

## 碳觸媒氧化法應用於降解含雙酚 A 廢水之研究

陳世雄<sup>1</sup> 劉瑞美<sup>1</sup> 黃政賢<sup>1</sup> 楊士朋<sup>1</sup> 洪睦雅<sup>1</sup> 施琦玉<sup>2</sup> 賴振立<sup>1</sup> 陳弘傑<sup>1</sup>

<sup>1</sup>嘉南藥理科技大學環境工程與科學系  
<sup>2</sup>正修科技大學化學工程學系

### 摘 要

本研究利用濕式含浸法將硫酸亞鐵含浸於椰殼纖維中，將其燒結成鐵型氧化觸媒，並將鐵型碳觸媒應用於濕式催化氧化系統氧化降解廢水之雙酚 A。本研究中以比表面積分析儀(BET)分析碳觸媒之孔隙特性；以環境掃描式電子顯微鏡 (E-SEM)觀察碳觸媒表面特性及金屬氧化物之分布狀況；以能量分散光譜儀(EDS)分析碳觸媒表面元素組成，並以高效能液相層析儀及化學需氧量定量氧化降解過後雙酚 A 之轉化率及化學需氧量(COD)去除率。本研究結果顯示，以鐵型金屬碳觸媒應用於氧化系統中展現顯著催化活性，利用於處理雙酚 A 廢水皆具有良好之轉化率及 COD 去除率效果。本研究之催化氧化反應顯著受反應溫度之影響，較低反應溫度時，碳觸媒之雙酚 A 轉化率及 COD 去除率普遍較低。本研究所製碳觸媒與過氧化氫應用於催化氧化雙酚 A 可獲 100%轉化率及 80%以上 COD 去除率，由自由基螢光反應驗證碳觸媒氧化反應機制是以氫氧自由基進行氧化降解雙酚 A。

**關鍵詞：**化學需氧量(COD)、碳觸媒、氧化、雙酚 A

\*通訊作者: 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系  
Tel: +886-6-2660028  
Fax: +886-6-2669090  
E-mail: mshchen@mail.chna.edu.tw

### 壹、前言

雙酚 A (Bisphenol A, 縮寫為 BPA)，為一種有機化學物品，是已知的內分泌干擾素(環境荷爾蒙)，具有兩個酚官能基，常被用在合成聚碳酸酯塑料<sup>(1)(2)</sup>和環氧樹脂<sup>(3)</sup>等。在室溫下，雙酚 A 白色固體，存在形態有很多種，例如粉狀、粒狀、片狀、結晶狀。

雙酚 A 也常被用於合成聚砜和聚醚，在塑化劑中作為抗氧化劑，在 PVC 的生產中作為阻聚劑<sup>(4)</sup>。由於雙酚 A 是一種人造化學物質，可干擾改變動物內分泌系統的功能，在動物研究裡已證實會影響生殖和大腦發育。雙酚 A 進入人體的主要途徑是通過飲食、空氣、灰塵和水等，可從罐頭食品

的保護內部也就是環氧樹脂侵入到食品中，也可從聚碳酸酯餐具，或是裝有飲料的水瓶及奶瓶裡進入人體，導致癌症腫瘤及發育障礙，包括學習障礙、注意力缺乏症以及性器官畸形，尤其是新生兒最容易受到影響，增加嬰兒患有前列腺癌和乳腺癌的風險，以及導致早發性的青春期；若在懷孕的早期階段有接觸到雙酚 A，則胚胎和卵的染色體變異的可能性也會增加。

2010 年，美國食品與藥品監督局依據在多胎兒、嬰兒和幼兒中收集到的數據資料提出進一步的擔憂；加拿大成為首個將雙酚 A 列為有毒物質的國家<sup>(5)</sup>；在歐盟和加拿大，雙酚 A 被禁止用於生

產嬰兒奶瓶<sup>(6-7)</sup>。雖然說人類每日可能吃到的雙酚 A 極為微量，但是對於雙酚 A 在人體之累積性及危險性，以及對於人體健康持續之影響不容忽視。

因此本研究以內含鐵氧化物之的活性碳金屬觸媒，於濕式氧化系統催化氧化處理含雙酚 A 廢水，並探討各種活性碳金屬觸媒之孔隙、各種金屬濃度之活性碳觸媒、各種過氧化氫濃度、各種活性碳金屬觸媒添加量、及雙酚 A 濃度對於氧化降解雙酚 A 之影響。

## 貳、材料與方法

本研究選用農業廢棄物—椰殼 (coconut shell) 作為製備活性碳的原料，並以濕式含浸法將硫酸亞鐵含浸於椰殼上，烘乾後，將含浸過後的椰殼以可程式管狀高溫爐以熱裂解的方式製成活性碳金屬觸媒，再分析其金屬活性碳之孔洞結構特性。活性碳的最佳製備原料通常需具備有高含碳量及較低的無機物質，且具有多孔性物質，本研究活性碳所使用的原料是高雄農民合作社所提供的椰殼。

### 活性碳原料之前處理

- (1) 先將曬乾之椰殼以破碎機破碎，並去除非椰殼之物質，以及過於細小之椰殼纖維。
- (2) 將椰殼用清水清洗數次，以除去椰殼上的雜質、泥土等物質。
- (3) 再以去離子水沖洗數次。
- (4) 將洗淨之椰殼放入 85±2°C 烘箱中烘乾，直至椰殼完全乾燥後取出妥善保存。

### 活性碳觸媒之金屬活化物含浸

本研究主要採用化學活化的方式製備活性碳，採用高溫震盪的濕式含浸法浸泡硫酸亞鐵及硫酸銅等活化金屬，使金屬溶液能快速且均勻的分布於椰殼纖維結構上。

### 活性碳觸媒之熱裂解程序

將含浸過後之椰殼適量裝入熱裂解鋼製容器內，再把熱裂解鋼製管放入可程式管狀高溫爐中，通入200mL/min之氮氣 (N<sub>2</sub>) 約5分鐘，此動作為使反應管內成缺氧的狀態。啟動可程式高溫爐，持續通入200mL/min之氮氣 (N<sub>2</sub>)，並以室溫下以一定之升溫速率，將熱裂解鋼製管加熱至

400°C 並維持30分鐘，將氣體切換成二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)，並持續升溫速率加熱至850°C 後維持60分鐘。結束後，待鋼製管溫度降至室溫後取出內容物，即為活性碳金屬觸媒成品，再將活性碳金屬觸媒浸泡在去離子水中，經超音波震盪60分鐘，以清除殘留在活性碳金屬觸媒上之焦油，而後，將活性碳金屬觸媒放入85±2°C 之烘箱，烘乾後保存備用。

## 濕式氧化系統

本研究是將 500mL 定量濃度之雙酚 A 溶液預先加熱至特定溫度，加入活性碳金屬觸媒，再添加過氧化氫並充分進行攪拌，使過氧化氫與活性碳金屬觸媒反應產生大量的氫氧自由基以降解有機物。以每隔 20 分鐘採樣一次，採樣時間分別為 0、20、40、60、80、100、120 分鐘，過氧化氫添加的時間為 0、40、80 分鐘時分三等分的量添加。

### 活性碳觸媒金屬濃度之變化

本研究將金屬碳觸媒 (含浸硫酸亞鐵濃度 0.01M、0.05M、0.1M、0.15M、0.2M) 各取 1 克加入氧化處理系統中，探討不同含浸金屬及不同金屬濃度的變化對氧化效果的影響。

### 活性碳金屬觸媒添加量之變化

本研究將金屬碳觸媒 0.1 克、0.5 克、1 克、1.5 克加入氧化系統中，探討金屬碳觸媒添加量的多寡，對其氧化降解雙酚 A 的影響效果。

### 汙染物雙酚 A 之濃度變化

本研究雙酚 A 濃度分別為 50mg/L、100 mg/L、150 mg/L、200 mg/L，探討汙染物雙酚 A 濃度的變化對其氧化效果的影響。

## 環境掃描式電子顯微鏡/X 射線能量分散分析儀 (E-SEM/EDS)

本研究所使用之 E-SEM 廠牌及型號為 JEOL-JXA -840，EDS 廠牌及型號為 LINKS-AN10000/85S。樣品的處理先是真空抽氣 15 分鐘以上，讓活性碳內部雜質去除，再於表面鍍金約 15 分鐘，使表面具備導電性，再由電子顯

微鏡觀察活性碳表面形狀，及 EDS 分析表面鐵、銅元素含量。

### 高效能液相層析儀 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

高壓液相層析儀 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) 本研究所使用污染物定量儀器為之高位液相層析儀 (JASCO) 使用 ODS C-18 管柱，偵測器為 JASCO UV-975，分析波長為 254nm，流動相為甲醇：水 = 65：35 體積流率為 1.0 mL/min。

### 感應耦合電漿原子發射光譜儀 (Inductively Coupled Plasma, ICP)

感應耦合電漿原子發射光譜儀功能主要為測試已知或未知樣品的定量分析，也就是可透過此項儀器設備測得樣品中元素的濃度，偵測樣品最小濃度可達 ppm，並提供確切的分析數據。

### 化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand, COD)

化學需氧量是水中有機物污染最常用的指標之一，其檢測方法除了開放式重鉻酸鉀迴流法外，也可使用本密閉迴流滴定法。測定的程序是在消化管中依序加入水樣、過量之重鉻酸鉀、硫酸銀後，於密閉消化管中在 150 °C 下加熱迴流；待反應完成後，以硫酸亞鐵銨滴定溶液中殘餘之重鉻酸鉀，由所消耗之硫酸亞鐵銨體積，即可換算求得水樣中之化學需氧量 (COD mgL<sup>-1</sup>)。

### 螢光分析儀 (Fluorescence Spectrophotometer)

有機物或無機物因激發分子相互碰撞之不同而產生螢光 (Fluorescence, FS) 或磷光 (Phosphorescence, PS) 利用有機物及無機物之此特性，施予一激發光，使其產生螢光或磷光，以便測其含量之光譜儀，稱之為螢光 (磷光) 光譜儀。螢光光譜儀是用於研究物質光激發、發射，電子弛豫以及能量電子轉移的重要工具。可進行低溫，偏振螢光的測試。

## 參、結果與討論

### 鐵型碳觸媒表面之型態特徵

本研究利用環境掃描式電子顯微鏡 (E-SEM) 來觀察活性碳金屬觸媒的表面結構及活化金屬分布組成。圖 1-1~5 為以硫酸亞鐵活化劑所製備出的金屬碳觸媒，經電子顯微鏡拍攝後的表面型態，拍攝倍率分別為 500 倍、1000 倍、5000 倍、10000 倍，由各圖中可看出碳觸媒表面結構呈破碎狀，可觀察金屬氧化物分佈狀況。由電子顯微鏡觀察得知鐵型碳觸媒隨含浸濃度提高則表面覆蓋物增加，可能影響其孔隙特性與表面積之大小。

### 鐵型碳觸媒之特性分析

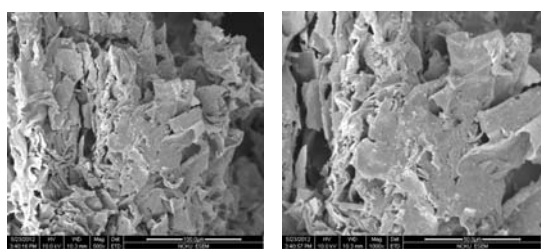
由於活性碳的製備主要是經由碳化程序及活化程序所組成的，碳化程序是在活性碳原料於熱裂解成活性碳階段時，以二氧化碳為活化劑，主要作用為排除活性碳原料中之非碳化之揮發性物質，使其以焦油或氣態的形式排出，因焦油會使活性碳表面結構阻塞，減少活性碳之比表面積，使其吸附能力隨之降低。活化程序則以硫酸亞鐵溶液融入於濕式含浸法，並以高溫進行熱裂解程序來減少焦油的產生，因活性金屬有助於焦炭結構的形成以及促進微孔體積，進而使活性碳金屬觸媒之比表面積得以提高。

椰殼在高溫熱裂解活化程序中，活性金屬會將氧與氫氣轉化成水並移除，使碳結構中之微孔合併形成中孔、巨孔，造成比表面積的減少。表 1 為鐵型金屬碳觸媒之比表面積與孔隙特性，鐵含量濃度 0.01M 具有較高之比表面積達 609 m<sup>2</sup>/g，0.2M 則為最低的 446.3 m<sup>2</sup>/g，因此由表可得知以硫酸亞鐵作為活化劑時，鐵型金屬含浸濃度越大其比表面積越小，可能原因為鐵鹽在活化過程扮演過度催化活化之角色，鐵鹽過度催化而增加了中孔、巨孔的形成，因此降低碳觸媒之比表面積。

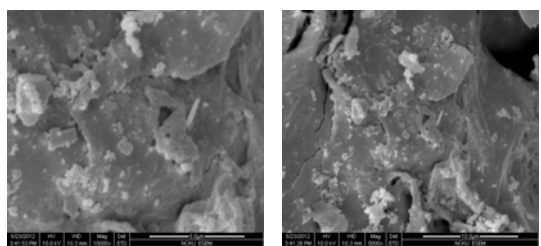
表 1 鐵型碳觸媒之比表面積與孔隙特性

FeSO <sub>4</sub>	0.01M	0.05M	0.1M	0.15M	0.2M
S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g) <sup>a</sup>	609	595	525	546	446
V <sub>micro</sub> (cm <sup>3</sup> /g) <sup>b</sup>	0.19	0.16	0.14	0.15	0.12
V <sub>t</sub> (cm <sup>3</sup> /g) <sup>c</sup>	0.33	0.46	0.48	0.36	0.39
D(Å) <sup>d</sup>	10.1	17.6	43.1	10.2	37.7

<sup>a</sup>Specific surface area . <sup>b</sup> Micropore volume . <sup>c</sup> Total pore volume . <sup>d</sup> Average pore diameter.

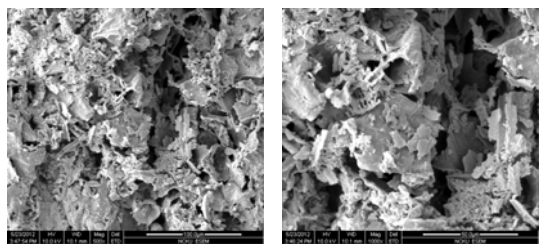


(A) (B)

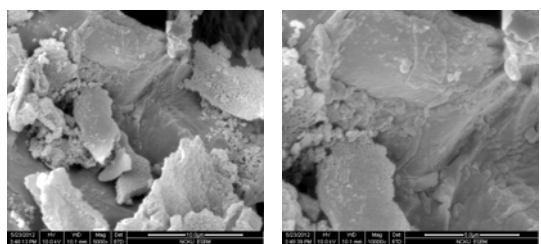


(C) (D)

圖 1-1 活性碳觸媒之電子顯微鏡觀察圖(含浸濃度 FeSO<sub>4</sub> 0.01M) : (A) 500 倍 (B) 1000 倍 (C) 5000 倍 (D) 10000 倍

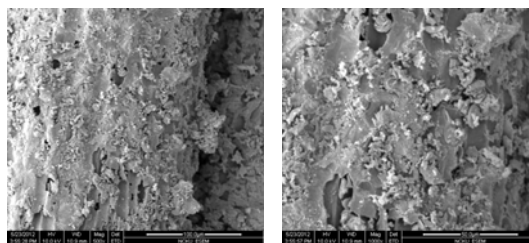


(A) (B)

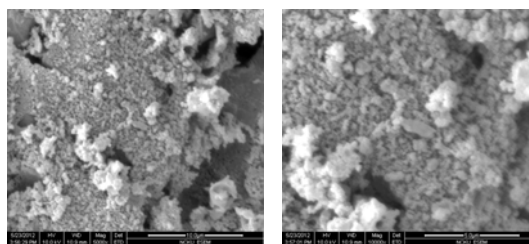


(C) (D)

圖 1-2 活性碳觸媒之電子顯微鏡觀察圖(含浸濃度 FeSO<sub>4</sub> 0.05M) : (A) 500 倍 (B) 1000 倍 (C) 5000 倍 (D) 10000 倍

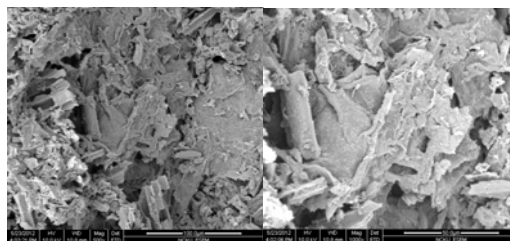


(A) (B)

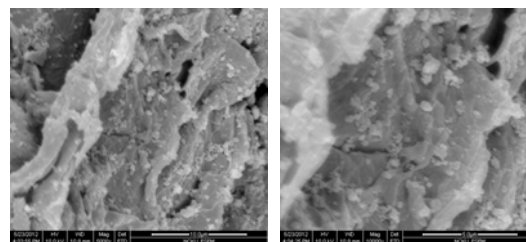


(C) (D)

圖 1-3 活性碳觸媒之電子顯微鏡觀察圖(含浸濃度 FeSO<sub>4</sub> 0.10M) : (A) 500 倍 (B) 1000 倍 (C) 5000 倍 (D) 10000 倍

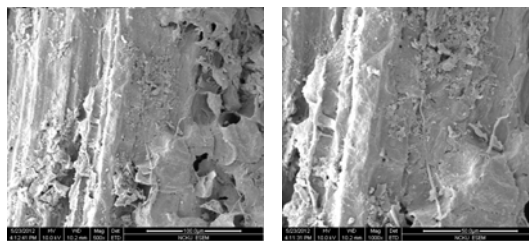


(A) (B)



(C) (D)

圖 1-4 活性碳觸媒之電子顯微鏡觀察圖(含浸濃度 FeSO<sub>4</sub> 0.15M) : (A) 500 倍 (B) 1000 倍 (C) 5000 倍 (D) 10000 倍



(A) (B)

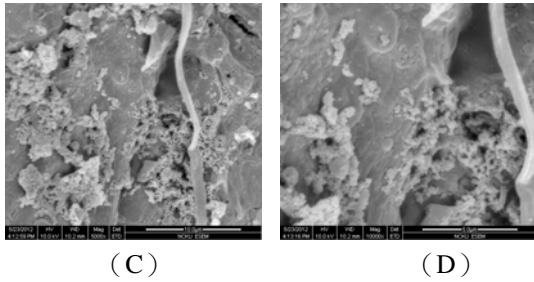


圖 1-5 活性碳觸媒之電子顯微鏡觀察圖(含浸濃度  $\text{FeSO}_4$  0.20M)：(A) 500 倍 (B) 1000 倍 (C) 5000 倍 (D) 10000 倍

不同濃度之鐵型碳觸媒對氫氧自由基產生效率之影響

本研究配製濃度 100mg/L 之雙酚 A 溶液 500mL，並加入對苯二甲酸濃度  $10^{-3}$  M 及 NaOH 濃度  $2 \times 10^{-3}$  M，置入三口瓶中預先加熱至  $80^\circ\text{C}$ ，再分別加入空白活性碳及活性碳金屬(含浸硫酸亞鐵 0.01M、0.05M、0.1M、0.15M、0.2M) 所製備之觸媒 1 克，並充分攪拌，過氧化氫濃度為 0.01M，於採樣時間 0、40、80 分鐘時分三等分添加，每 20 分鐘採樣一次，反應時間至 120 分鐘為止，探討氫氧自由基的生成量與螢光值是否成正比，圖 2-1~2-6 為含浸  $\text{FeSO}_4$  不同濃度碳觸媒於雙酚 A 氧化反應中自由基所產生螢光值之變化。

螢光技術法測定其原理是利用特定的有機物與氫氧自由基相互反應後，產生具有螢光特性的中間產物，根據其反應前後螢光強度的變化，間接的來測定氫氧自由基的生成量。此方法的優點為選擇性高，其靈敏度介於電子自旋捕捉法與比色法之間，且在特定的波長下不容易受到其他離子的干擾。但缺點是氫氧化合產物本身需具有特殊的螢光，或是捕捉劑本身需具有特殊螢光才可進行測量(8)。

學者用二氧化鈦來進行氫氧自由基的測定，其結果顯示氫氧自由基的生成量與螢光強度成正比(9)。由本實驗結果得知，隨著碳觸媒中鐵含量的增加，氫氧自由基生成量也跟著提高，間接的表示氫氧自由基產生量的增加，所以螢光值也隨之提高。

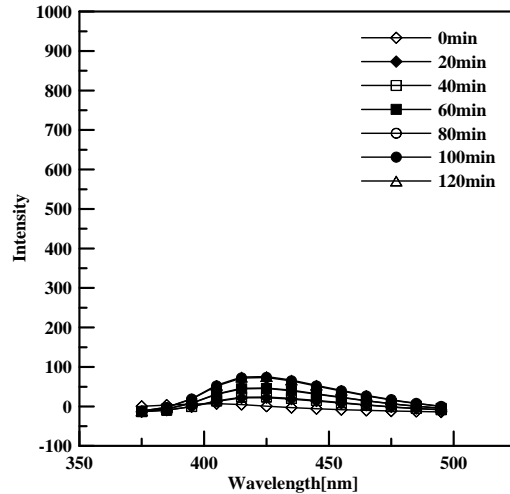


圖 2-1 空白活性碳氧化雙酚 A 溶液中螢光值之變化

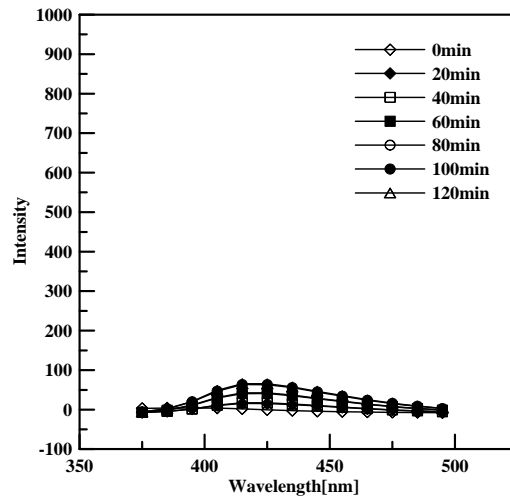


圖 2-2 含浸  $\text{FeSO}_4$  濃度 0.01M 碳觸媒氧化雙酚 A 溶液中螢光值之變化

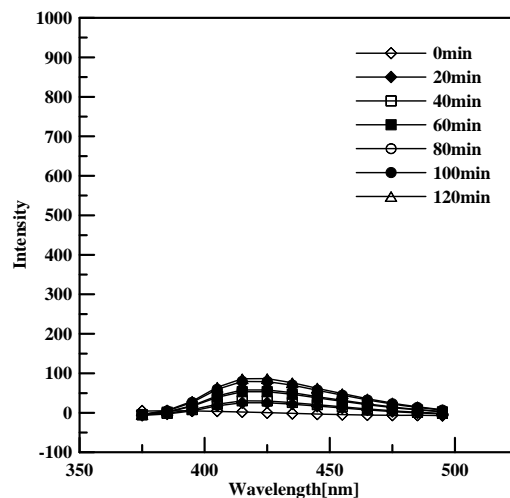


圖 2-3 含浸  $\text{FeSO}_4$  濃度 0.05M 碳觸媒氧化雙酚 A 溶液中螢光值之變化

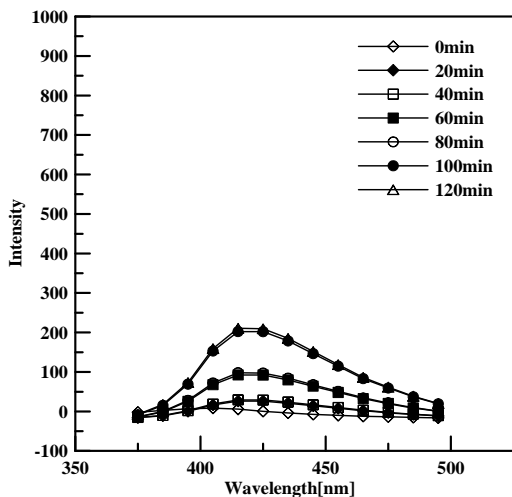


圖 2-4 含浸 FeSO<sub>4</sub> 濃度 0.1M 碳觸媒氧化雙酚 A 溶液中螢光值之變化

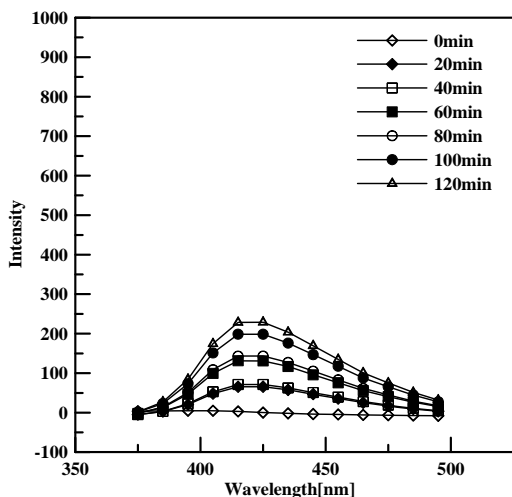


圖 2-5 含浸 FeSO<sub>4</sub> 濃度 0.15M 碳觸媒氧化雙酚 A 溶液中螢光值之變化

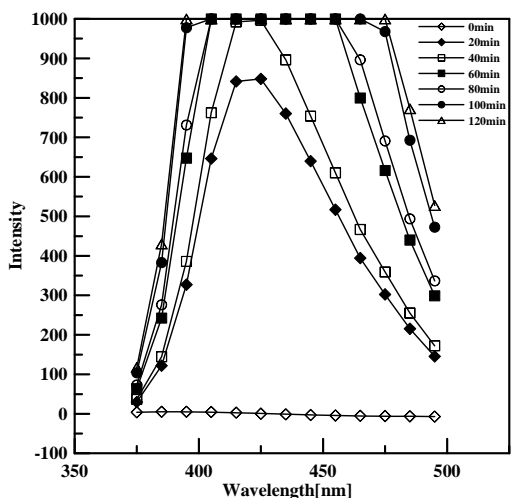


圖 2-6 含浸 FeSO<sub>4</sub> 濃度 0.2M 碳觸媒氧化雙酚 A 溶液中螢光值之變化

### 不同含浸液濃度所製備鐵型碳觸媒對於雙酚 A 氧化效果之影響

本研究將鐵型碳觸媒（含浸硫酸亞鐵濃度 0.01M、0.05M、0.1M、0.15M、0.2M）取 1 克加入氧化處理系統中，探討不同濃度之鐵型活性碳金屬觸媒對其氧化效果的影響。圖 3-1, 3-2 為不同含浸液濃度所製備之鐵型活性碳金屬觸媒對於雙酚 A 轉化率及 COD 去除率之影響，最終轉化率各濃度皆為 100%，最終 COD 去除率 0.01M 時為 64.3%、0.05M 時為 88.6%、0.1M 時為 100%、0.15M 時為 83%、0.2M 時為 98.3%。

傳統 Fenton 或類 Fenton 高級氧化系統溶液中，亞鐵或催化金屬濃度強烈影響其過氧化氫進行氧化反應之速度。在非均相觸媒中，高含量之活化金屬代表具有較高活化位置（active sites），Fenton 反應程序中加入高濃度的亞鐵，由於競爭自由基的關係，反而降低其氧化效果，因此並非具有高劑量之催化劑就會有大量的氫氧自由基產生<sup>(10)</sup>。由本實驗結果得知，碳觸媒鐵含量與降解速率有直接關係，當鐵含量增加時其氧化速率亦隨之增加，因為當鐵型碳觸媒含量增加時，其氧化反應之活性位置亦隨之增加，故有助於加速催化氧化反應之速率。

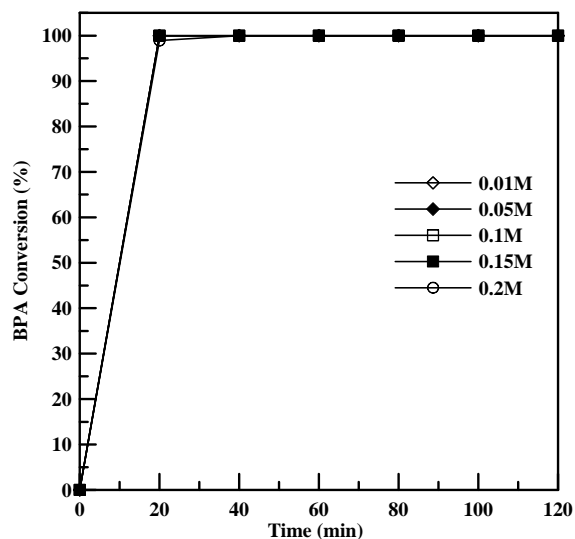


圖 3-1 不同含浸濃度所製備鐵型碳觸媒氧化降解雙酚 A 之轉化率反應條件：雙酚 A 濃度 100 mg/L，活性碳 1 克，溫度 80°C。

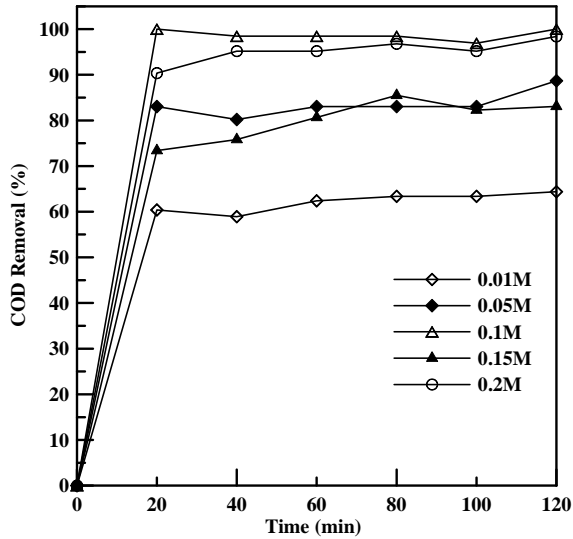


圖 3-2 不同含浸濃度所製備鐵型碳觸媒氧化降解雙酚 A 之 COD 去除率反應條件：雙酚 A 濃度 100 mg/L，活性炭 1 克，溫度 80°C。

### 氧化系統中不同劑量之碳觸媒對雙酚 A 氧化效果之影響

本研究分別加入活性炭金屬（含浸硫酸亞鐵 0.1M）所製備之觸媒 0.1 克、0.5 克、1 克、1.5 克於氧化系統中，探討活性炭金屬觸媒添加量的多寡，對其氧化降解雙酚 A 的影響效果。圖 4-1, 4-2 為觸媒添加量的多寡對於雙酚 A 轉化率及 COD 去除率之影響，最終雙酚 A 轉化率 0.1 克時為 17.1%、0.5 克時為 76.1%、1 克時為 100%、1.5 克時為 100%，最終 COD 去除率 0.1 克時為 25%、0.5 克時為 52.8%、1 克時為 100%、1.5 克時為 100%。由圖中可發現當觸媒添加劑量增加時，觸媒添加劑量增加時有效增加污染物與觸媒接觸之機率，因此對於有機物的去除效果有明顯的提升。

在 Fenton 或類 Fenton 的氧化反應過程中，活性炭觸媒添加量的多寡，將會影響氧化反應中觸媒催化過氧化氫生成氫氧自由基之總量<sup>(11)</sup>，因此觸媒劑量的多寡在氧化反應中也扮演著重要的角色。由本實驗結果得知，低劑量催化劑無法有效使過氧化氫產生大量的氫氧自由基，故高劑量催化劑可有效提升對有機物的降解效果。

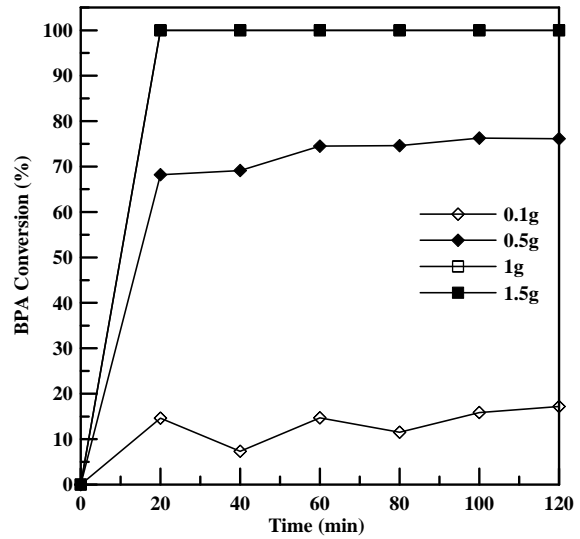


圖 4-1 氧化系統中不同劑量的鐵型碳觸媒轉化率之影響

反應條件：雙酚 A 濃度 100mg/L，溫度 80°C。

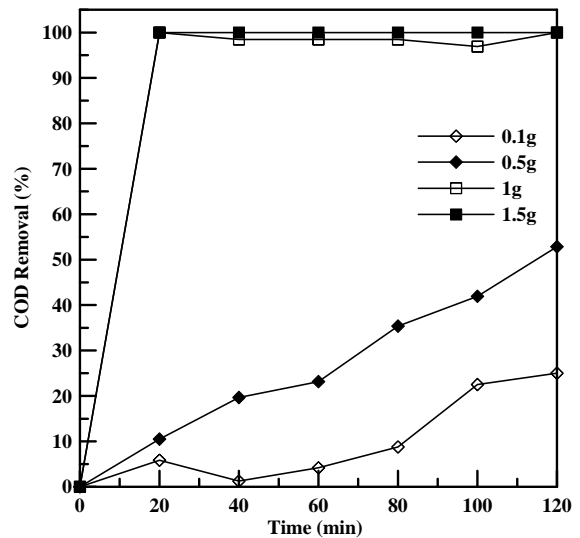


圖 4-2 氧化系統中不同劑量的鐵型碳觸媒 COD 去除率之影響反應條件：雙酚 A 濃度 100mg/L，溫度 80°C。

### 雙酚 A 污染物濃度變化對氧化效果之影響

本研究雙酚 A 濃度分別為 50mg/L、100mg/L、150mg/L、200mg/L，探討不同濃度之雙酚 A 對其氧化效果的影響。圖 5-1, 5-2 為雙酚 A 濃度變化對氧化效果之雙酚 A 轉化率及 COD 去除率之影響，不論 BPA 之濃度為何，於氧化系統中，最終轉化率皆可達 90% 以上，50 mg/L~150 mg/L 時 COD 去除率都可在 93% 以上、200 mg/L 時則僅達

84.4%。由圖看出本實驗條件在雙酚 A 濃度超過 150 mg/L 後，效果開始有明顯的降低。本章節在探討雙酚 A 濃度變化對觸媒活性之影響，因高濃度之有機污染物易於氧化反應過程中形成不具活性之物質覆蓋觸媒，因而導致觸媒失去活性<sup>(12)</sup>，觸媒本身之活性高低對 Fenton 氧化反應效果有極大的影響。由本實驗結果得知，污染物濃度較高的情況下，活性碳觸媒/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>系統無法將雙酚 A 完全氧化降解，但適當的提高觸媒含浸濃度或增加過氧化氫添加量可提升其降解效果。

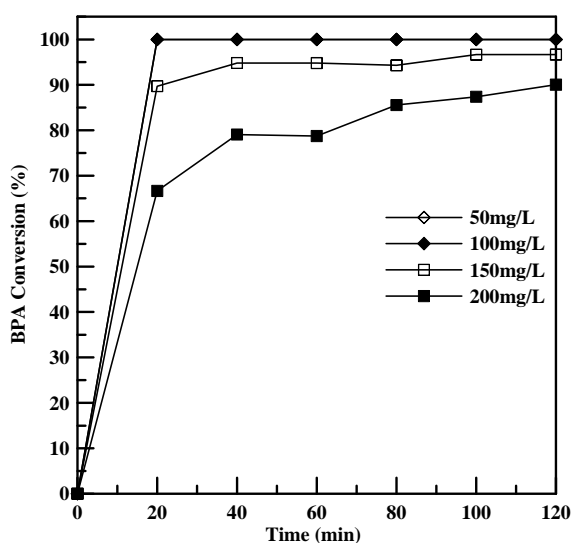


圖 5-1 氧化反應中濃度變化對雙酚 A 轉化率之影響  
反應條件：FeSO<sub>4</sub> 濃度 0.1M，活性碳 1 克，溫度 80°C。

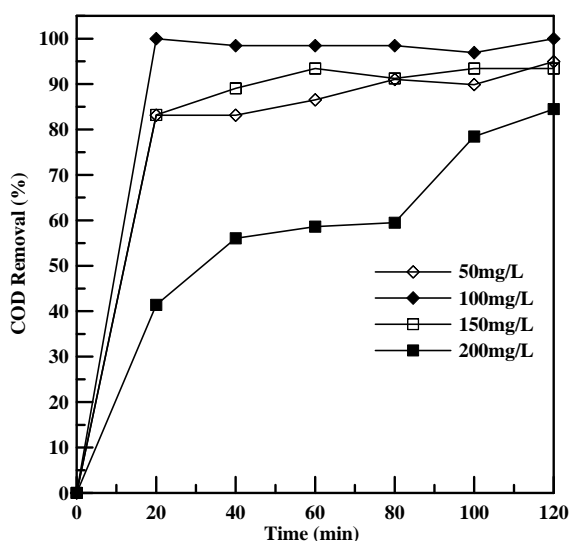


圖 5-2 氧化反應中濃度變化對 COD 去除率之影響  
反應條件：FeSO<sub>4</sub> 濃度 0.1M，活性碳 1 克，溫度

80°C。

## 結論

本研究以椰殼作為活性碳製備之原料，在高溫狀態以濕式含浸法將硫酸亞鐵活化劑含浸於椰殼纖維內，再經由可程式管狀高溫爐以熱裂解的方式燒結，並以二氧化碳氣體進行活化製備成碳觸媒。本研究探討所製備金屬碳觸媒之物化特性，觀察不同種類之金屬碳觸媒對其孔隙特性、表面結構、活化金屬分散性之差異性，並針對觸媒在各種條件下對於雙酚 A 氧化降解之效果影響。所得結果彙整如下：

1. 不同含浸液濃度所製備鐵型碳觸媒對於雙酚 A 氧化效果之影響，含浸液活性金屬濃度的提高有助提高觸媒中活性金屬含量，利於氧化降解雙酚 A 廢水。
2. 活性金屬含量提高有助於與過氧化氫產生更多的氫氧自由基，而鐵型碳觸媒隨含浸金屬濃度增加產生了更大量的氫氧自由基。
3. 高劑量碳觸媒可增加過氧化氫生成氫氧自由基之產生量，對於有機物的去除效果有明顯的提升，而低劑量碳觸媒因無法有效使過氧化氫產生大量的氫氧自由基，以至於對有機物的去除效果受限。

## 肆、參考文獻

1. S. Martin, K. Yuki, T. Seiji, F. Toshihiro, Effect of atmosphere and catalyst on reducing bisphenol A (BPA) emission during thermal degradation of polycarbonate, *Chemosphere*, 78(1) (2010) 42-45
2. J. Maia, J.M. Cruz, R. Sendón, J. Bustos, J.J. Sanchez, P. Paseiro, Effect of detergents in the release of bisphenol A from polycarbonate baby bottles, *Food Res. Int.* 42(10) (2009) 1410-1414
3. S. Yoshiki, K. Yasuhiko, T. Koji, K. Noboru, Degradation behaviour and recovery of bisphenol-A from epoxy resin and polycarbonate resin by liquid-phase chemical recycling, *Polym. Degrad. Stabil.* 89(2) (2005) 317-326



4. N.V. Laura, H. Russ, M. Michele, O. Nicolas, V. W. Wade, Human exposure to bisphenol A (BPA) , *Reprod. Toxicol.*, 24(2) (2007) 139-177
5. K. Kannan, G. Michelle, N. Andy, L. A. Lesa, M. H. Sean, Biomonitoring Equivalents for bisphenol A (BPA), *Regul. Toxicol. Pharm.*, 58(1) (2010) 18-24
6. J. Maia, J.M. Cruz, R. Sendón, J. Bustos, J.J. Sanchez, P. Paseiro, Effect of detergents in the release of bisphenol A from polycarbonate baby bottles , *Food Res. Int.* 42(10) (2009) 1410-1414
7. S.-H. Nam, Y.-M. Seo, M.-G. Kim, Bisphenol A migration from polycarbonate baby bottle with repeated use , *Chemosphere* 79(9) (2010) 949-952
8. L. N. Gerald, R. M. Jamie, Fluorescence detection of hydroxyl radicals, *Radiat. Phys. Chem.* 75(4) (2006) 473-478
9. H. Guan, L. Zhu, H. Zhou, H. Tang, Rapid probing of photocatalytic activity on titania-based self-cleaning materials using 7-hydroxycoumarin fluorescent probe, *Anal. Chim. Acta.* 608( 1), (2008) 73-78
10. E. L. Michele, A. T. Matthew, Quantitation of hydroxyl radical during Fenton oxidation following a single addition of iron and peroxide, *Chemosphere* 41(3) (2000) 409-417
11. L. Xu, J. Wang, A heterogeneous Fenton-like system with nanoparticulate zero-valent iron for removal of 4-chloro-3-methyl phenol , *J. Hazard. Mater.* 186(1) (2011) 256-264
12. L. G. Devi, S. G. Kumar, K. M. Reddy, C. Munikrishnappa, Photo degradation of Methyl Orange an azo dye by Advanced Fenton Process using zero valent metallic iron: Influence of various reaction parameters and its degradation mechanism, *J. Hazard. Mater.* 164(2-3) (2009)459-467

## 伍、謝辭

本研究感謝行政院國家科學委員會提供研究經費，  
專題研究計畫： NSC 100-2628-E-041-001-MY3。

## Activated carbon catalyst for catalytic oxidation of bisphenol-A with hydrogen peroxide in the wastewater treatment process

Shih Hsiung Chen<sup>1</sup> Rey May Liou<sup>1</sup> Cheng Hsien Huang<sup>1</sup> Shih Peng Yang<sup>1</sup>  
Mu Ya Hung<sup>1</sup> C. Y. Shih<sup>2</sup> J. L. Lai<sup>1</sup> Honh Jie Chen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering and Science,  
Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.  
<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Chengshiu University, Kaoshiung, Taiwan

### Abstract

The impregnated iron sulfate in coconut shell was prepared as the active metal on the catalyst. The activated carbon catalysts were applied for oxidation of bisphenol A pollutant in batch reactor. The BET analysis was made for evaluation the effect of iron impregnating on the pore development and surface area of catalyst. The SEM-EDS technology were used to identify the iron composition on the surface of catalyst and observed the morphology of catalyst. The catalytic oxidations were carried out with the hydrogen peroxide in the reactor at suitable condition. The pollutant conversion was determined by HPLC analysis and the COD removals were determined by titration method. It was found that well BPA conversion and COD removal were shown in the test experiments. Based on the results of this investigation, it was found that hydrogen peroxide oxidation with activated carbon catalyst own a almost 100% BPA conversion and an over 80% COD removal in the oxidation. The oxidations were carried out by the free radical mechanism and the hydroxyl radical also confirmed by the fluorescence test.

**Keywords: COD, activated carbon, oxidation, bisphenol A**

---

\*Correspondence: Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C  
Tel: +886-6-2660028  
Fax: +886-6-2669090  
E-mail: mshchen@mail.chna.edu.tw