

# 氧化亞銅沸石混成觸媒系統於室內空氣中 除菌之研究

## Effect of Cuprous Oxide Hybrid Zeolite-Supported Catalysts to Remove Indoor Bioaerosols

何承准 Cheng-Chun He

國立雲林科技大學

環境與安全衛生工程所碩士

張祐滋 Chang-Yu Tzu

國立雲林科技大學

環境與安全衛生工程所碩士

郭昭吟\*Chao-Yin Kuo

國立雲林科技大學

環境與安全衛生工程學系副教授

Institute of Safety Health and Environmental Engineering National Yunlin

University of Science & Technology

**摘要：**本研究以不同比例(1、3、5、30、50 wt%)氧化亞銅( $\text{Cu}_2\text{O}$ )與沸石(zeolite)擔體混成，製備  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  混成觸媒。並將製備之混成觸媒填充於管柱，在流量 28.3、40 及 60 lpm 下進行除菌實驗，探討除菌效率。X 光繞射光譜儀分析結果顯示，混成觸媒低溫( $105^\circ\text{C}$ )進行製備，以確保  $\text{Cu}_2\text{O}$  不會氧化成  $\text{CuO}$ 。而由過濾實驗得知，當純沸石 90 g 過濾處理後之細菌、真菌除菌率僅為 72%、60%，但經 3 wt%  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  混成觸媒 90 g 之系統處理後，細菌、真菌除菌率提高為 94%、96%，而當連續 24 小時耐久性實驗後，細菌、真菌之除菌率仍有高達約 80%，顯示  $\text{Cu}_2\text{O}$  具有抑制細菌生長之功能，混成觸媒床不易成為細菌孳生之環境，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。

**關鍵字：**室內環境品質、氧化亞銅、混成觸媒、生物氣膠

**Abstract:** Cuprous oxide (1, 3, 5, 30, 50 wt%) hybrid zeolite-supported was prepared as  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  hybrid catalysts. The effect of treating indoor bioaerosols was studied by using these hybrid catalysts in a column system with 28.3, 40 and 60 lpm flow rates. The XRD results indicated that the suitable condition

---

\*Corresponding author



for preparing these hybrid catalysts was at 105°C avoiding oxidation. The efficiencies of filtrating indoor bacteria and fungi aerosols were only 72% and 60% using 90 g of zeolite. However, using 3% Cu<sub>2</sub>O/zeolite hybrid catalysts, the degradation increased to 94% and 96%. In addition, the result in a 24 hours treating experiment, the efficiencies of bacteria and fungi aerosols both kept about 80%, showing the restraining the growth of indoor bioaerosols by Cu<sub>2</sub>O. Cu<sub>2</sub>O/zeolite hybrid catalysts not only had the function of filtration but also better effect of degradation in indoor bioaerosols.

**Keywords:** indoor environmental quality; cuprous oxide; hybrid catalyst; bioaerosols

## 1. 前言

### 1.1 室內空氣品質

由於現代人工作繁忙，停留於室內環境的時間長達 80%，因此室內空氣品質越來越被重視，國內依據環保署於 2005 年公告之「室內空氣品質建議值」，細菌類生物氣膠第一類場所(指對室內空氣品質有特別需求之場所)最高值不超過 500 CFU/m<sup>3</sup>，第二類場所(指一般大眾聚集的公共場所及辦公大樓)最高值不超過 1,000 CFU/m<sup>3</sup>，真菌類生物氣膠最高值不超過 1,000 CFU/m<sup>3</sup>，不過目前仍只限於自主管理階段(建議值)，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(王玉純, 2001)，生物氣膠於環境及工業衛生領域越來越被重視(Bernasconi et al., 2010; Hasegawa et al., 2012)。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)。而生物氣膠對人體的影響可以分成以下三個部分：感染性疾病、呼吸道疾病、過敏性疾病，其中影響最甚者，應該屬於呼吸方面，例如薰煙麴菌(*A. fumigatus*)所誘發的侵入性麴菌症、過敏性的支氣管疾病、氣喘等(Millner et al., 1994)。研究發現，一般人呼吸道細胞接觸到真菌孢子後會啟動防禦機制吸引巨噬細胞來吞噬這些孢子而降低感染性的影響，然而對免疫缺陷或氣喘病人就會造成感染(Botterel et al., 2008)。

### 1.2 無機抗菌材料

為減少有害微生物對人類的危害，各種抗菌材料成為科學研究和應用開發的焦點。抗菌結構材料大致可分為三大類：無機類、有機類和天然生物類。無機抗菌劑主要有二氧化鈦、氧化鋅、沸石、磷灰石、磷酸鹽等多孔性物質，以及銀、銅、鋅等金屬及其離子化合物，其中二氧化鈦為代表的光催化類抗菌劑，此類抗菌劑耐熱性較一般無機抗菌劑高，必須有紫外線照射、氧氣和水的存在才能達到殺菌作用(Shi et al., 2006)，抗菌劑對微生物作用的中毒現象主要表現為影響菌絲的生長、孢子萌發、各種子實體的形成、細胞的通透性、有絲分裂、呼吸作用以及細胞膨脹、細胞原生質體的解體和細胞壁受損壞等，實質上是微生物細胞相關的生理、生化反應和代謝活動受到了干擾和破壞，最終導致微生物的生長繁殖被抑制甚至死亡(王洪水, 2006)，其主要機制為 1. 干擾細胞壁的合成、2. 損傷細胞膜、3. 抑制蛋白質的合成、4. 干擾核酸的合成。



### 1.3 氧化亞銅/沸石觸媒

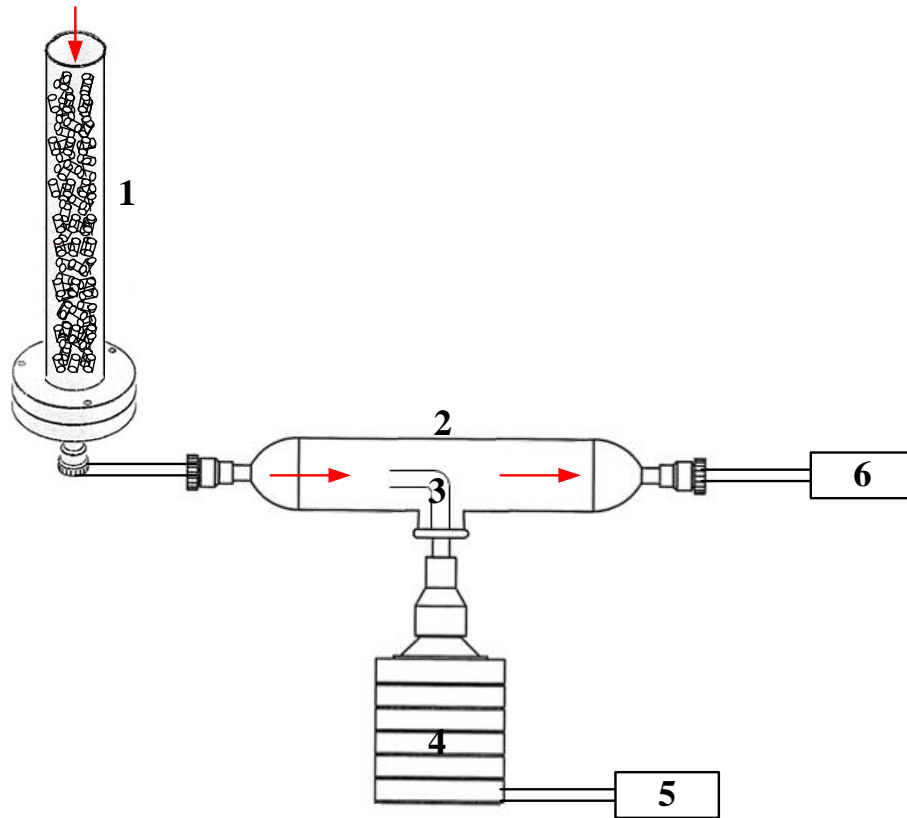
金屬顆粒因粒徑小、比表面積高，可與細菌細胞膜產生緊密地交互作用，為影響殺菌效能之主因(Morones, et al., 2005；Ren, et al., 2009)。不少金屬和金屬離子都具有抗菌作用，其殺菌和抑制病原體的能力有以下順序： $Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Ni > Pb > Co > Zn > Fe$ ，由於一些具有抗菌能力的金屬離子具有毒性或成本過高，故通常人們選用銀、銅、鋅做為抗菌活性劑(Son et al., 2004)，氧化亞銅(Cuprous oxide,  $Cu_2O$ )是銅的一價氧化物，也是最早被發現的 p 型半導體材料之一，能隙為 1.9~2.2 eV(林冠宇，2005; Yang et al., 2006; Wei et al., 2007; Chen et al., 2008; Wan et al., 2012)，許多金屬氧化物引起研究學者的注意，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)。目前銅(離子)殺菌或沸石之相關研究，前者大都應用於水中微生物處理方面；後者則大都應用於去除空氣中之揮發性有機物，相較之下，有關銅或沸石對於空氣中生物氣膠殺菌或去除之研究卻非常少，因此本研究嘗試以氧化亞銅( $Cu_2O$ )結合沸石(zeolite)擔體系統，開發出一種新型觸媒，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。而本研究使用之沸石為 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)。

## 2. 材料與方法

### 2.1 可調流量式採樣系統

本研究分別以玻璃管(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氧化亞銅/沸石( $Cu_2O/zeolite$ )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	觸媒管柱(L=40 cm、直徑=5 cm)	4	安德森六階採樣器
2	採樣槽(1838 cm <sup>3</sup> )	5	採樣器 pump
3	L 型彎管	6	靜音型真空 pump

圖 1 觸媒反應管柱及採樣系統

## 2.2 混成觸媒製備程序

製備方式分為五大步驟，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，再將鹼性溶液 0.75 N 氫氧化鈉(NaOH)慢慢滴入混合均勻之粉末中，直至形成膠體麵糰。

(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，而本研究選用氫氧化鈉作為膠化劑。

(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。

本研究測試混成觸媒為氧化亞銅/沸石( $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$ )，其中 zeolite 以固定二氧化矽/矽鋁酸鈉之重量百分比為 65/35 wt%，而混成觸媒之比例、命名及成分分析如表 1 所示。混成觸媒之混合比例為 1/99 表示以 99 wt % 的沸石和 1 wt % 的氧化亞銅所組成，並以 CZ01 命名之，其餘依此類推。並測得比表面積及以計算之比表面積呈現相對誤差。

表 1 觸媒比表面積及含  $\text{Cu}_2\text{O}$  之成分分析

觸媒名稱	觸媒成分	測得 BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	計算 BET <sup>(1)</sup> ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	BET 相對誤差 (%)	$\text{Cu}_2\text{O}$ <sup>(2)</sup> (%)
$\text{Cu}_2\text{O}$	—	3	—	—	—
zeolite	—	207	—	—	0
CZ01	1% $\text{Cu}_2\text{O}$ , 99% zeolite	227	205	11	1
CZ03	3% $\text{Cu}_2\text{O}$ , 97% zeolite	218	201	8	4
CZ05	5% $\text{Cu}_2\text{O}$ , 95% zeolite	167	197	15	6
CZ30	30% $\text{Cu}_2\text{O}$ , 70% zeolite	144	146	1	30
CZ50	50% $\text{Cu}_2\text{O}$ , 50% zeolite	98	105	7	51

(1)計算 BET 是依測得  $\text{Cu}_2\text{O}$  及 Y-zeolite 值之比例計算得之。

(2) $\text{Cu}_2\text{O}$  之成分分析以王水消化法分析含銅量並以理論結合氧量計算得之。

### 2.3 採樣方法

採樣方法參考行政院環保署(2009)公告之 NIEA E301.11C 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 15 分鐘。滅菌後，置於  $48 \pm 2^\circ\text{C}$  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  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )、細菌抑制劑氯黴素(Chloramphenicol, 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )，可分別抑制真菌與細菌生長，以減少污染。

結果處理：



- (1) 二重覆的兩個培養皿真菌菌落數相加計算其平均值。惟使用單(多)階多孔洞採樣器 (Single or 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。
- (2) 平均值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真菌數的濃度，單位以 CFU/m<sup>3</sup> (colony forming unit/cubic meter) 表示。

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

檢測紀錄須註明採樣時間、培養起始及終了時間、培養基名稱、培養溫度等。

### 3. 結果與討論

#### 3.1 氧化亞銅/沸石(Cu<sub>2</sub>O/zeolite)混成觸媒之物理特性分析

##### 3.1.1 比表面積分析(BET)

表 1 為不同混成觸媒之比表面積值，由結果可看出當只有商用 Cu<sub>2</sub>O 時，其比表面積只有 3 m<sup>2</sup>/g，而自製 Y-zeolite 本身含有 207 m<sup>2</sup>/g 之高比表面積，當 Cu<sub>2</sub>O 與 Y-zeolite 混合，Y-zeolite 之高比表面積可彌補 Cu<sub>2</sub>O 之比表面積不足，Cu<sub>2</sub>O/zeolite 觸媒均有提升 38 倍以上，可使觸媒接觸到較多之污染物，進而提升除菌效率；而根據 Cu<sub>2</sub>O 與 Y-zeolite 所測得之比表面積依比例計算其 BET，發現測得 BET 與計算 BET 非常接近，且誤差值(error)皆在 20% 以內，由此可知，Cu<sub>2</sub>O/zeolite 觸媒為物理性結合，未產生化學反應，因此比表面積與理論值並無多大改變。另一方面，從測得 BET 可發現，隨著 Cu<sub>2</sub>O 添加量增加，BET 值有減少的趨勢，從 CZ01 之 227 m<sup>2</sup>/g，下降至 CZ50 之 98 m<sup>2</sup>/g，推斷可能有部分團聚現象產生，導致 BET 減少。

##### 3.1.2 掃描式電子顯微鏡(SEM)

本研究自製 Y-zeolite，並於過程中添加商用 Cu<sub>2</sub>O，將製備完成之觸媒以 SEM 分析，觀察其表面顯微組織。圖 2 為商用 Cu<sub>2</sub>O 及自製 Y-zeolite 之 SEM 圖，商用 Cu<sub>2</sub>O 及自製 Y-zeolite 放大倍率皆為 50,000 倍，不管是 Cu<sub>2</sub>O 或 Y-zeolite，其表面均為粗糙，且 Y-zeolite 亦具有多孔隙，並以顆粒堆疊方式凝聚成團。



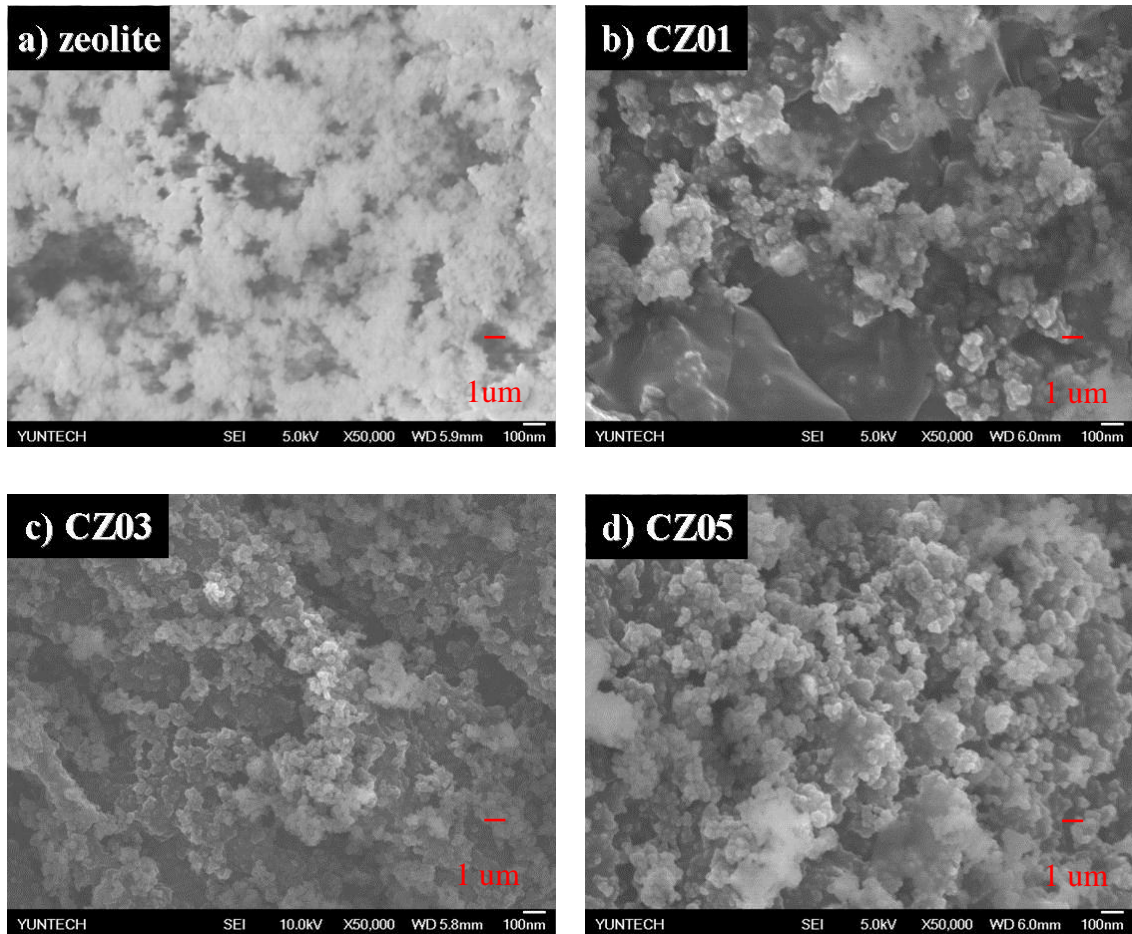


圖 2 不同觸媒之 SEM 圖 (50,000 倍)

### 3.1.3 X 光繞射分析儀(XRD)

圖 3 為利用高比例觸媒 CZ50，於不同鍛燒溫度(105°C、200°C、450°C)之 XRD 圖，最下方三個分別為 Cu<sub>2</sub>O、CuO 及 Y-zeolite 之標準圖譜，可看出 Cu<sub>2</sub>O 在  $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$  之掃描範圍內，與資料庫中 JCPDS(Joint Committee on the Powder Diffraction Standards)檔案比對其繞射峰位置，分別對應為(110)、(111)、(200)、(220)及(311)五個面。由圖譜中看出 Cu<sub>2</sub>O 主要繞射峰出現於  $2\theta = 35.6 - 36.5$  及  $42.4$ ；此外，於  $2\theta = 20 - 30$ ，經比對標準圖譜，可得知其為 Y 型沸石之主峰。經高溫 450°C 鍛燒之 Cu<sub>2</sub>O/zeolite 觸媒，於  $2\theta = 35.6 - 38.7$ ，出現 CuO 之主要繞射峰，推測觸媒於鍛燒過程中，與空氣中氧氣反應，造成部份 Cu<sub>2</sub>O 氧化成 CuO，因此在避免 Cu<sub>2</sub>O 氧化成 CuO 及節省能源之原則下，本研究製備之 Cu<sub>2</sub>O/zeolite 觸媒選擇以溫度 105°C 進行製備。



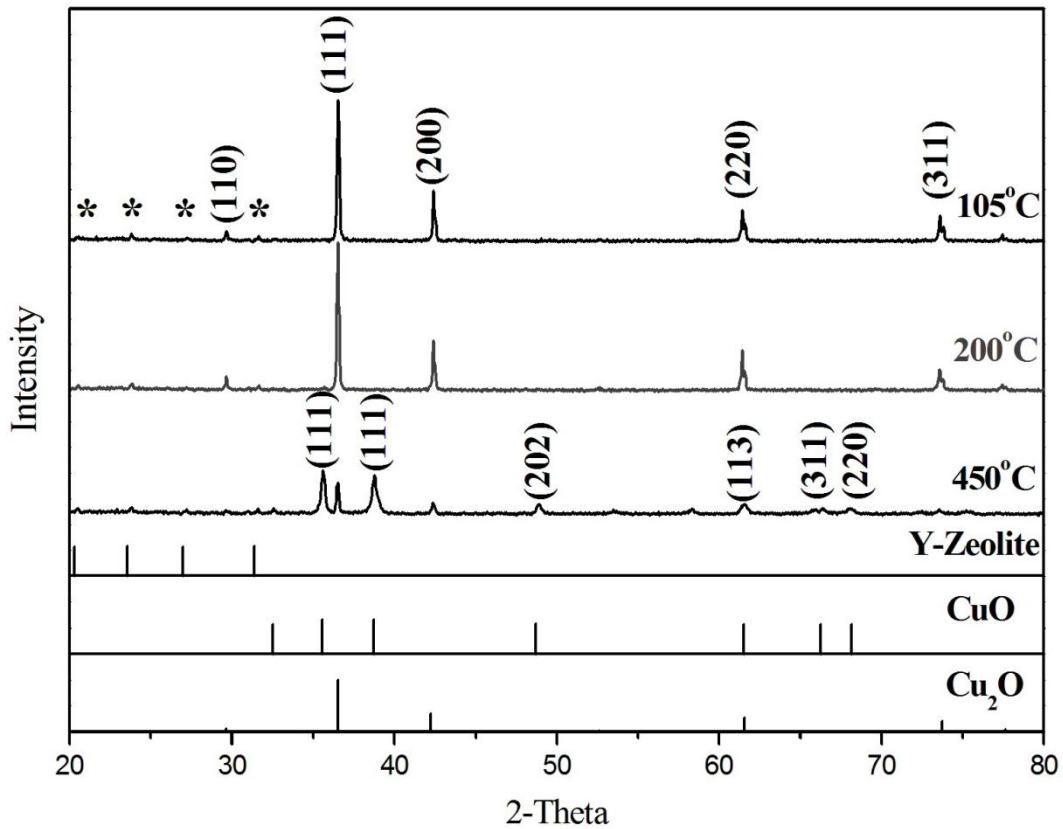


圖 3 CZ50 於不同鍛燒溫度之 XRD 圖

### 3.2 可調流量式採樣系統

#### 3.2.1 系統停留時間及壓差

此系統填充觸媒之圓形管，其長度為 40 cm、直徑  $\phi$  為 5 cm，並控制於三種不同流量下(28.3、40、60 lpm)來探討其觸媒之除菌率變化情形，觸媒添加量為 20、30、60、90 g，而於不同流量及觸媒添加量下之停留時間，如表 2。表 2 為填充了不同量的觸媒時的壓差及停留時間，觸媒填充量越多，壓差越大，所停留的時間也越長，而採用的流速越大，所造成的壓差也越大，時間也越短，而在 28.3、40、60 lpm 時，對於整個空間的置換率為 7.36、5.20、3.47 天，空間置換率計算如公式(1)所示，其中室內空間之計算是以長寬各為 10 公尺，高度為 3 公尺之室內空間計算得之。

$$\text{空間置換率} = \frac{\text{室內空間}(300 \text{ m}^3)}{\text{抽氣流量}} \dots\dots\dots(1)$$





表 2 壓差及反應停留時間

觸媒添加量 (g)	28.3 lpm		40 lpm		60 lpm	
	壓差 (mmH <sub>2</sub> O)	停留時間 (sec)	壓差 (mmH <sub>2</sub> O)	停留時間 (sec)	壓差 (mmH <sub>2</sub> O)	停留時間 (sec)
20	145	1.61	207	1.15	300	0.77
30	227	1.62	321	1.16	496	0.77
60	403	1.64	569	1.17	848	0.78
90	579	1.65	817	1.18	1200	0.78

註：填充密度=1180 kg/m<sup>3</sup>

### 3.2.2 系統孔隙率

表 3 為觸媒管柱填充之孔隙率，本研究將管柱內填充了不同量的觸媒，在不同填充量下有著不同的床高以及不同的觸媒實際體積，計算系統的孔隙率可發現其孔隙率介於 70~72% 之間，不管填充的觸媒量有多少克，對於系統具有一定的穩定度。

表 3 觸媒管柱填充之孔隙率

觸媒量(g)	5	10	20	30	60	90
床高(cm)	7.5	15	30	45	90	135
觸媒實際體積 V (cm <sup>3</sup> )	4.2	8.5	17	25	51	76
管柱體積(依不同床高) V <sub>0</sub> (cm <sup>3</sup> )	15	29	59	88	180	260
孔隙率(%)	72.0	70.7	71.2	71.6	71.7	70.8

孔隙率=(1-V/V<sub>0</sub>) x 100%



### 3.3 除菌實驗

表 4 之結果顯示當純沸石(CZ00)90 g 過濾處理 1 小時後之細菌、真菌除菌率僅為 66%、63%，經過濾時間為 12 小時後，細菌、真菌除菌率亦僅為 72%、60%，且重複三次實驗之過濾效率之標準差均有 1-7%之誤差，顯示過濾的去除效果無法提升至 90%以上，誤差百分比有變大之趨勢，無法穩定除菌。

表 4 純沸石(CZ00)過濾除菌效果

時間(hr)	細菌		真菌	
	過濾效率平均值(%)	標準差(%)	過濾效率平均值(%)	標準差(%)
1	66	2	63	2
3	71	4	77	3
6	67	1	50	3
9	66	7	53	4
12	72	6	60	5

註：重複三次實驗

圖 4、5 為利用不同比例觸媒於流量 28.3 lpm 進行除菌實驗之細菌、真菌氣膠除菌率圖，由表 4 及圖 4、5 可得知，於採樣流量為 28.3 lpm，CZ00(純沸石)觸媒之細菌、真菌氣膠除菌率如表 4 所示，CZ00 經過 12 小時之去除細菌、真菌效率為 72%、60%，經添加 90 g 之  $\text{Cu}_2\text{O}$  觸媒後之 CZ01、CZ03、CZ05 觸媒，其細菌氣膠除菌率，提升至 90%、91%、94%，而添加 90 g 之 CZ03、CZ05 觸媒真菌氣膠除菌率則提升至 96%、94%，因此添加  $\text{Cu}_2\text{O}$  可提升其觸媒除菌效果。



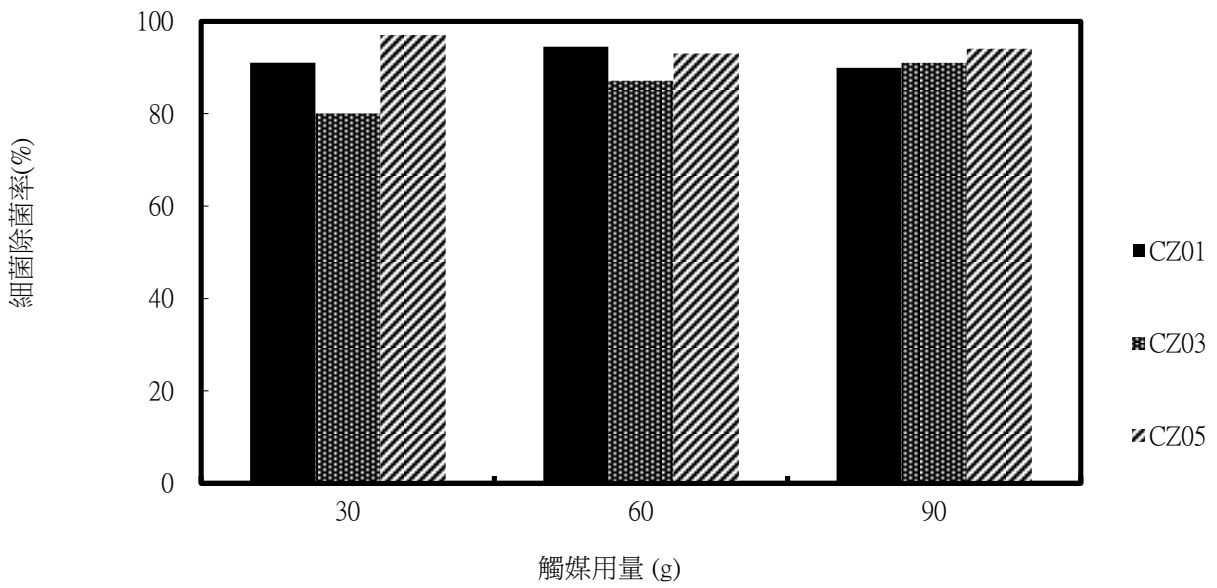


圖 4 不同比例觸媒系統之細菌除菌率比較  
(流量=28.3 lpm、T=25°C、RH=68%、起始濃度範圍= 548-736 CFU/m<sup>3</sup>)

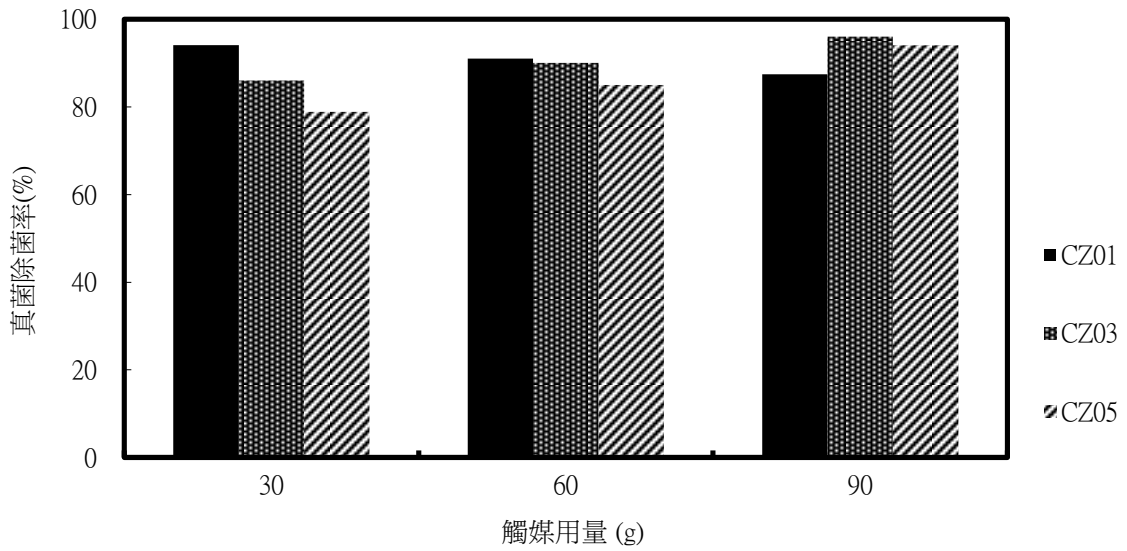


圖 5 不同比例觸媒系統之真菌除菌率比較  
(流量=28.3 lpm、T=25°C、RH=68%、起始濃度範圍= 2438-4671 CFU/m<sup>3</sup>)



圖 6 至圖 7 為不同流量下之細菌、真菌除菌率圖，由圖中可得知，三種不同比例觸媒(CZ01、CZ03、CZ05)之細菌、真菌氣膠除菌率，在不同觸媒量的情況下，5、10、20、30、60、90 g 的觸媒，以 CZ01 為例，對真菌的除菌率為 54、66、70、71、77、84%，觸媒量提升使得除菌效果增加，推測是由於觸媒量增加使得空氣中的真菌與觸媒的接觸時間長，提升了除菌效率，於採樣流量為 40 lpm，CZ01、CZ03、CZ05 三種觸媒之細菌氣膠除菌率，依序為 84%、89%、88%，而真菌氣膠除菌率則為 81%、86%、76%，其結果發現 CZ03 的成效最佳，但使用 CZ01 觸媒，即可與 CZ03 觸媒達到相近之除菌效能。

圖 8、9 得知，於採樣流量為 60 lpm，CZ01、CZ03、CZ05 三種觸媒之細菌氣膠除菌率，依序為 74%、81%、88%，而真菌氣膠除菌率則為 72%、71%、93%。因此，可得知本研究使用 CZ01 觸媒，於添加量 90 g 時，即可與 CZ05 觸媒達到相近之除菌效能，可減少原料成本之花費。實驗所採集之背景值，其細菌、真菌氣膠濃度，大部份皆超過國內室內空氣品質建議值 500 CFU/m<sup>3</sup> (第一類)與 1000 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觸媒採樣後，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 590CFU/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 500 CFU/m<sup>3</sup>(第一類)、真菌氣膠濃度 1000 CFU/m<sup>3</sup>，與，顯示本研究成功製備出具有良好除菌效能之觸媒。

圖 10 及 11 為使用 CZ01、CZ03、CZ05 三種觸媒濾材採樣之細菌、真菌除菌率圖，耐久性實驗測試時間為 24 hr，每 4 hr 採樣一次、採樣時間為 5 min、馬達流量為 40 lpm、觸媒添加量為 90 g，由圖中可得知，經過 24 hr 耐久性實驗測試後，觸媒濾材均仍維持一定之除菌效能，並無衰減老化之情形，CZ01 於 4 hr 之細菌、真菌除菌率為 67%、62%，而 24 hr 之細菌、真菌除菌率為 65%、78%，其細菌、真菌除菌率範圍為 65-91%、62-83%；CZ03 於 4 hr 之細菌、真菌除菌率為 54%、84%，而 24 hr 之細菌、真菌除菌率為 87%、91%，其細菌、真菌除菌率範圍為 54-91%、67-92%；CZ05 於 4 hr 之細菌、真菌除菌率為 84%、69%，而 24 hr 之細菌、真菌除菌率為 78%、66%，其除菌率範圍為 78-88%、66-82%。此外，亦發現使用 CZ01 即能達到與 CZ05 觸媒濾材相近之除菌率，可節省原料之成本。而經由 24 hr 耐久性測試後，觸媒濾材耐久性相當良好。



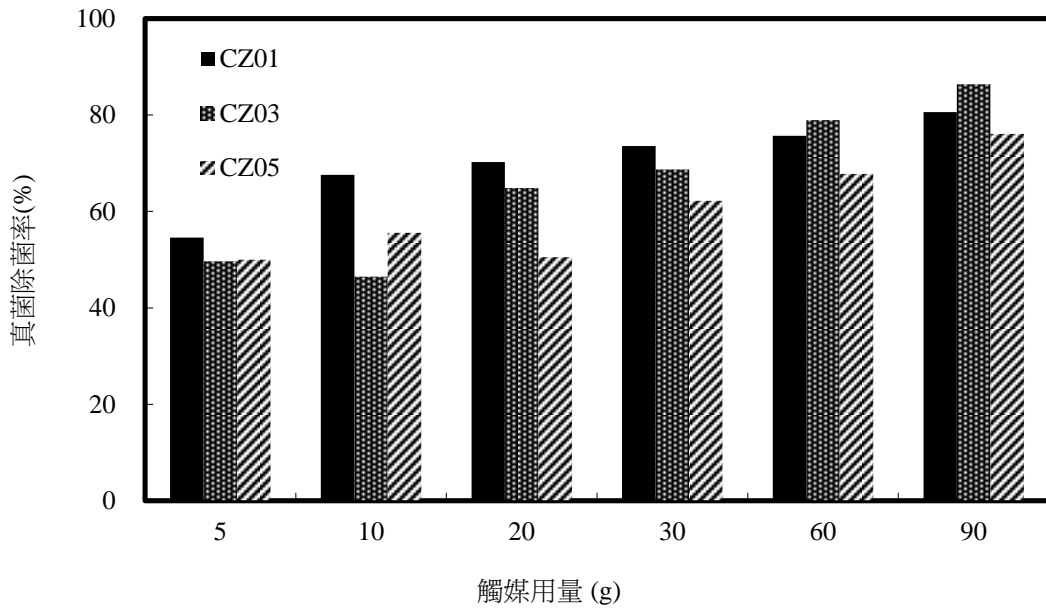


圖 6 不同觸媒用量之觸媒反應系統於流量 40 lpm 下對細菌除菌之比較  
(T=26°C、RH=61%、起始濃度範圍= 495-1279 CFU/m<sup>3</sup>)

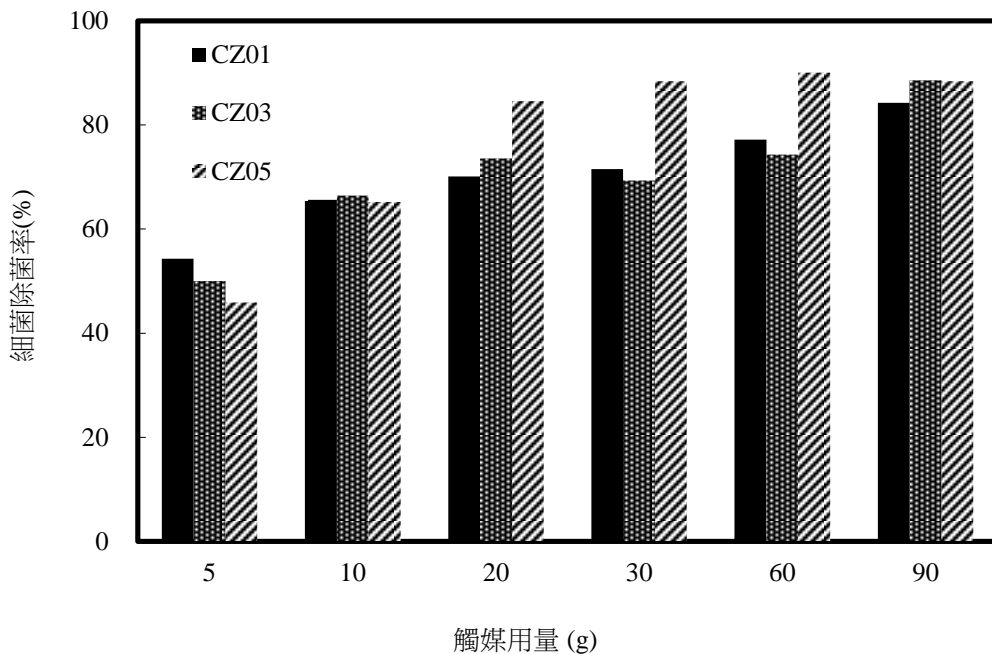


圖 7 不同觸媒用量之觸媒反應系統於流量 40 lpm 下對真菌除菌之比較  
(T=26°C、RH=61%、起始濃度範圍= 1307-3117 CFU/m<sup>3</sup>)



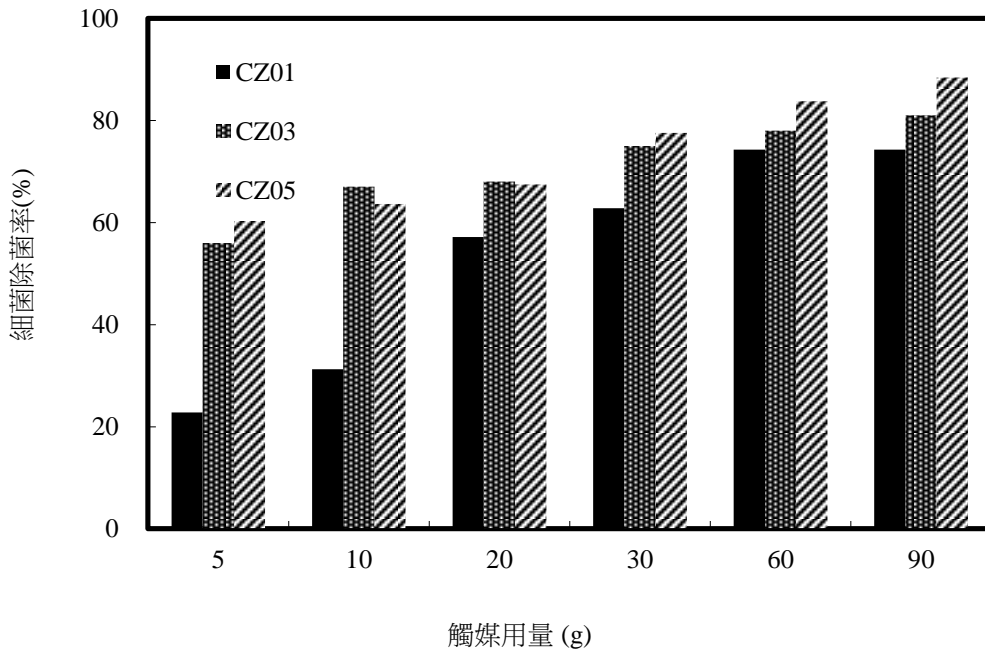


圖 8 不同觸媒用量之觸媒反應系統於流量 60 lpm 下對細菌除菌之比較  
(T=25°C、RH=66%、起始濃度範圍= 247-912 CFU/m<sup>3</sup>)

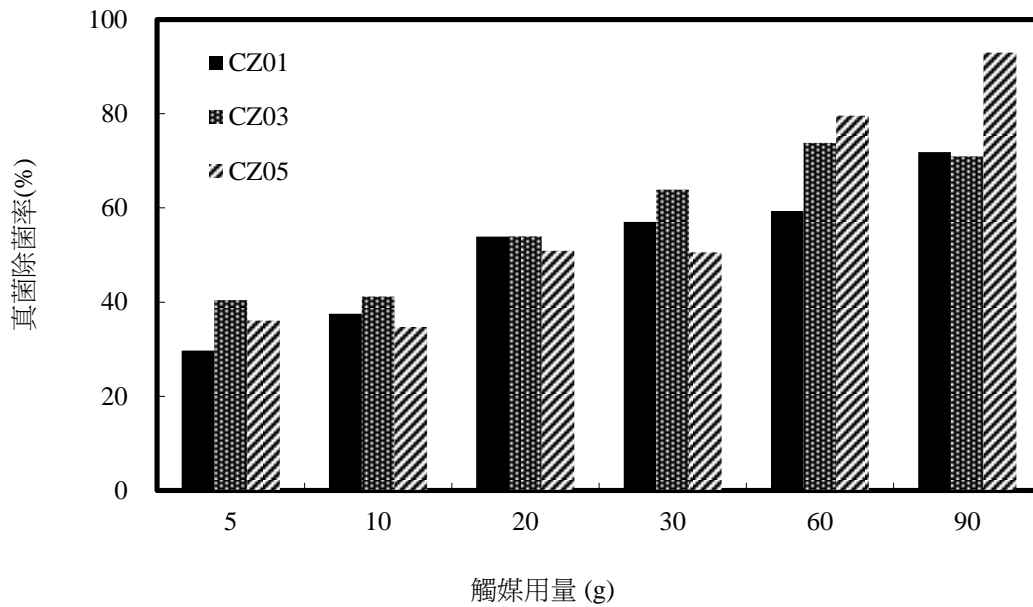


圖 9 不同觸媒用量之觸媒反應系統於流量 60 lpm 下對真菌除菌之比較  
(T=25°C、RH=66%、起始濃度範圍= 905-2000 CFU/m<sup>3</sup>)



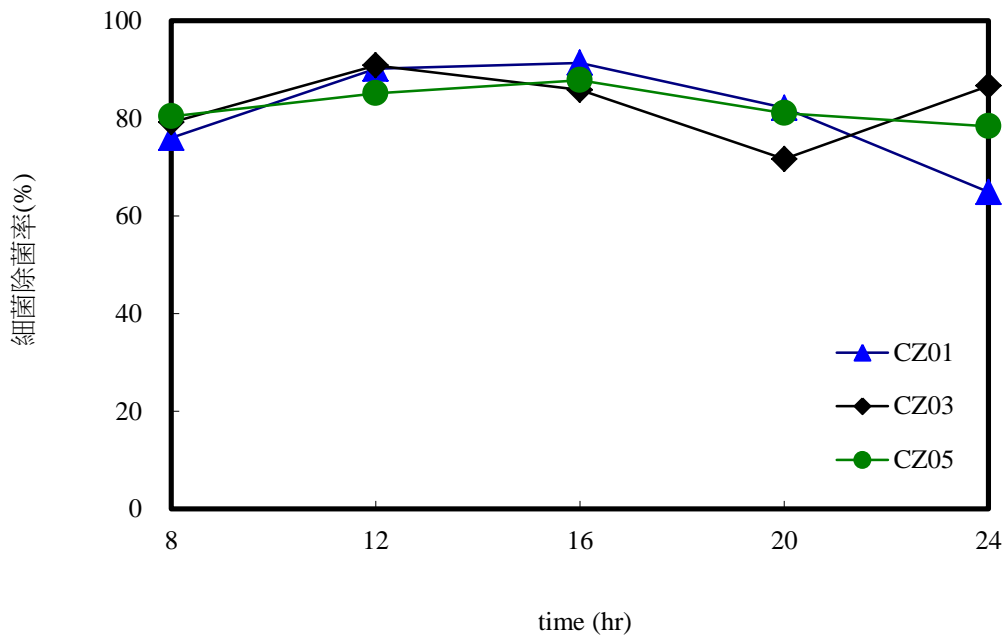


圖 10 不同比例之觸媒於長時間之細菌除菌結果  
(觸媒添加量=90 g、流量=40 lpm、T=27°C、RH=64%、起始濃度範圍=424-574 CFU/m<sup>3</sup>)

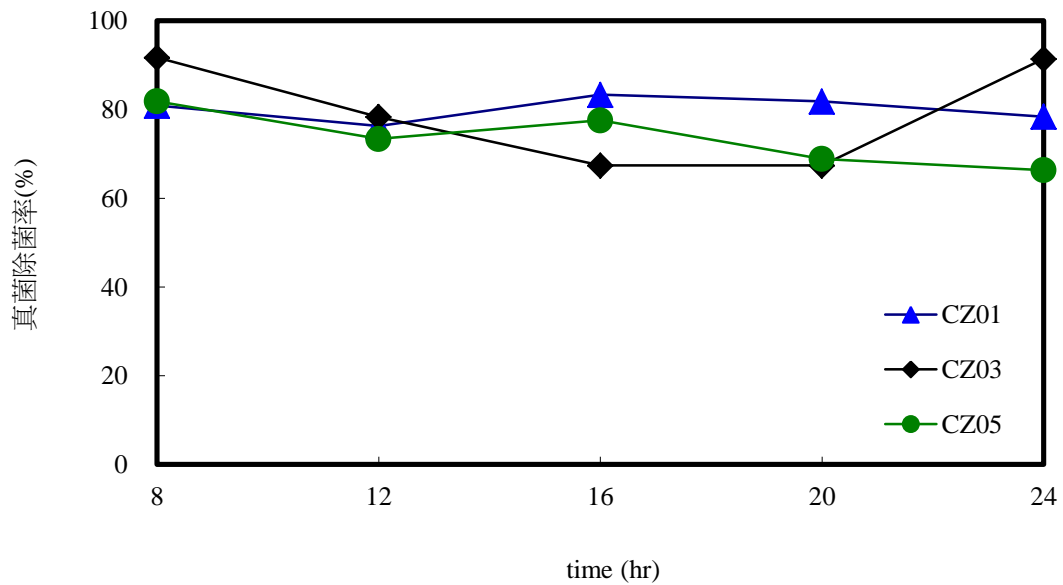


圖 11 不同比例之觸媒於長時間之真菌除菌結果  
(觸媒添加量=90 g、流量=40 lpm、T=27°C、RH=64%、起始濃度範圍=1145-3053CFU/m<sup>3</sup>)



#### 4. 結論

本研究利用以自製不同比例之  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  觸媒濾材進行室內生物氣膠之除菌效能研究，得到以下幾項結論：

1. 由 X 光繞射光譜儀之分析結果得知，當燒結溫度達  $450^\circ\text{C}$  時， $\text{Cu}_2\text{O}$  將因為氧化作用轉變成  $\text{CuO}$ ，故  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  混成觸媒之製備需以低於  $200^\circ\text{C}$  下製備，惟本研究以  $105^\circ\text{C}$  為最適化條件，除確保  $\text{Cu}_2\text{O}$  不會氧化成  $\text{CuO}$  之型態，更因低溫製備而具省能優點。
2. 由電子顯微鏡之結果得知，不同比例之  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  觸媒，表面均為多孔隙之組織且分佈均勻，而比表面積之結果顯示  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$  觸媒隨著  $\text{Cu}_2\text{O}$  之增加而附著於沸石有效孔隙位置越多，比表面積有減少之趨勢。
3. 本研究自製反應管柱之孔隙率為 70%，具有 1.4 至  $11.6 \times 10^{-2}$  大氣壓之低壓力損失以及 0.77 至 1.65 秒之低停留時間之特色。當純沸石 90 g 過濾處理 1 小時後之細菌、真菌除菌率僅為 66%、63%，但經停留時間數秒之 3 wt%  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{zeolite}$ (CZ03)混成觸媒 90 g 除菌處理後，細菌、真菌除菌率高達為 94%、96%。
4. 當連續 24 小時耐久性實驗後，細菌、真菌之除菌率仍有高達約 80%，顯示  $\text{Cu}_2\text{O}$  具有抑制細菌生長之功能，混成觸媒床不易成為細菌孳生之環境，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。

#### 5. 誌謝

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)部份經費補助，特此感謝。

#### 參考文獻

- [1] 王洪水、喬學亮、王小健、陳建國、熊建裕、曹元成，「載銀沸石抗菌劑的製備及其抗菌性能」，材料科學與工程學報，第 24 卷，民國 95 年，45-61 頁。
- [2] 王玉純，「臭氧對生物氣膠殺菌效率之評估」，國立台灣大學環境衛生研究所，碩士論文，民國 90 年。
- [3] 林冠宇，「電化學沈積之氧化亞銅其結晶結構及光電化學性質」，國立成功大學化學工程學系，碩士論文，民國 94 年。
- [4] 黃玄昇，「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」，國立中山大學化學研究所，碩士論文，民國 92 年。
- [5] 張祐滋，「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」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所，碩士論文，民國 99 年。
- [6] 陳璽翔，「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」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所，碩士論文，民國 95 年。
- [7] Bernasconi, C., Rodolfi, M., Picco, A. M., Grisoli, P., Dacarro, C., & Rembges, D., "Pyrogenic activity of air to characterize bioaerosol exposure in public buildings," *A pilot study. Letters in Applied Microbiology*, vol. 50, 2010, pp.571-577.





- [8] Botterel, F., Gross, K., Ibrahim-Granet, O., Khoufache, K., Escabasse, V., Coste, A., Cordonnier, C., Escudier, E., Bretagne, S., "Phagocytosis of *Aspergillus fumigatus* conidia by primary nasal epithelial cells in vitro," *BMC Microbiology*, vol. 8, 2008, pp.97.
- [9] Chen, J. Y., Zhou, P. J., Li, J. L., and Wang, Y., "Studies on the photocatalytic performance of cuprous oxide/chitosan nanocomposites activated by visible light," *Carbohydrate Polymers*, vol. 72, 2008, pp.128-132.
- [10] Hasegawa, N., Yamasaki, S., and Horiguchi, Y., "A study of bacterial culturability during bioaerosol challenge testing in a test chamber," *Journal of Aerosol Science*, vol. 42, , 2011, pp.397-407.
- [11] Millner, P. D., Olenchock, S. A., and Epstein, E., "Bioaerosols associated with composting facilities," *Compost Science and Utilization*, vol. 2, 1994, pp.8-57.
- [12] Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri J. B., and Ramirez J. T., "The bactericidal effect of silver nanoparticles," *Nanotechnology*, vol. 16, 2005, pp.2346-2353.
- [13] Ren, G., Hu, D., Cheng, E., Vargas-Reus, M., Reip, P., and Allaker, R., "Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications," *International Journal of Antimicrobial Agents*, vol. 33, 2009, pp.587-590.
- [14] Shi, Z., Neoh, K. G., Zhong, S. P., Yung, L. Y. L., Kang, E. T., and Wang, W., "In vitro antibacterial and cytotoxicity assay of multilayered polyelectrolyte-functionalized stainless steel," *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, vol. 76, 2006, pp.826-834.
- [15] Son, W. K., Youk, J. H., Lee, T. S., and Park, W. H., "Preparation of antimicrobial ultrafine cellulose acetate fibers with silver nanoparticles," *Macromolecular Rapid Communications*, vol. 25, 2004, pp.1632-1637.
- [16] Taha, M., Drew, G. H., Longhurst, P. J., Smith, R., and Pollard, S., "Bioaerosol releases from compost facilities: evaluating passive and active source terms at a green waste facility for improved risk assessments," *Atmospheric Environment*, vol. 40, 2006, pp.1159-1169.
- [17] Wen, Z., Wang, Z., Yang, Z., Luo, W., Li, Z., and Zou, Z., "Modulation of dendrite growth of cuprous oxide by electrodeposition," *Journal of Crystal Growth*, vol. 312, 2010, pp.3085-3090.
- [18] Wei, M., Lun, N., Ma, X., and Wen, S., "A simple solvothermal reduction route to copper and cuprous oxide," *Materials Letters*, vol. 61, 2007, pp.2147-2150.
- [19] Yang, H., Ouyang, J., Tang, A., Xiao, Y., Li, X., Dong, X., and Yu, Y., "Electrochemical synthesis and photocatalytic property of cuprous oxide nanoparticles," *Materials Research Bulletin*, vol. 41, 2006, pp.1310-1318.
- [20] Zhang, X., Wang, G., Wu, H., Zhang, D., Zhang, X., Li, P., and Wu, H., "Synthesis and photocatalytic characterization of porous cuprous oxide octahedra," *Materials Letters*, vol. 62, 2008, pp.4363-4365.

