

## 氧化亞銅/沸石混成觸媒處理生物氣膠之效能研究

郭昭吟\* 伍紹文\* 張祐滋\* 吳忠信\*\*

\*國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系

\*\*國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系

### 摘 要

本研究製備 1、3、5 wt% 的氧化亞銅 (Cu<sub>2</sub>O) 與沸石 (zeolite) 混合之 Cu<sub>2</sub>O/zeolite 混成觸媒, 利用直型管柱系統於流量 40、50 及 60 lpm 下, 對生物氣膠 (細菌、真菌) 進行實驗, 並探討其除菌效率。實驗結果顯示, 生物氣膠中可呼吸性氣膠 (粒徑小於 5μm) 比例相當高, 細菌及真菌分別為 83-100% 及 90-100%。經混成觸媒處理後之生物氣膠濃度均低於國內室內空氣品質之建議值, 其中 1 wt% Cu<sub>2</sub>O/zeolite 之混成觸媒於 40 lpm 之處理流量下, 細菌、真菌除菌率分別為 84%、74%; 60 lpm 之處理流量下, 細菌、真菌除菌率分別為 81%、72%, 因處理流量較高時, 停留時間短, 生物氣膠之去除率較差。另外, 經 12 小時之耐久性實驗得知細菌、真菌除菌率為 82%、85%, 而 5 天之耐久性實驗後, 細菌及真菌之除菌率仍可維持 69%、72%, 尚未達需再生處理之狀態, 顯示本研究製備之混成觸媒除有過濾功能外更有持續之良好除菌效能。

**關鍵詞:** 氧化亞銅、沸石、混成觸媒、降解、生物氣膠

### 1. 前 言

根據研究發現, 人們停留於室內環境的時間長達 80% 以上, 而許多報告指出生物氣膠是造成室內空氣品質問題的來源之一 (Filtration and Separation, 1998)。學者 Boreson 等 (2004) 研究發現, 生物氣膠會隨著空氣中的懸浮微粒散佈在空氣中。這些生物氣膠粒徑大小介於 2.5 μm-10 μm 之間, 屬於微懸浮微粒, 一旦被吸入人體後, 將造成季節性過敏和呼吸道發炎。生物氣膠泛指在空氣中散佈的微生物過敏原, 如: 死的或活的真菌、細菌、放線菌 (Actinomycetes) 和微生物的代謝物聚葡萄糖 (glucans) 的總稱 (Taha, et al., 2006)。其中細菌與真菌是室內環境中最多數且常見的生物氣膠, 其普遍存在於一般大氣及室內環境中, 導致人體產生過敏反應、感染性疾病等危害, 因此生物氣膠造成室內空氣品質不良的問題實屬當務之急 (Botterel, 2008)。

金屬奈米顆粒因粒徑小、比表面積高, 可與細菌細胞膜產生緊密地交互作用, 為影響殺菌效能之主因 (Morones, et al., 2005; Ren, et al., 2009)。本研究使用的金屬觸媒屬於無機抗菌劑, 而無機抗菌劑由於具有長效性、高化學穩定性、低人體毒害, 不產生抗藥性, 特別是具有良好的耐熱性等優點, 因而 1980 年代的日本、美國等國家對這種無機抗菌劑進行大量研究, 於近年來亦成為研究焦點之一 (游輝智,

2008; Stoimenov, et al., 2002; Wang, et al., 2006)。不少金屬和金屬離子都具有抗菌作用, 其殺菌和抑制病原體的能力有以下順序: Ag >> Hg > Cu > Cd > Cr > Ni > Pb > Co > Zn > Fe, 由於一些具有抗菌能力的金屬離子具有毒性或成本過高, 故通常人們選用銀、銅、鋅做為抗菌活性劑 (Son, et al., 2004; Zahmakiran and Ozkar, 2009)。金屬及其離子的抗菌作用屬於接觸性抗菌, 金屬材料皆為正電荷離子, 利用正負電荷相吸原理, 帶正電荷之無機抗菌材, 吸附帶負電荷之細菌、真菌等生物氣膠, 此時無機抗菌材會有效地穿越細菌、真菌之細胞壁、細胞膜, 進入其體內, 使所需之蛋白質變性, 以致無法呼吸、代謝與繁殖至死亡 (王小健等, 2003)。

本研究基於節省成本及對病菌的致死能力考量之下, 選擇以銅系抗菌劑做為除菌材料, 銅為一種眾所皆知抗菌金屬, 其氧化物氧化亞銅 (Cuprous oxide, Cu<sub>2</sub>O) 為銅的一價氧化物, 由於氧化亞銅具有低毒性、價格低廉及取得途徑容易等優點 (Zhang, et al., 2008), 是半導體重要的材料, 可作為於殺菌劑、太陽能材料、光催化劑、氣體感應器、觸媒等。此類抗菌劑根據其載體類型又分為沸石抗菌劑、磷酸複鹽抗菌劑、矽膠抗菌劑等, 其中沸石為當今世界新興礦產資源, 主要應用在吸附劑、觸媒、離子交換劑 (Chen, et al., 2008)。其重要特性包括: 高度的水合行為、除水後有

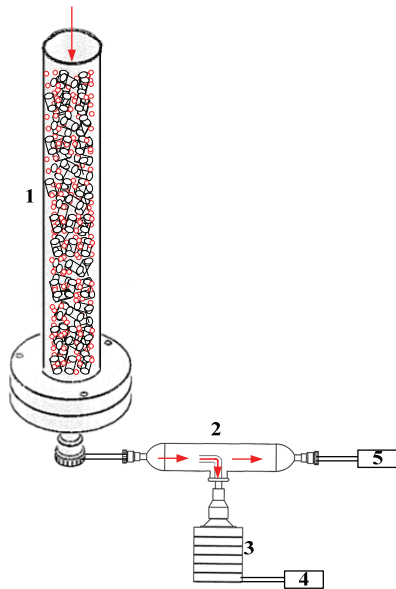
低密度性及大空間性、去水後結晶架構穩定、陽離子可交換性、去結晶水後結構有均勻孔道、有不同之物性，如金屬導電度、氣體和蒸汽之吸附性、催化性 (Breck, 1974)。而本研究所使用之沸石為Y-zeolite，屬於高矽沸石，分子內具有較大的梯度場，對於非極性有機分子有較強之吸附選擇性 (黃玄昇, 2003)，沸石同時具有相當優異之再使用率 (陳璽翔, 2006)。

因此本研究嘗試以氧化亞銅 (Cu<sub>2</sub>O) 結合沸石 (zeolite) 擔體系統，開發出一種新型混成觸媒，針對生物氣膠污染物之細菌、真菌作去除，探討其除菌效果及其應用之可行性。

## II. 實驗方法與材料

### 2.1 可調流量式採樣系統

本研究利用自行設計之管柱系統，以玻璃管 (L=40 cm、 $\phi$ =5 cm)、採樣槽、L型彎管、安德森六階採樣器、採樣器 pump 以及靜音型真空 pump 所組成，於玻璃管柱中填充入自製Cu<sub>2</sub>O/zeolite混成觸媒，然後連接採樣槽並在尾端裝上靜音型真空 pump，採樣時於採樣槽下方處以L型彎管連接安德森六階採樣器，最後再接上採樣器 pump。以此系統來測試對生物氣膠的除菌效果，其系統示意圖如圖1所示 (張祐滋, 2010)。



編號	儀器	編號	儀器
1	玻璃除菌管 (L=40 cm、 $\phi$ =5 cm)	4	採樣 pump
2	採樣槽	5	系統 pump
3	安德森六階採樣器		

圖1 除菌系統及採樣系統

### 2.2 混成觸媒製備程序

#### 2.2.1 Cu<sub>2</sub>O/zeolite製備方式分為四大步驟，敘述如下：

1. 矽鋁酸鈉 (Sodium Silico-Aluminates) 與二氧化矽 (Silica, SiO<sub>2</sub>) 混合均勻：

將SiO<sub>2</sub>與矽鋁酸鈉混合均勻，並在此時加入欲添加之金屬粉末，再將鹼性溶液0.75 N NaOH慢慢滴入混合均勻之粉末中，直至形成膠體後捏成團。

2. 膠化 (Gelling)：

一般膠化劑為硫酸 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)、鹽酸 (HCl) 與氫氧化鈉 (NaOH)，可用來控制pH值。而本研究選用NaOH做為膠化劑除了可以產生膠化作用，另有學者Groen et al., (2005, pp. 153-161) 指出利用NaOH處理可以產生大量的中孔結構。

3. 成型 (Forming)：

成型目的在於使反應物與生成物，能順利於混成觸媒中擴散。本研究將利用油壓成型機製備出條狀混成觸媒。

4. 乾燥 (Drying)：

於100-150 °C下進行，通入空氣或氮氣。於操作過程中必須特別注意溫度要採逐漸提高之方式；另外，乾燥會影響成型難易度，所以仍需保留一定濕度。

故本研究固定zeolite的二氧化矽/矽鋁酸鈉之重量百分比為65/35 wt%，再添加不同比例的Cu<sub>2</sub>O (97%，片山)，經過105 °C乾燥至隔夜 (以10 °C/min升溫)，再以450 °C鍛燒8小時 (以10 °C/min升溫)，即為混成觸媒氧化亞銅/沸石 (Cu<sub>2</sub>O/zeolite)。使用XRD分析可得混成觸媒都是以氧化銅 (CuO) 的形式存在，推測是經高溫鍛燒過後的Cu<sub>2</sub>O會被氧化形成CuO，所以本研究改採用以105 °C乾燥至隔夜。混成觸媒之混合比例為1/99表示以1 wt%的氧化亞銅跟99 wt%的沸石混合而成，並以CZ01命名之，其餘混成觸媒命名依此類推。經 ICP-OES成分分析得知CZ01氧化亞銅含量0.8%，CZ03氧化亞銅含量3.6%，CZ05氧化亞銅含量6.0%。因此可知本研究所備製之Cu<sub>2</sub>O/zeolite混成觸媒為均勻混合。

### 2.3 採樣方法

#### 2.3.1 培養基配製

採樣方法參考行政院環保署 (2009) 公告之NIEA E301.11 C室內空氣中總細菌數檢測方法與NIEA E401.11C室內空氣中總真菌數檢測方法，選定使用之培養基為胰蛋白大豆瓊脂 (Tryptic soy agar, TSA)、麥芽抽出物瓊脂 (Malt extract agar, MEA)，TSA、MEA分別為針對採集細菌類、真菌類生物氣膠所配製之培養基。此兩種培養基按照標準配方稱取所需之培養基粉末，與適量去離子水均勻混和，放入高壓滅菌釜以121 °C高溫滅菌15mm。滅菌後，置於48 ± 2 °C之水浴槽中冷卻，冷卻後分裝適量培養基至培養皿



(90 x 15 mm) 中，置於室溫下凝固，保存期限14天。此外培養基需添加真菌抑制劑環己亞胺 (Cycloheximide, 100 µg/mL)、細菌抑制劑氯黴素 (Chloramphenicol, 100 µg/mL)，可分別抑制真菌與細菌生長，以減少污染。

結果處理，使用多階多孔洞採樣器 (Multi-stage multi-orifice sampler) 之菌落數計算方式，應於完成菌落計數後，參照採樣器原製造廠商提供之校正表 (positive hole correction table) 先行換算，再計算其平均值，再除以採樣時所抽取之總空氣體積 (需以採樣前後之平均流量求取總空氣體積)，得到一立方公尺空氣中總菌數的濃度，單位以 CFU/m<sup>3</sup> (colony forming unit/cubic meter) 表示，其算式如下：

$$\text{生物氣膠濃度(CFU/m}^3\text{)} = \frac{\text{總菌落生成數(CFU)}}{\text{採樣流量(L/min)} \times \text{採樣時間(min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)}} \quad (2.1)$$

### 2.3.2 安德森6階生物氣膠採樣器

一般而言，粒徑在5-10 µm之微粒主要沈積於上呼吸道系統，且為引發如過敏性鼻炎之主要因子；微粒粒徑小於5 µm，即所謂可呼吸性微粒，能夠穿透進入肺泡(梁進生, 2004)。本研究以安德森6階生物氣膠採樣器採集生物氣膠微粒，擷取粒徑依序為0.65、1.1、2.1、3.3、4.7、7.0 µm，藉此分析可呼吸性生物氣膠之百分比。

## III. 結果與討論

### 3.1 Cu<sub>2</sub>O/zeolite混成觸媒晶相分析

本研究利用X光繞射分析儀 (XRD) 進行Cu<sub>2</sub>O/zeolite混成觸媒之晶相分析，如圖2所示。自製Y-zeolite及低比例混成觸媒 (CZ01、CZ03、CZ05) 之XRD圖，標準圖譜在最下方分別為Cu<sub>2</sub>O及Y-zeolite之標準圖譜，氧化亞銅主要繞射峰出現於2θ=35.6-36.5，主峰強度為484-2,156；Y-zeolite主要繞射峰在2θ=23.73-23.77，主峰強度為3,663-4,143。由圖可看出隨著Cu<sub>2</sub>O之含量越多，Cu<sub>2</sub>O之相對強度也越明顯，反之zeolite波峰之相對強度則逐漸減少。

### 3.2 不同流量之實驗結果

利用CZ01混成觸媒於不同流量下進行除菌實驗之細菌、真菌氣膠除菌率圖，如圖3所示，由可得知，隨著控制流量增大，其除菌率大部份呈現出變差的趨勢，以混成觸媒用量90 g來看，於控制流量為40 lpm、50 lpm、60 lpm時，其細菌氣膠除菌率為84%、75%、74%；真菌氣膠除菌率為81%、90%、72%。另外，在觸媒用量達30 g之後，細菌、真菌除菌率分別皆已達到61%及57%以上，並呈現出較為平緩上升

之趨勢。

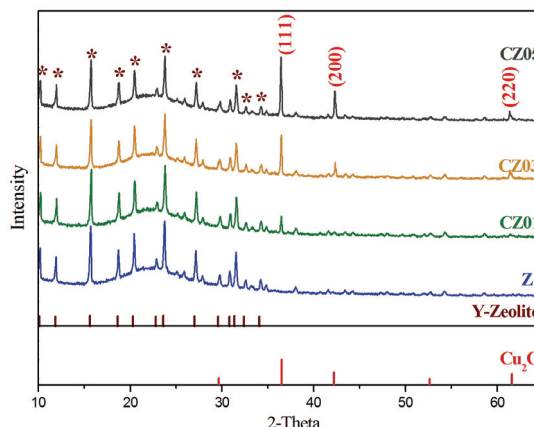


圖2 不同比例混成觸媒以及純沸石之XRD圖

不同流量及混成觸媒比例下，採樣所得之背景生物氣膠濃度值及觸媒添加量為90 g時之生物氣膠濃度，由實驗所採集之背景值，其細菌氣膠濃度範圍為240-1,279 CFU/m<sup>3</sup>，而真菌氣膠濃度範圍為905-3,117 CFU/m<sup>3</sup>，大部份皆超過國內室內空氣品質建議值細菌500 CFU/m<sup>3</sup> (第一類) 與真菌1,000 CFU/m<sup>3</sup>，其中真菌氣膠濃度甚至超過建議值2-3倍以上，但經過本研究製備之各種不同比例混成觸媒處理過後，細菌氣膠濃度皆降至150 CFU/m<sup>3</sup>以下；而真菌氣膠濃度皆降至590 CFU/m<sup>3</sup>以下，全部皆符合國內室內空氣品質建議值之細菌、真菌氣膠濃度，顯示本研究成功製備出具有良好除菌效能之混成觸媒。

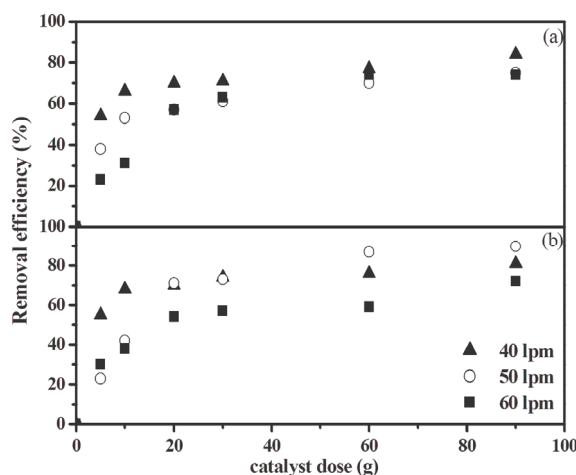


圖3 (a) 不同流量之細菌氣膠除菌率圖，(b) 不同流量之真菌氣膠除菌率圖 (T=26°C、RH=61%、混成觸媒=CZ01)

### 3.3 生物氣膠粒徑分佈分析

利用混成觸媒於採樣流量40 lpm下所得之粒徑分佈情形，

觸媒添加量為90 g，其壓損為0.039 atm，孔隙率為70.8%。圖4、5為不同比例混成觸媒之生物氣膠粒徑分佈圖，由圖中可得知於不同粒徑下，經不同比例混成觸媒處理後之生物氣膠濃度，與背景值相較都有明顯下降之趨勢，且所採集之生物氣膠粒徑分佈情形，不論是細菌或者是真菌，其差異性皆不大；此外可發現，細菌生物氣膠之粒徑分佈大部分集中於擷取粒徑0.65-2.1 μm之間，而真菌生物氣膠之粒徑分佈則集中於擷取粒徑1.1-3.3 μm之間，因真菌粒徑普遍比細菌大，真菌生物氣膠於採樣時會比細菌較容易被擷取下來。

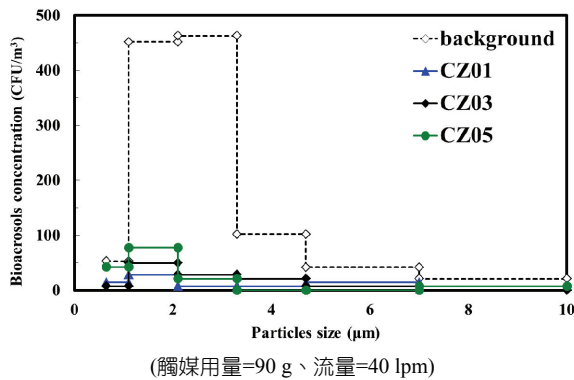


圖4 不同比例混成觸媒之細菌生物氣膠粒徑分佈圖

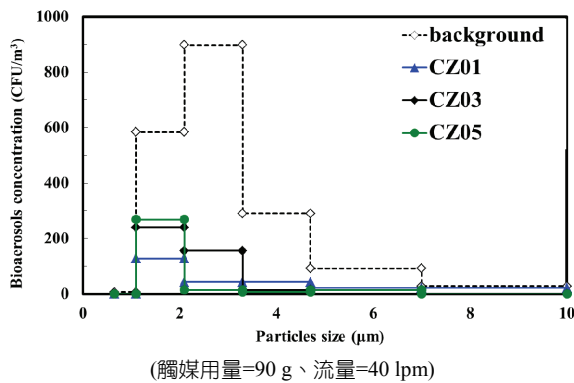


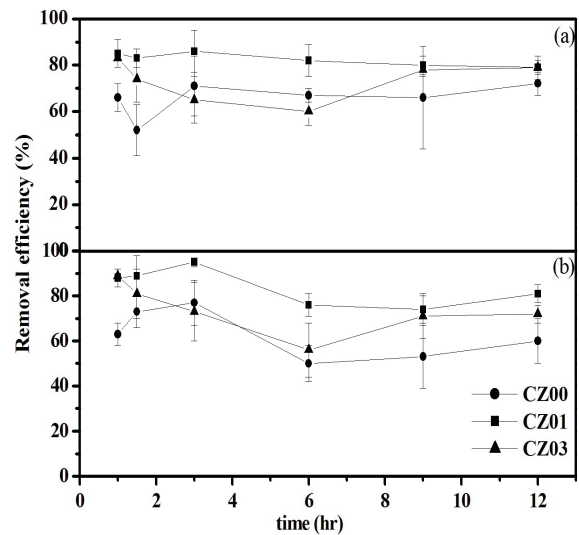
圖5 不同比例混成觸媒之真菌生物氣膠粒徑分佈圖

利用混成觸媒於不同觸媒添加量處理過後，其可呼吸性生物氣膠所佔之比例相當高，細菌及真菌分別介於83-100%及90-100%，推測其生物氣膠濃度大致受通風換氣系統過濾之限制，及人體呼吸作用所產生之污染源所影響。

### 3.4 混成觸媒之耐久實驗

主要探討使用不同比例的自製Cu<sub>2</sub>O/Zelite混成觸媒，於長時間之使用下是否仍維持除菌效能。使用CZ01、CZ03觸媒濾材採樣之細菌、真菌除菌率圖，並與純沸石 (CZ00) 比較，如圖6所示。耐久性實驗測試時間為12hr，採樣時間

5min，馬達流量為40 lpm，觸媒添加量為90 g，由圖中可得知，經過12hr耐久性實驗測試後，自製Cu<sub>2</sub>O/Zelite混成觸媒均仍維持一定除菌效能，以細菌來看純沸石於0.5hr至1hr除菌率由14%上升至59%，1.5hr時之後除菌範圍維持在41-73%；CZ01於0.5hr之除菌率為64%，而12hr之除菌率為82%，除菌範圍為64-90%；CZ03於0.5hr之除菌率為63%，而12hr之除菌率為76%，除菌範圍為63-82%。以真菌來看純沸石於0.5hr之除菌率為64%相較低於CZ01、CZ03之除菌率，其除菌率分別為91%、85%，而純沸石於12hr之除菌率為56%，其除菌範圍為41-68%；CZ01於12hr之除菌率為85%，其除菌範圍為80-96%；CZ03於12hr之除菌率為67%，其除菌範圍為60-88%。



(a) 細菌, (b) 真菌

(觸媒添加量=90 g、流量=40 lpm、T=26 °C、RH=58 %)

圖6 不同比例混成觸媒之12hr菌類耐久性測試實驗

經由12hr耐久性測試後，自製Cu<sub>2</sub>O/Zelite混成觸媒耐久性相當良好，因此延長至5天之耐久性測試，探討是否仍擁有其耐久特性。表1為使用CZ01自製Cu<sub>2</sub>O/Zelite混成觸媒採樣之細菌、真菌除菌率，耐久性測試實驗時間為5天，每12hr採樣一次、採樣時間為5min、馬達流量為40 lpm、觸媒添加量為90 g。由表中可以得知，經過5天耐久性實驗測試後，自製混成觸媒亦維持良好的除菌效果，24hr之細菌、真菌除菌率為87%、70%，而120hr之細菌、真菌除菌率為69%、72%，其細菌、真菌除菌範圍分別為57-87%、51-78%。

表1 CZ01混成觸媒5天耐久實驗結果

觸媒使用時間 (hr)	24	36	48	60	72	84	96	108	120
細菌除菌率 (%)	87	84	76	77	86	64	57	62	69
真菌除菌率 (%)	70	54	71	55	51	64	78	69	72

註：觸媒添加量：90 g、流量：40 lpm、T：25°C、RH：54%



### 3.5 使用後之觸媒表面菌類分析

實驗主要是在探討經除菌實驗後，殘留在混成觸媒上的菌數數量，以瞭解細菌與真菌是否真正的被本實驗自製的觸媒去除。

方法為使用90 g CZ01觸媒經120 hr 除菌實驗後，取5 g的CZ01觸媒以50 mL的無菌液淋洗濾材並收集其液體。將收集之液體，以無菌吸管吸取0.1 mL到培養基上，再用塗抹棒塗抹均。完成後，將培養皿置入培養箱中，細菌以30±1 °C培養48±2hr，真菌則以25±1 °C培養4±1天，採三重實驗並取其平均值。最後，計算菌落數並紀錄。表2為CZ01觸媒表面除菌分析之結果，可得知CZ01的細菌平均量為15 CFU/mL，而真菌平均量為35 CFU/mL。細菌與真菌殘留於觸媒表面的數量少，可知本研究製備之混成觸媒具有依本文前言所述之氧化亞銅抗菌材機制。

表2 使用後之觸媒表面菌類培養分析結果

	自來水背景值	使用後之CZ01 (三重覆)
細菌 (CFU/mL)	310	15
真菌 (CFU/mL)	60	35

註：觸媒濾材使用時間：120 hr，系統流量：40 lpm

### 3.6 反應速率常數推估

本研究使用之混成觸媒填充量，為5、10、20、30、60、90 g，並控制於三種不同流量下 (40、50、60 lpm)，且一般空氣密度為1.1274 kg/m<sup>3</sup>，分別代入式 (3.1)，即可推算出比停留時間τ (g-air/(hr · g-catalyst))，其算式如下所示：

$$\tau = \frac{W}{Q \times (10^3) \times \rho \times 1000} \quad (3.1)$$

W：觸媒填充量 (g-catalyst)

Q：控制流量 (L/hr)

τ：比停留時間 (g-air/(hr · g-catalyst))

ρ：空氣密度 (kg/m<sup>3</sup>)

混成觸媒處理室內生物氣膠的反應動力式以擬一階反應動力模式表示如下：

$$\frac{dC}{d\tau} = kC \quad (3.2)$$

C：反應物濃度 (CFU/m<sup>3</sup>)

k：反應速率常數 (1/hr)

τ：比停留時間 (g-air/(hr · g-catalyst))

假設反應起始比停留時間為τ=0hr，起始濃度為C<sub>0</sub>(CFU/m<sup>3</sup>)，當比停留時間為τ時，反應濃度則為

C(CFU/m<sup>3</sup>)，將式 (3.2) 加以積分並將C/C<sub>0</sub>乘以100可得式 (3.3)。

$$\ln \frac{100C}{C_0} = k\tau \quad (3.3)$$

式 (3.3) 以ln(100C/C<sub>0</sub>) 對比停留時間τ作圖，如圖7所示，經線性迴歸後可得擬一階反應速率常數，並觀察是否符合擬一階反應動力模式。表3為流量40 lpm、50 lpm及60 lpm下之擬一階反應速率常數表，由線性迴歸可得知流量於40 lpm細菌及真菌的R<sup>2</sup>分別為0.98、0.97；而從反應速率常數可得知，其細菌k值為24.84 (1/hr)，真菌k值為16.20 (1/hr)。

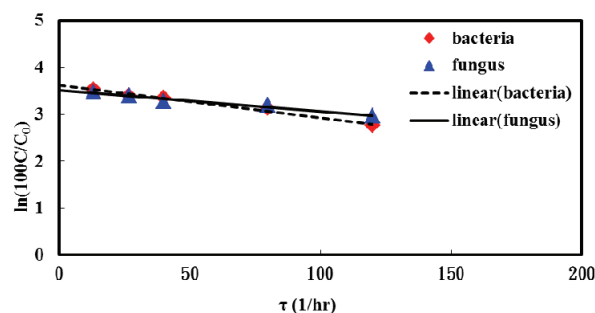


圖7 流量40 lpm之擬一階反應動力模式模擬圖

表3 不同流量之反應速率常數

流量	40 lpm		50 lpm		60 lpm	
	細菌	真菌	細菌	真菌	細菌	真菌
k <sub>f</sub> (1/hr)	24.84	16.20	26.28	115.2	136.8	46.8
R <sup>2</sup>	0.98	0.97	0.99	0.98	0.96	0.93

## IV. 結論與建議

本研究利用可調流量式處理系統，以自製不同比例之Cu<sub>2</sub>O/Zeolite混成觸媒進行室內生物氣膠之除菌效能研究。研究結果如下：

1. 處理之流量愈高，停留時間則愈短，而細菌、真菌氣膠除菌率則愈差；且CZ01混成觸媒與CZ05混成觸媒達到相近之除菌效能，以減少成本之緣由，本研究適合之操作條件為CZ01混成觸媒、添加量為90 g。
2. 經本研究製備之各種不同比例混成觸媒處理後，細菌、真菌氣膠濃度皆符合國內室內空氣品質建議值500 CFU/m<sup>3</sup> (第一類) 與1,000 CFU/m<sup>3</sup>，顯示本研究製備出具有良好除菌效能之混成觸媒。
3. 經5天耐久實驗得知，細菌、真菌除菌率仍有69%、72%，尚可持續處理不須廢棄或再生，顯示製備之混成觸媒具有良好的除菌效能。
4. 本研究以反應動力模式模擬除菌反應，細菌、真菌的R<sup>2</sup>

分別為0.98及0.97，表示符合本研究推導之擬一階反應動力模式。

5. 經生物氣膠粒徑分佈情形得知，細菌與真菌氣膠之可呼吸性氣膠所佔之比例高，建議未來可進一步改進本研究之混成觸媒以利去除可呼吸性之生物氣膠。

## 致 謝

本研究承蒙經濟部在地型產業加值學界科專計畫（計畫編號98-EC-17-A-10-S1-113）經費補助，特此感謝。

## 參考文獻

- 張祐滋，2010，應用氧化亞銅結合沸石擔體系統進行室內除菌效能之研究，碩士論文，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所。
- 梁進生，2004，醫療院所室內環境品質之研究，碩士論文，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所。
- 黃玄昇，2003，利用氫、矽、鋁之一維和二維固態核磁共振法研究沸石ZSM-5中之鋁原子位點及酸性位點之分佈，碩士論文，國立中山大學化學研究所。
- 游輝智，2008，氧化鋁披覆奈米銀微粒的製備及其抗菌性之研究，碩士論文，逢甲大學紡織工程研究所。
- 陳璽翔，2006，發展自製沸石去除室內空氣汙染物甲醛之去除效率與影響機制，碩士論文，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所。
- 王小健，喬學亮，陳建國，王洪水，丁士垣，2003，無機抗菌劑的研究現狀及發展趨勢，陶瓷學報，第24卷，頁239-244。
- Breck, D. W., 1974, Zeolite Molecular Sieves, John Wiley, New York.
- Botterel, F., Gross, K., Ibrahim-Granet, O., Khoufache, K., Escabasse, V., Coste, A., Cordonnier, C., Escudier, E., and Bretagne, S., 2008, Phagocytosis of *Aspergillus fumigatus* conidia by primary nasal epithelial cells in vitro, *BMC Microbiol.*, Vol. 8, pp. 1471-2180.
- Boreson, J., Dillner, A. M., and Peccia, J., 2004, Correlating bioaerosol load with PM2.5 and PM10 concentrations: a comparison between natural desert and urban-fringe aerosols, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 6029-6041.
- Chen, J. Y., Zhou, P. J., Li, J. L., and Wang, Y., 2008, Studies on the photocatalytic performance of cuprous oxide/chitosan nanocomposites activated by visible light, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 72, pp. 128-132.
- Filtration and Separation, 1998, Cleaner, healthier environments : AFFCO enhances air filter performance with electret composites, *Elsevier*, Vol. 35, pp. 118-122.
- Groen, J. C., Moulijn, J. A., and Ramirez, J. P., 2005, Decoupling mesoporosity formation and acidity modification in ZSM-5 zeolites by sequential desilication-dealuminum, *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 87, pp. 153-161.
- Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri J. B., and Ramirez J. T., 2005, The bactericidal effect of silver nanoparticles, *Nanotechnology*, Vol. 16, pp. 2346-2353.
- Ren, G., Hu, D., Cheng, E., Vargas-Reus, M., Reip, P., and Allaker, R., 2009, Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications, *International Journal of Antimicrobial Agents*, Vol. 33, pp. 587-590.
- Son, W. K., Youk, J. H., Lee, T. S., and Park, W. H., 2004, Preparation of antimicrobial ultrafine cellulose acetate fibers with silver nanoparticles, *Macromolecular Rapid Communications*, Vol. 25, pp. 1632-1637.
- Stoimenov, P. K., Klinger, R. L., Marchin, G. L., and Klambunde, K. J., 2002, Metal Oxide Nanoparticles as Bactericidal Agents, *Langmuir*, Vol. 18, pp. 6679-6686.
- Taha, M., Drew, G. H., Longhurst, P. J., Smith, R., and Pollard, S., 2006, Bioaerosol releases from compost facilities: evaluating passive and active source terms at a green waste facility for improved risk assessments, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp. 1159-1169.
- Wang, H., Qiao, X., Wang, X., Chen, J., Xiong, J., and Cao, Y., 2006, Influence of high temperature on antibacterial property of silver-loaded zeolite, *Journal of the Chinese Ceramic Society*, Vol. 34, pp. 171-174.
- Zahmakiran, M. and Ozkar, S., 2009, Preparation and characterization of zeolite framework stabilized cuprous oxide nanoparticles, *Materials Letters*, Vol. 63, pp. 1033-1036.
- Zhang, X., Wang, G., Wu, H., Zhang, D., Zhang, X., Li, P., and Wu, H., 2008, Synthesis and photocatalytic characterization of porous cuprous oxide octahedra, *Materials Letters*, Vol. 62, pp. 4363-4365.

Received 7 March 2011

Accepted 16 May 2011



## EFFECT OF CUPROUS OXIDE/ZEOLITE HYBRID CATALYSTS TREATING INDOOR BIOAEROSOLS

Chao-Yin Kuo\*, Shao-Wen Wu\*, Yu-Tzu Chang\* and Chung-Hsin Wu\*\*

\*Department of Safety, Health and Environmental Engineering  
National Yunlin University of Science and Technology  
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

\*\*Department of Chemical and Materials Engineering  
National Kaohsiung University of Applied Sciences  
Kaohsiung, Taiwan 80778, R. O. C.

### ABSTRACT

Hybrid catalysts with cuprous oxide (1, 3, 5 wt %) and zeolite were made and the degradation effect of indoor bioaerosols was studied by a column with these hybrid catalysts at 40, 50, and 60 lpm. As a result, the proportion of bacteria and fungi aerosols was 83-100% and 90-100%, respectively at background but the indoor environmental quality was better than the suggestion value of EPA-Taiwan after treating. The degradation of bacteria and fungi aerosols was 84% and 74% using 1 wt% of Cu<sub>2</sub>O/zeolite at 40 lpm and it was 81% and 72% at 60 lpm. As stated above, the treating flowrate increased to cause residence time reduced, and then the result of effect of degradation decreased. In addition, the effect of degradation at bacteria and fungi aerosols showed 82% and 85% after twelve hours treating; and still maintained 69% and 72% after five days treating. To sum up, these hybrid catalysts treating indoor bioaerosols were not only filtration but degradation.

**Keywords** : cuprous oxide, zeolite, hybrid catalyst, degradation, bioaerosols