，溼度為 90%，溫度為 288、298 與 308K，流量為 5 L min<sup>-1</sup>，光觸媒含量為 50 克。

Figure 6: The comparison of control efficiency under different temperature.

Experimental conditions: C<sub>0</sub> = 6ppm, RH = 90%, T = 288, 298 and 308 K, catalyst amount = 50 g TiO<sub>2</sub>/glass, flow rate = 5 L min<sup>-1</sup>.

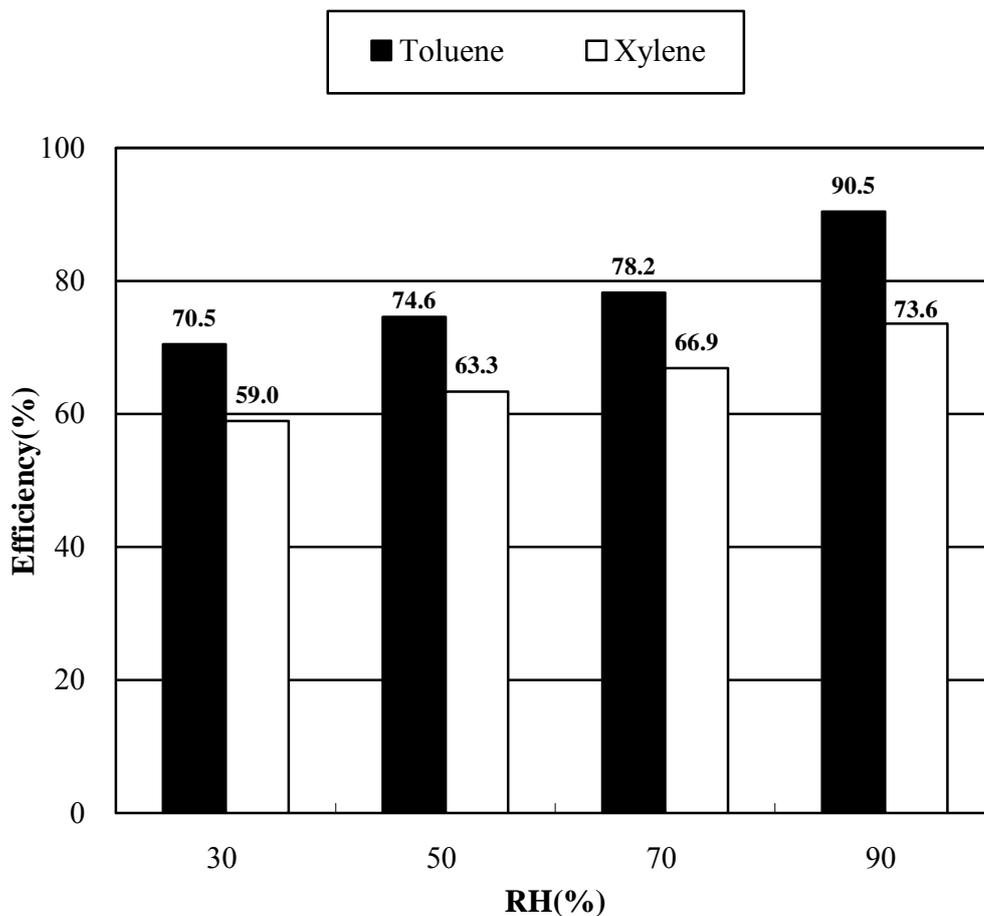


圖 7 光觸媒在不同溼度下處理 TX 之效率

實驗條件：甲苯與二甲苯之入流濃度為 6ppm，溼度為 30、50、70 與 90%，溫度為 298K，流量為 5 L min<sup>-1</sup>，光觸媒含量為 50 克。

Figure 7: The comparison of control efficiency under different relative humidity.

Experimental conditions: C<sub>0</sub> = 6ppm, RH = 30, 50, 70 and 90%, T = 298 K, catalyst amount = 50 g TiO<sub>2</sub>/glass, flow rate = 5 L min<sup>-1</sup>.

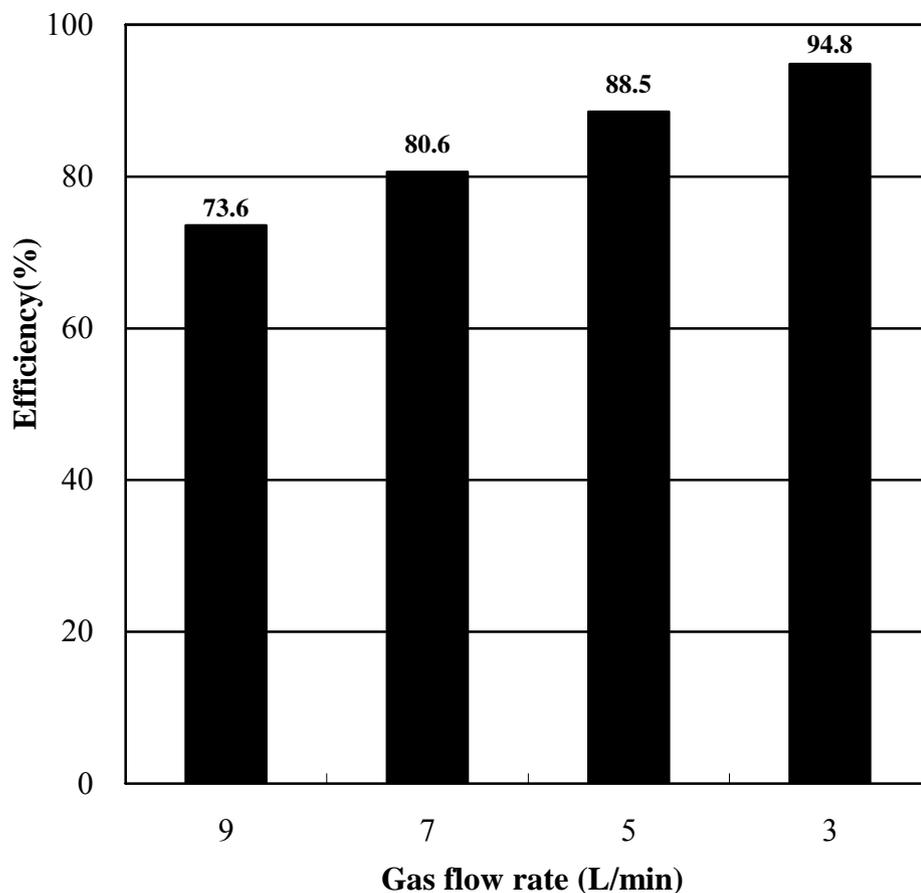


圖 8 光觸媒在不同氣流流量下對乙基苯之處理效率

實驗條件：乙基苯之入流濃度為 6 ppm，溼度為 90%，溫度為 298K，流量為 3、5、7 與 9 L min<sup>-1</sup>，光觸媒含量為 50 克。

Figure 8: The comparison of ethyl benzene control efficiency under different gas flow rate. Experimental conditions: C<sub>0</sub> = 6ppm (initial concentration of ethyl benzene), RH = 90%, T = 298 K, catalyst amount = 50 g TiO<sub>2</sub>/glass, flow rate = 3, 5, 7 and 9 L min<sup>-1</sup>.

