

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

環境荷爾蒙處理技術之研究與應用-光催化法(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-009-031-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：陳重男

共同主持人：盧明俊

計畫參與人員：張秋萍、楊何源

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 22 日

一、中文摘要

本研究計畫是採用半導體觸媒二氧化鈦，搭配主要波長 365 nm 的紫外光，對疑似環境荷爾蒙的氣相物質—二甲基甲醯胺進行異相催化分解反應，研究二氧化鈦活性衰退的原因及再生的方法，並建立活性衰退模式。二甲基甲醯胺經光催化分解後，以 IC 分析發現有無機性的 NH_4^+ 及 NO_3^- 離子吸附於觸媒表面，以 FTIR 分析則有醛類及酸類的有機物吸附於觸媒表面，這些物種可能是造成觸媒活性衰退的主因。設計七種再生方式回復觸媒的活性，發現以 H_2O_2 或 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 再生的效果最好，幾乎可完全恢復觸媒的活性。

關鍵詞：環境荷爾蒙、二甲基甲醯胺、二氧化鈦、活性衰退、再生

英文摘要

The heterogeneous photocatalytic decomposition of ~~gph~~ phase N, N-dimethyl formamide (DMF) suspected to be an endocrine disrupting chemical (EDC) was studied by UV/TiO₂. The conversion of DMF would decrease with the irradiation time. The ions of NH_4^+ and NO_3^- were detected on the TiO₂ surface. The species containing carbonyl and aldehyde groups were determined by FTIR. These adsorbed species caused the deactivation of catalyst. The behavior of deactivation was described by the mathematical model. Seven surface treatments have been studied in order to find suitable procedures for catalytic activity recovery. The activity of catalyst almost recovered in the H_2O_2 or $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ process.

Key Word: Endocrine disrupting chemical, N, N-dimethyl formamide, Titanium dioxide, Deactivation, Recovery

二、前言

內分泌干擾化學物 (endocrine disrupting chemicals, EDCs) 又稱為環境荷爾蒙 (environmental hormones)，其對人體及其他生物體的影響，是近幾年來許多學者專家關切的話題之一。在工業科技的高度發展下，某些必須應用的化學物並無法禁止其生產使用，但該化學物或其生產製造衍生的污染物可能具有對生物體內分泌系統干擾的影響，故針對此類污染物需提出具體的處理方式，才可避免其對生物體或環境的危害。目前發展中的二氧化鈦光催化法具有反應速度快、低能量消耗、操作簡單及觸媒費用低等優點，以此技術來處理難分解性的環境荷爾蒙類物質或其他有機物質，具有極大的優越性及發展性。

三、研究目的

二氧化鈦光催化技術處理氣相有機污染物已研究近十年，但技術仍未實場化的重要原因之一，乃在二氧化鈦觸媒本身使用時間的限制。在氧化有機物的過程中所產生的部份中間產物會吸附在二氧化鈦表面，隨著時間逐漸累積而造成二氧化鈦活性位置的減少，處理有機物的能力降低，產生二氧化鈦的活性衰退現象。因此觸媒本身能否再生而重複利用，影響此技術發展的可行性。

本計畫以合成皮業大量使用的有機溶劑二甲基甲醯胺 (N-Dimethyl formamide, DMF) 為分析物種，進行氣相有機物的二氧化鈦光催化分解反應，探

討造成觸媒活性衰退的主因，並進行一系列的觸媒再生程序，使觸媒能做最有效、最長久的使用，提昇二氧化鈦光催化技術的處理能力，以應用在環境荷爾蒙物質的處理上。

四、文獻探討

DMF 與水、苯、丙酮等許多有機溶劑具很好的互溶性，被廣泛的應用於合成皮製造業，DMF 對人體的肝臟器官損害最大，國際癌研究所 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 更將 DMF 分類為 2B「可能的人類致癌物」^[1]。Ren 等人^[2] 將彩虹魚暴露在含 DMF 的水體中，發現 vitellogenin mRNA 可以被 DMF 誘導，推斷 DMF 具微弱的雌激素功能，故有學者認為 DMF 為疑似環境荷爾蒙之一。在控制技術研究方面，DMF 氣體的控制技術目前有活性碳吸附、觸媒焚化及濕式洗滌法等，無採用光催化法處理的研究^[3]。

應用二氧化鈦光催化法處理氣相有機污染物時，有些學者發現未完全氧化分解的中間產物，會吸附在二氧化鈦觸媒表面，阻塞觸媒的活性位置而造成處理有機物的能力降低。Alberici 等人^[4] 處理三種含 N 氣相臭味物質，分別是 pyridine (C_5H_5N)、propylamine ($C_3H_7NH_2$) 及 diethylamine ($C_4H_{10}NH$)，光催化反應後的觸媒經純水萃取後分析，證實有 NH_4^+ 及 NO_3^- 離子吸附於觸媒表面。Huang 等人^[5] 處理三乙氨 (triethylamine, TEA) 時，對於進流濃度 20.5 ppm 的三乙氨，光催化處理 2 小時後，觸媒活性幾乎已完全衰退，而從 FTIR 及 TPD-MS 的結果發現，有羧基 ($-COOH$)、 $-N=N=O$ 及其他含碳物種在觸媒表面逐漸累積，這些副產物或中間產物會對觸媒產生化學吸附而不易脫附，阻止三乙氨在觸媒表面的吸附分解。

一些學者進行這類異相光催化的研究時，除了發現二氧化鈦觸媒有活性衰退的現象，並嘗試以各種再生方法來恢復觸媒的活性。Alberici and Jardim^[6] 處理甲苯氣體 150 分鐘後，除了發現觸媒活性逐漸衰退外，觸媒表面顏色會從白色轉為黃色，但通入濕空氣配合紫外光照整夜，仍然無法有效恢復觸媒活性，改以過氧化氫 (1:1, v/v) 清洗觸媒表面，再以紫外光照射 1 小時，較能恢復觸媒活性，且觸媒表面的顏色也可恢復為白色。Piera 等人^[7] 對乙醇光催化處理所造成的二氧化鈦觸媒衰退現象，設計一系列的再生程序以恢復觸媒的活性，例如以乾空氣配合紫外光、濕空氣配合紫外光、過氧化氫蒸氣配合紫外光等程序進行觸媒再生，但不管是何種再生程序，再生後的觸媒經光催化操作，所得的反應速率常數均比未再生前低，即觸媒活性無法藉由所設計的再生程序所恢復。

五、研究方法

本研究是採用環管狀柱塞流式反應器，上面批覆 Degussa P-25 型二氧化鈦，搭配主要波長 365 nm 的紫外光，進行 DMF 異相催化分解反應，圖 1 為本研究的反應系統配置圖。主要進行下面五種研究。

1. 觸媒活性實驗：

以流量 20 ml/min、DMF 初始濃度 1.51 μM 、濕度 3.25 μM 、氧含量 20%、反應溫度 100°C 及觸媒面積 113 cm^2 的操作條件，進行 DMF 光催化分解，探討轉化率對光解時間的變化，並藉此判斷觸媒活性是否有衰退的現象。

2. 觸媒表面萃取後 IC 分析：

固定光催化的操作條件，將未經光催化反應、光催化反應 1 小時及 2 小時的觸媒刮除下來，以純水萃取表面吸附物種，再以 0.45 μm 的濾紙過濾，分析觸媒表面所吸附的無機離子含量，推論是否為造成觸媒活性衰退的因素之一。

3. 觸媒表面 FTIR 分析：

將光催化反應 150 分鐘後的觸媒刮除下來，取 KBr 固定配比（100：1）混合研磨，以壓片機固定重量及厚度打片，再以 FTIR 分析觸媒表面可能吸附的有機物官能基^[9]，推論是否為造成觸媒活性衰退之因素。

4. 觸媒再生實驗及觸媒活性衰退模式分析：

固定光催化的操作條件，觸媒經光催化操作後，進行再生以回復觸媒活性，一組觸媒共進行三次光催化處理，中間進行兩次再生，分析轉化率及礦化率的變化，下面列出七種再生程序的處理方式。

- (1) DA：100°C 下，以乾空氣流洗，操作 1 小時再生。
- (2) DA/UV：100°C 下，乾空氣流洗搭配紫外光照光，操作 1 小時再生。
- (3) O₂/UV：100°C 下，以純氧流洗搭配紫外光照光，操作 1 小時再生。
- (4) WA/UV：100°C 下，以濕空氣（1160 μM H₂O）搭配紫外光照光，再生 1 小時。
- (5) H₂O/UV：室溫下，以純水 10 ml 噴灑於觸媒表面，再以乾空氣流洗配合紫外光照光，操作 15 分鐘再生，之後再以 100°C 去除反應器水氣。
- (6) H₂O₂/UV：室溫下，以 1.06 M、10 ml 過氧化氫噴灑於觸媒表面，再以乾空氣配合紫外光照光，操作 15 分鐘再生，之後以 100°C 去除水氣。
- (7) H₂O₂：室溫下，以 1.06 M、10 ml 過氧化氫噴灑於觸媒表面，15 分鐘再生，之後再以 100°C 去除反應器水氣。

考慮 DMF 進流濃度及光解後中間產物濃度共同對觸媒所造成活性衰退影響，假設 DMF 光分解及觸媒活性衰退皆為一階反應，提出一觸媒活性衰退模式^[8]，分析再生實驗所得的反應速率常數 k' 。

$$\ln \ln \frac{C_{A0}}{C_A} = \ln(k' \tau') - k_d C_{A0} t$$

C_A ：反應物濃度（μmol/ml）

τ' ：重量時間（g·s/ml）

k' ：反應速率常數（ml/g·s）

k_d ：觸媒活性衰退係數（ml/μmol·s）

t ：時間（s）

5. 觸媒再生前後 FTIR 分析：

分析觸媒再生前後觸媒表面吸附的官能基，進一步推論再生的效果。

六、結果討論

1. 觸媒活性實驗：

圖 2 為觸媒活性實驗中，DMF 轉化率隨光解時間的變化關係，可發現在光解的前 95 min 皆有 100% 的 DMF 轉化率，光解 140 min 後，轉化率下降至約 50%，光解 195 min 後，轉化率已接近 0%，此結果顯示在 DMF 光催化分解的過程中，難分解性的中間產物不斷累積在二氧化鈦觸媒表面，直至完全佔據二氧化鈦的活性位置，結果使二氧化鈦觸媒完全喪失光催化處理有機物的能力。

2. 觸媒表面萃取後 IC 分析：

圖 3 為二氧化鈦觸媒以純水萃取後，IC 分析所得的 NH₄⁺及 NO₃⁻離子含量。與未經反應的二氧化鈦比較，證實有 NH₄⁺及 NO₃⁻離子吸附於觸媒表面，而隨著光解時間的增加，NH₄⁺及 NO₃⁻離子均有增加的現象，這類物質的存在會阻塞觸媒的活性位置，造成二氧化鈦處理有機物的效能會逐漸降低。由於 NH₄⁺離子並

非 N 原子的最後氧化態，在持續光解的過程中，可能在觸媒表面進行 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 的氧化過程，而 NO_3^- 離子的量明顯少於 NH_4^+ ，推論在 NH_4^+ 離子氧化的過程中，亦可能形成 NO 或 NO_2 ，從觸媒表面脫附離開。

3. 觸媒表面 FTIR 分析：

圖 4 為 DMF 光解 150 分鐘後，以 FTIR 分析觸媒表面吸附有機物的官能基所得的結果，並與純二氧化鈦比較。由於二氧化鈦本身會吸附水分子，故在純二氧化鈦上， 1638 cm^{-1} 處會有水分子 O-H 鍵的剪力振動，及 3440 cm^{-1} 處有 O-H 鍵的伸縮振動。至於光解 150 分鐘後的二氧化鈦 FTIR 分析，最明顯的即為 1722 cm^{-1} 處-CHO、-COOH 的 C=O 鍵伸縮振動，其次為 1470 cm^{-1} 處 CH_3 的不對稱彎曲振動， 1400 cm^{-1} 處-CHO 的 C-H 鍵彎曲振動， 2782 cm^{-1} 處-CHO 的 C-H 鍵伸縮振動，這些吸收波峰證實觸媒表面可能有酸類及醛類物質的吸附，配合 DMF 的分子組成鍵能分析，推測 DMF 經光催化分解後，極有可能產生較不易反應的甲酸及甲醛吸附於觸媒上，因而造成觸媒的活性衰退。

4. 觸媒再生實驗及反應速率常數分析：

圖 5 及圖 6 分別為七組觸媒再生實驗中，DMF 轉化率及礦化率對光解時間的變化關係，依轉化率及礦化率恢復的結果，可將再生程序從優到劣排名，依序為 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV} > \text{H}_2\text{O}_2 > \text{H}_2\text{O}/\text{UV} > \text{WA}/\text{UV} > \text{O}_2/\text{UV} > \text{DA}/\text{UV} > \text{DA}$ ， $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 組三次轉化率隨光解時間的變化皆相近。表 1 則列出依據活性衰退模式所計算出的反應速率常數 k' 值，再生效果較差的程序，例如 DA 組或 DA/UV 組， k' 值在三次處理中會下降地較快，顯示觸媒處理 DMF 的能力愈來愈差；而 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 組在三次處理中的 k' 值均可大於 $300 \text{ ml/g} \cdot \text{s}$ ，與其他再生程序相比，觸媒活性恢復的能力顯然較好。

5. 觸媒再生前後 FTIR 分析：

圖 7 為 WA/UV 組再生前後之觸媒 FTIR 分析，可發現 1722 cm^{-1} 處-CHO、-COOH 的 C=O 鍵伸縮振動強度似乎並未減少，而 1400 cm^{-1} 處-CHO 的 C-H 鍵彎曲振動， 2782 cm^{-1} 處-CHO 的 C-H 鍵伸縮振動均有強度更強的現象，顯示在有大量水氣的條件下，光催化產生的 $\cdot\text{OH}$ 將觸媒表面吸附物種進階氧化，形成醛類及酸類物質，但由於這些物種仍未從觸媒表面脫附，仍會阻塞觸媒活性位置。圖 8 則為 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 組再生前後的觸媒 FTIR 分析，與 WA/UV 組相比，吸附物種的官能基強度明顯減少很多， 1384 cm^{-1} 處有較強的波峰出現，以其它實驗證實應為 NO_2 的對稱伸縮振動，此物種在再生後的光催化初期反應中，很有可能形成 NO 及 NO_2 而快速脫附離開觸媒表面，故較不影響觸媒的活性。

七、結論

二甲基甲醯胺 (DMF) 為合成皮業大量使用的有機溶劑，對生物體疑似具有環境荷爾蒙的危害性，以二氧化鈦光催化法處理 DMF 時，發現有觸媒活性逐漸衰退的現象。對於處理過 DMF 的二氧化鈦，以 IC 分析發現有 NH_4^+ 及 NO_3^- 的吸附於觸媒表面，以 FTIR 分析則有醛類及酸類的官能基顯現，推測可能是甲酸及甲醛。嘗試以七種再生程序恢復二氧化鈦的活性，結果是以 1.06 M 過氧化氫噴灑於觸媒表面，再通以乾空氣流洗及紫外光照光 15 分鐘再生的方式最好。此再生方法可使二氧化鈦觸媒做最長久的使用，提升對環境荷爾蒙等有機污染物的處理能力。

八、參考文獻

1. Käfferlein H.U., Göen T., Müller J., Wrbitzky R., and Angerer “Biological Monitoring of Workers Exposed to N,N-Dimethylformamide in The Synthetic Fiber Industry”, *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 73, pp. 113 -120, 2000.
2. Ren Lifen, Meldahl Aaron, and Lech John J., “Dimethyl Formamide (DMFA) and Ethylene Glycol (EG) are Estrogenic in Rainbow Trout”, *Chemico-Biological Interactions*, Vol. 102, pp. 63-67, 1996.
3. 沈克鵬、賴慶智、吳信賢、黃俊傑、王耀銘、陳雄文，「PU 合成皮業含二甲基甲醯胺廢氣最佳可行控制技術」，*工業污染防治*，第 71 期，pp. 1-18，1999。
4. Alberici Rosana M., Canela Maria C., Eberlin Marcos N., and Fardim Wilson F., “Catalyst Deactivation in the Gas Phase Destruction of Nitrogen-containing Organic Compounds Using TiO₂/UV-VIS”, *Applied Catalysis B : Environmental*, Vol. 30, pp. 389-397, 2001.
5. Huang Aimin, Cao Lixin, Chen Jie, Spiess Franz Josef, Suib Steven L., Obee Timothy N., Hay Steve O., and Freihaut James D., “Photocatalytic Degradation of Triethylamine on Titanium Oxide Thin Films” *Journal of Catalysis*, Vol. 188, pp. 40-47, 1999.
6. Alberici Rosana M. and Jardim Wilson F., “Photocatalytic Destruction of VOCs in the Gas-Phase Using Titanium Dioxide”, *Applied Catalysis B : Environmental*, Vol. 14, pp. 55-68, 1997.
7. Piera Eva, Ayllón José A., Doménech Xavier, and Peral José, “TiO₂ Deactivation during Gas-Phase Photocatalytic Oxidation of Ethanol”, *Catalysis Today*, Vol. 76, pp. 259-270, 2002.
8. Levenspiel Octave, “Chemical Reaction Engineering”, John Wiley & Sons, 1999.
9. Smith Brian, “Infrared Spectral Interpretation”, CRC Press LCC, 1999.

九、計畫成果自評

以二氧化鈦光催化法處理氣相有機物的研究已發展近十年，但至今技術仍未實場化，其中一大瓶頸即在觸媒活性的衰退。未來倘若異相光催化技術能實場化，所處理的氣相有機物將更複雜，系統進流的雜質、不易分解的副產物或未能完全氧化的中間產物，或多或少都會吸附於觸媒上，逐漸累積而造成觸媒活性的衰退，嚴重者將使觸媒完全失去處理有機污染物的能力，可預期的是二氧化鈦觸媒本身將來必定會面臨使用時間上的限制。

當二氧化鈦觸媒失去預期的活性後，解決觸媒使用時間限制的方法有兩種，一為更換全新批覆的二氧化鈦反應管，但二氧化鈦若要表現出良好的光催化活性，觸媒批覆程序是關鍵的技術，反應器從清洗、裝設、批覆到烘乾等步驟，需長時間的處理程序，且會衍生觸媒廢棄的問題；目前有些學者的研究將批覆的二氧化鈦反應器再經過高溫鍛燒處理，使觸媒能更強力的附著於反應器上，此方法更不利於觸媒的重新批覆，甚至可能連反應器都必須更新，廢棄的反應器尚須耗用其他資源處理。

另一種解決的方法即進行二氧化鈦觸媒的再生。例如本計畫研究所採用的再

生方式是以低濃度的強氧化劑過氧化氫噴灑於觸媒表面，再以紫外光激發觸媒，分解表面所接觸的過氧化氫水溶液，產生大量的 $\cdot\text{OH}$ 以氧化分解吸附於觸媒上的有機物，再透過乾空氣流洗的機制，將氧化形成的 CO_2 、 H_2O 、 NO_2 或其它有機物從觸媒表面帶離開。此再生法僅採用少量且低濃度的過氧化氫噴灑於觸媒表面，相較於其它研究以大量溶液清洗觸媒表面的再生方式，更可有效減少氧化劑的消耗及後續廢水處理問題；且此再生方法的處理時間相當短，耗用的時間絕對優於觸媒重新批覆的時間，同時也沒有廢棄觸媒或反應管的後續處理問題。控制適當的操作條件，可使觸媒做最長時間的有機物光催化處理及最短時間的活性恢復，使其更符合處理時間上的效益。而在反應系統上，只需設計適當的加藥口，即可將過氧化氫噴灑於反應器內，不需對系統本身做大幅度的改變。

故本計畫所研究出的再生方法可使二氧化鈦觸媒做最長久的使用，且整體耗用資源少，符合經濟效益，不僅可處理疑似環境荷爾蒙的物質，更可應用於一般有機物處理上，大幅提升二氧化鈦光催化技術的處理能力，對於未來光催化技術實場化後，能提供業界作為操作執行上的參考。

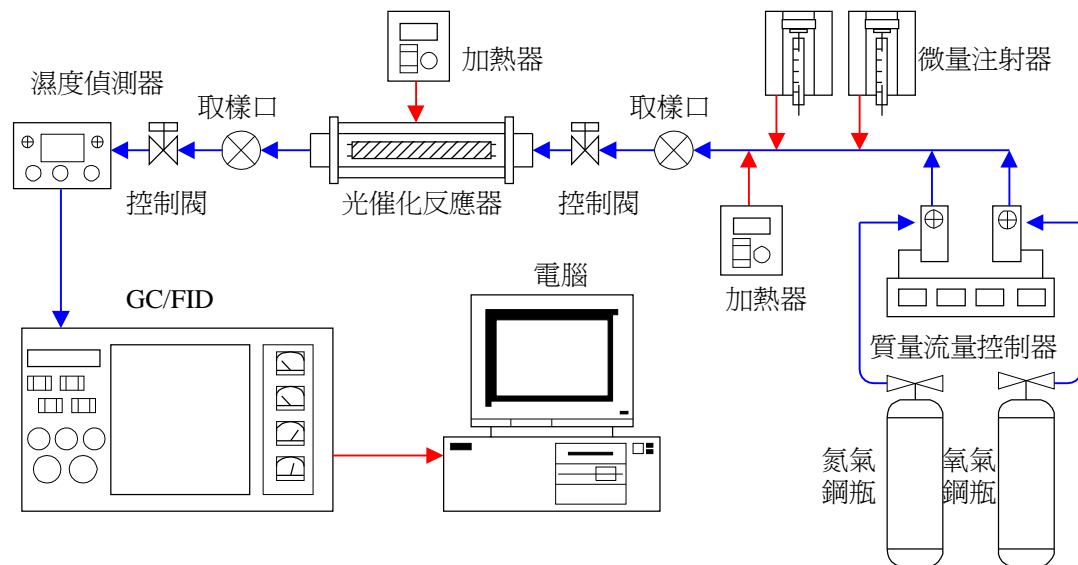


圖1. 異相光催化反應系統

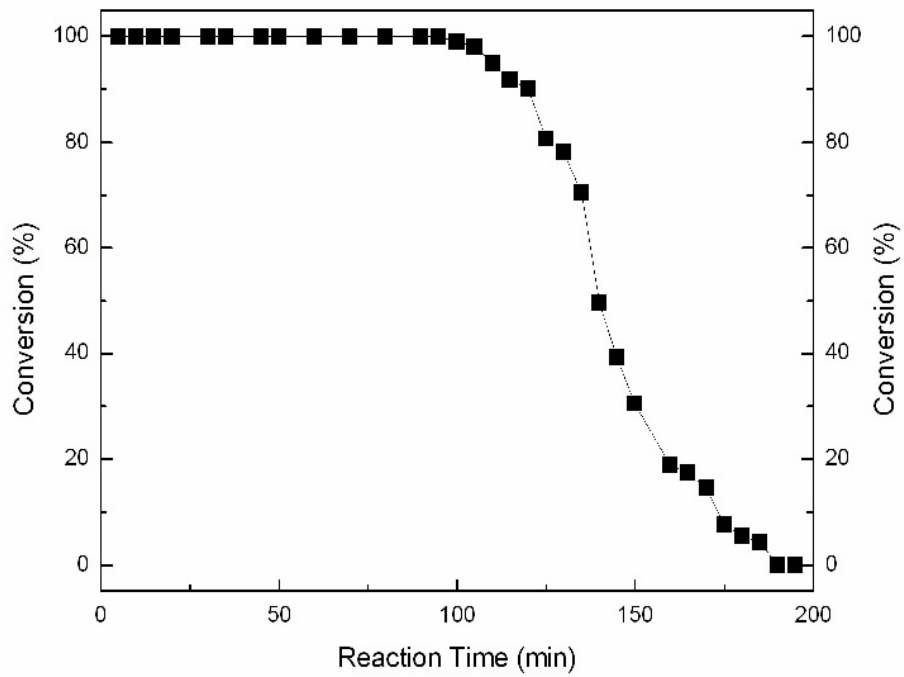


圖2. 觸媒活性實驗之 DMF 轉化率對光解時間的變化

操作條件：流量：200 ml/min，DMF 初始濃度：1.51 μM ，濕度：3.25 μM ，氧含量：20%，反應溫度：100 $^{\circ}\text{C}$ ，觸媒面積：113 cm^2

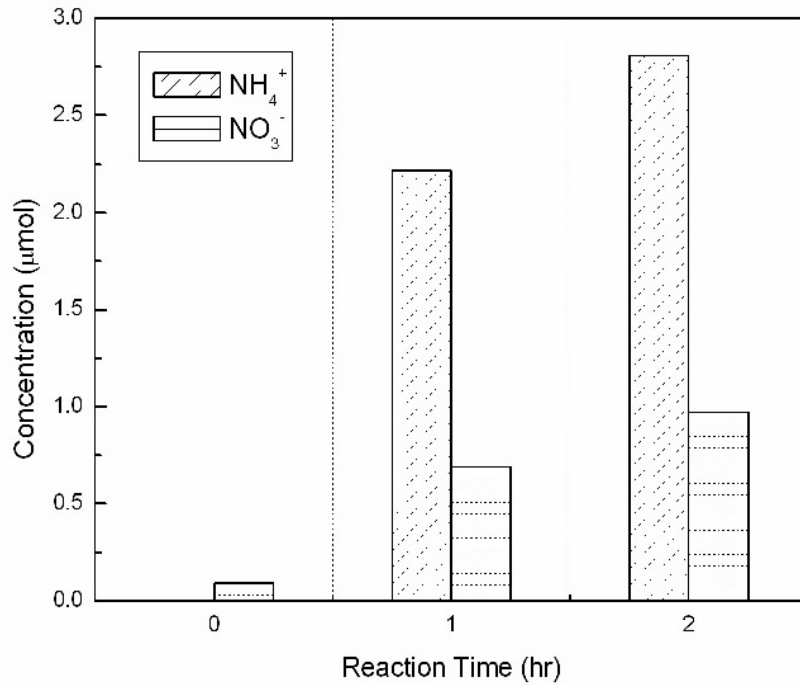


圖3. 吸附於觸媒的 NH₄⁺ 離子及 NO₃⁻ 離子隨光解時間之變化
 操作條件：流量：200 ml/min，DMF 初始濃度：26.0 μM，濕度：3.25 μM，氧含量：20%，反應溫度：100°C，觸媒面積：170 cm²

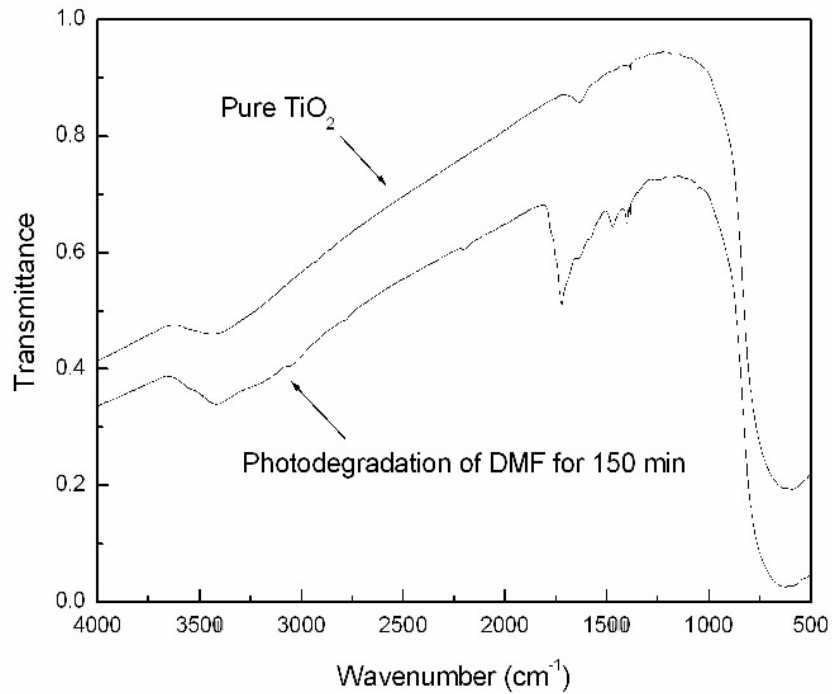


圖4. DMF 光解 150 分鐘後，觸媒表面之 FTIR 分析

操作條件：流量：200 ml/min，DMF 初始濃度：25.6 μM ，濕度：3.25 μM ，氧含量：20%，反應溫度：100 $^{\circ}\text{C}$ ，觸媒面積：170 cm^2

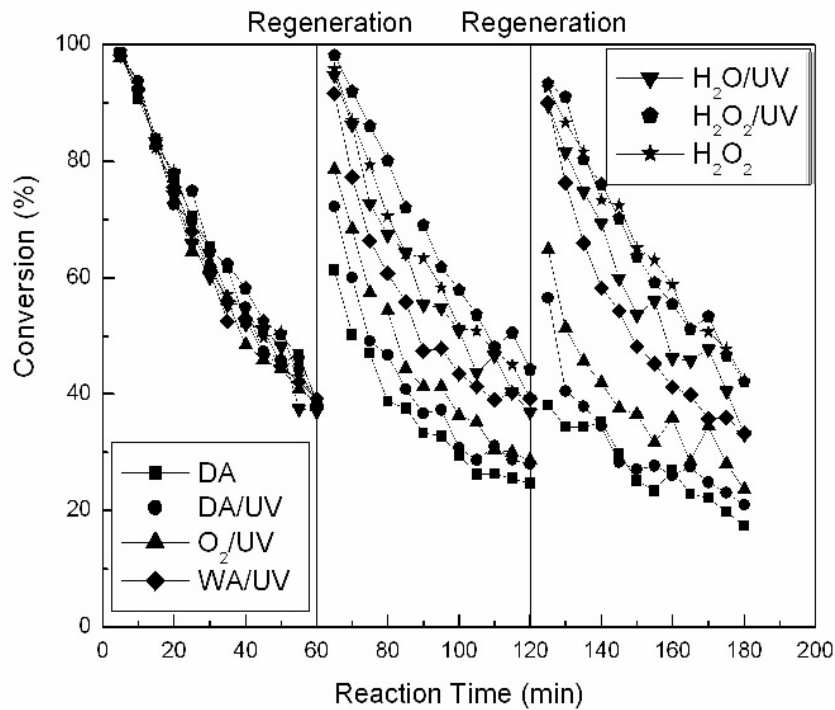


圖5. 七組再生實驗的 DMF 轉化率隨三次光催化操作時間之變化
 操作條件：流量：200 ml/min，DMF 初始濃度：25.1 μM ，濕度：3.25 μM ，氧含量：20%，反應溫度：100 $^{\circ}\text{C}$ ，觸媒面積：170 cm^2

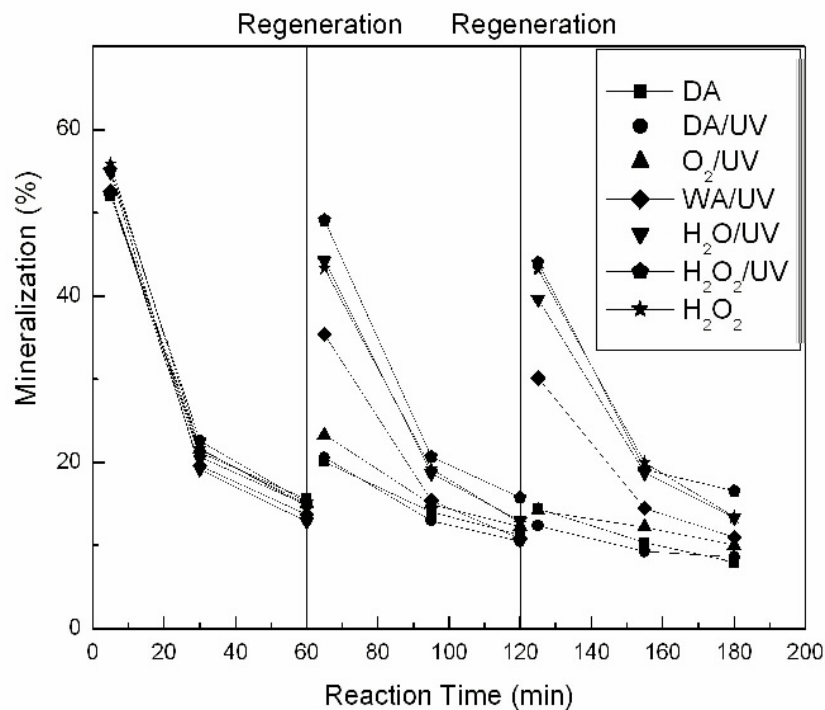


圖6. 七組再生實驗的 DMF 礦化率隨三次光催化操作時間之變化

操作條件：流量：200 ml/min，DMF 初始濃度：25.1 μM ，濕度：3.25 μM ，氧含量：20%，反應溫度：100 $^{\circ}\text{C}$ ，觸媒面積：170 cm^2

表1. 七組再生實驗的反應速率常數 k' 分析

編號及觸媒 再生方式	反應速率常數 k' (ml/g · s)		
	第一次	第二次	第三次
1 DA	350	97	66
2 DA/UV	353	116	69
3 O ₂ /UV	337	153	97
4 WA/UV	340	183	189
5 H ₂ O/UV	342	255	245
6 H ₂ O ₂ /UV	363	361	315
7 H ₂ O ₂	361	279	299

操作條件：流量：200 ml/min，DMF 初始濃度：25.1 μ M，濕度：3.25 μ M，氧含量：20%，反應溫度：100 $^{\circ}$ C，觸媒面積：170 cm^2

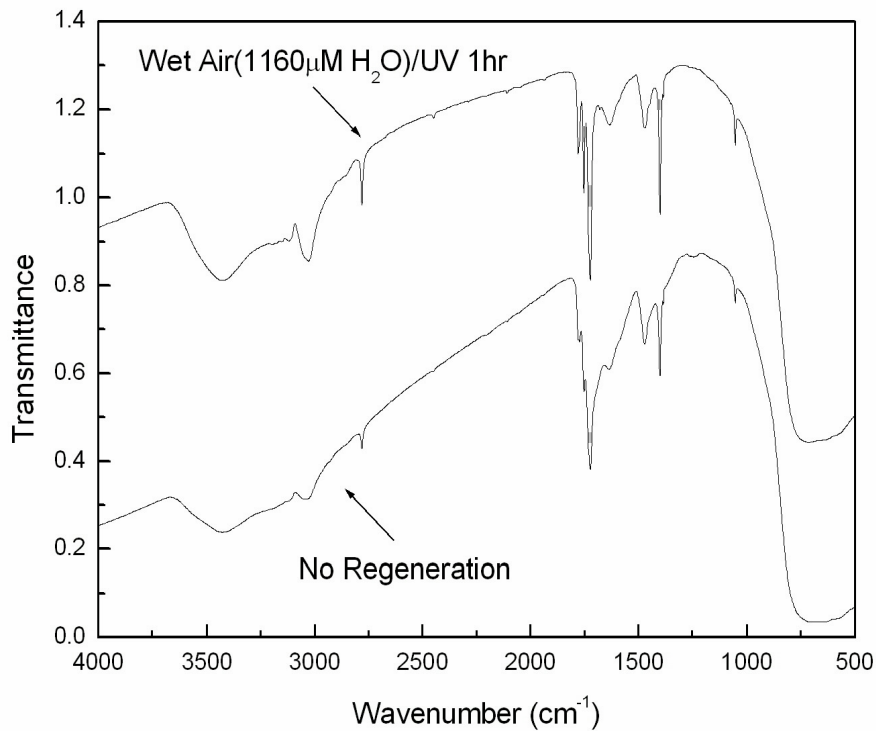


圖7. 以濕空氣及紫外光再生前後之觸媒 FTIR 分析

操作條件：流量：200 ml/min，DMF 濃度：25.3 μM ，濕度：3.25 μM ，氧含量：
20%，溫度：100 $^{\circ}\text{C}$ ，觸媒面積：170 cm^2 ，光催化處理時間：180 min

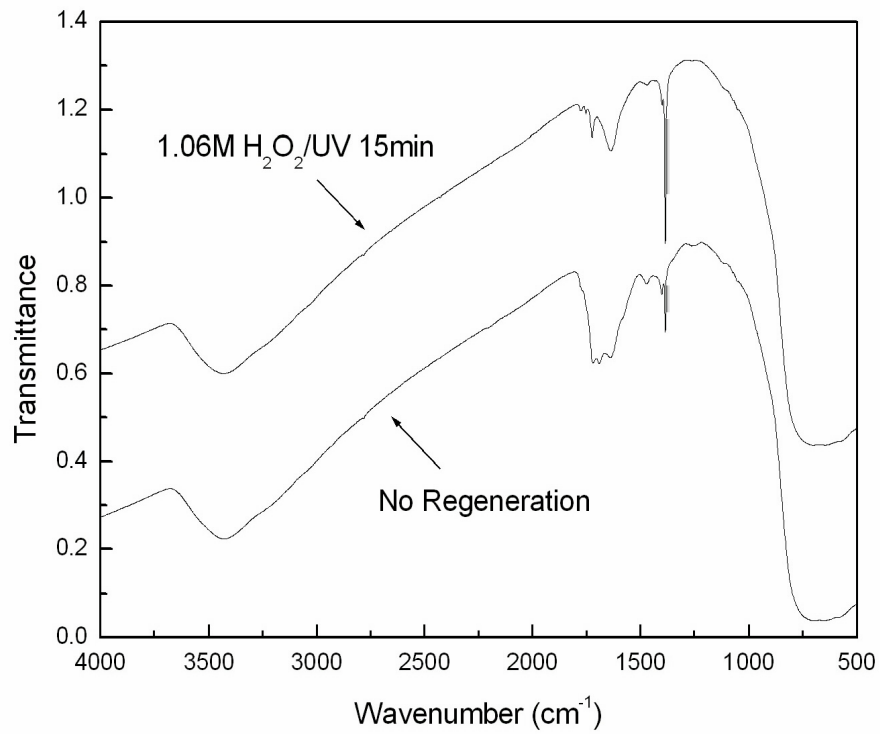


圖8. 以過氧化氫及紫外光再生前後之觸媒 FTIR 分析

操作條件：流量：200 ml/min，DMF 濃度：25.2 μM，濕度：3.25 μM，氧含量：20%，溫度：100°C，觸媒面積：170 cm²，光催化處理時間：180 min

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利 可技術移轉

日期：92年5月21日

國科會補助計畫	計畫名稱：環境荷爾蒙處理技術之研究與應用—光催化法 計畫主持人：陳重男 計畫編號：NSC91-2211-E009-031 學門領域：環工
技術/創作名稱	二氧化鈦光觸媒活性再生
發明人/創作人	張秋萍
技術說明	中文： 以低濃度的過氧化氫氧化劑噴灑於二氧化鈦光觸媒表面，藉由光能催化產生高氧化力的氫氧自由基($\cdot\text{OH}$)，以氧化觸媒表面吸附的有機物，恢復二氧化鈦光觸媒的活性。
	英文： The regenerative solution containing low concentration of hydrogen peroxide was sprayed to the surface of titanium dioxide. During the process of photocatalysis, the formation of hydroxyl radical would oxidize the organic compounds absorbed on the catalysts to recover the photocatalytic activity of titanium dioxide.
可利用之產業及可開發之產品	空氣污染控制防治設備 二氧化鈦光觸媒清洗再生溶劑
技術特點	1. 氧化劑用量低，避免大量溶劑廢棄及處理的問題。 2. 再生時間短，耗用的時間絕對優於觸媒重新批覆的時間，同時也沒有廢棄觸媒或反應器的後續處理問題。 3. 在污染防治設備的反應系統上，只需設計適當的加藥口，即可將再生劑噴灑於反應器內，不需對系統本身做大幅度的改變。
推廣及運用的價值	在空氣污染防治設備中，控制適當的操作條件，可使二氧化鈦光觸媒做最長時間的有機物光催化處理及最短時間的活性恢復，使其更符合處理時間上的效益，並節省重新批覆觸媒或更換反應器的成本。

※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。