

**Session I-1**  
**(10:50~12:00 , B215)**



## 低能耗合成富鋁紅柱石之原料粉末粒徑選擇 Energy reduction for mullite synthesis in the $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Cristobalite systems by selecting appropriate particle size of starting powders

顏富士<sup>1\*</sup> 蔡永偉<sup>2</sup> 游佩青<sup>3</sup> 黃啟原<sup>1</sup>  
Fu Su Yen,<sup>1</sup> Yung-Wei Tsai<sup>2</sup>, Yu Pei Ching<sup>2</sup>, Chi-Yuan Huang<sup>1</sup>

1 國立成功大學資源工程學系系 教授

Professor, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University

2,3 國立成功大學資源工程學系研究生<sup>2</sup>及研究助理<sup>3</sup>

Graduate student<sup>2</sup> and Research assistant<sup>3</sup> Department of Resources Engineering,

National Cheng Kung University

\* Corresponding author: [yfs42041@mail.ncku.edu.tw](mailto:yfs42041@mail.ncku.edu.tw)

### 摘要

傳統上合成富鋁紅柱石粉末的方法是將含Al-Si成份之礦物加熱至 1500-1700°C 的高溫反應而得，唯所得粉末之化學成份及相純度較難控制。以高純度Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及SiO<sub>2</sub> 粉末作為原料可直接製得化學成份相純度較易控制的粉末。只是合成溫度更高更耗時。解決耗能耗時問題可對原料種類與其粒徑作適當選擇。本研究目的旨在瞭解針對低能耗的製程方法，如何在原料粉末粒徑作適當選擇。

研究採用次微米級 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及Cristobalite (SiO<sub>2</sub>) 粉末為原料。二者平均粒徑各為 200、300、及 400 nm。依 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub> 成份比例混合，可致兩成份完全接觸。再於擇定之溫度熱處理製作樣品。藉DTA、XRD及動力學計算技術，分析兩種原料縮減粒徑所產生之節能現象各有何特徵，從而建立一評估縮減原料粒徑之基本作業原則。細粒料無疑問的是選擇的答案。兩原料中又以SiO<sub>2</sub> 粉末居優勢。因Cristobalite的非晶質化為生成富鋁紅柱石的控制因素。 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的變細雖可使Cristobalite 的非晶質化提前發生，而使富鋁紅柱石可於更低溫度開始生成，但完成反應所需時間及溫度仍受制於Cristobalite的細化。

**關鍵詞：**富鋁紅柱石、氧化鋁、白矽石、固態反應

## 壹、前言

富鋁紅柱石(Mullite)化學成分為 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 到 $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 間的固溶體(solid solution)[1]，是 $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ 系統中在常壓高溫下唯一穩定的化合物，因此可作為常壓下最常見的高溫材料，一般常以 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 視之。但自然界中以礦物型態存在者相當稀少。工業所使用之富鋁紅柱石幾乎皆由人工合成而得。

傳統上固態反應製程合成富鋁紅柱石粉末的方法是將Al-Si 礦物如高嶺土混入 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 加熱反應而得[2]。然而要使系統完全反應往往需要 $1500\text{-}1700^\circ\text{C}$ 的高溫，加上天然的鋁矽酸鹽礦物常含有雜質，因此，此法不易得到高相純度的富鋁紅柱石粉末。因此為提高合成粉末的純度，採用高純度 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及 $\text{SiO}_2$ 原料以溶膠-凝膠(sol-gel)法[3]、沈澱(Precipitation)法[4]、水解(Hydrolysis)法[5]等濕式化學法將二成份原料混合，載透過熱處理合成高純度的富鋁紅柱石粉末。此類方法雖可得到高純度的粉末，但其起始原料及製程成本昂貴且產量有限為其最大缺點。另也有直接以高純度 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及 $\text{SiO}_2$ 粉末作為原料的固態反應製程研究[6-7]，以此法合成富鋁紅柱石，原料的選擇與粒徑為一大重點[8-11]，目的皆在得到製備高相純度富鋁紅柱石且低能耗的製程方法。

減少能耗降低固態合成溫度的基本條件一般均採用細粒粉末為原料。只是細粒原料粉末的取得除成本外，市場也未必有來源。另外以目前之合成工作言，到底 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及 $\text{SiO}_2$ 粉末那一原料粉末細化確實是有效果。實際上對此問題的觀察可謂缺乏。因此本研究採用微米級 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 及Cristobalite( $\text{SiO}_2$ )粉末為原料，設計兩原料粒徑比例於混合後可為完全接觸。也即粗粒原料粒體可為細粒粒體以單層方試完全批覆。使 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和Cristobalite二成分在成富鋁紅柱石過程，創造一個熱力學及動力學條件處處相等的反應系統，期望系統同步發生反應，以獲得高品質粉末。實驗設計以平均粒徑約200、300、400 nm之 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 及Cristobalite粉末為原料，兩兩粒徑依 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 成份比例混合，再於擇定溫度熱處理製作樣品。研究重點主要觀察：

- (1) 縮減原料粒徑產生之節能現象各有何特徵，從而評估選擇細粒原料之依據
- (2) 建立一評估縮減原料粒徑之基本作業流程



## 貳、實驗方法

### (1) 設計可完全接觸的兩種粉末粒徑

由於合成 1 Mol (g) 的富鋁紅柱石 ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) 需前者305.94g及後者120.18g。二者之體積比為76.89cc及51.08cc。以粒徑為200、300、及400 nm計算，粒徑比由2/4 (1/2) 至4/2 (2/1)。兩種粉末的混合可完全接觸 (表1)。

Table 1 Number of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  needed for Mullite stoichiometry and contact with  $\text{SiO}_2$  are varied with  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  size ratio.

| $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$<br>size ratio                                                      | 1/7       | 1/5      | 1/3      | 1        | 3        | 5          | 7          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|
| NO. of $\text{Al}_2\text{O}_3$<br>needed for Mullite                                                    | 229       | 83       | 18       | 2        | 41       | 187.5      | 494        |
| NO. of $\text{Al}_2\text{O}_3$<br>Surround $\text{SiO}_2$<br>with a single layer                        | 192       | 108      | 48       | 12       | 48       | 108        | 192        |
| <b>NO. of <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math><br/>(can't contact<br/>with <math>\text{SiO}_2</math>)</b> | <b>37</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>177</b> | <b>302</b> |

Table 2 The codes of sample and the ratios of particle numbers between  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  / Cristobalite are given in parentheses.

| $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$ | 200                      | 300        | 400                         |
|-------------------------------------------|--------------------------|------------|-----------------------------|
| Cristobalite(nm)                          |                          |            |                             |
| 200                                       | A2S2(0.66)               | --         | --                          |
| 300                                       |                          | --         | --                          |
| 400                                       | A2S3(3.02)<br>A2S4(7.85) | A3S4(3.03) | A4S4(1.50) → <b>Group A</b> |
|                                           | ↓<br><b>Group B</b>      |            |                             |

### (2) 原料粉末取得

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末 (住友化學) 採用球磨方式解開凝聚體，樣品 $D_{50}$ 粒徑分別為227、312、394 nm。Cristobalite原料粉末則是將Quartz經20 °C/min升溫速率升至1480 °C持溫2小時而得(Quartz<5wt%)，並利用球磨縮減Cristobalite粉末粒徑，再以離心方式(Jouan ISO9001)取得 $D_{50}$ 粒徑分別為194、288、394 nm之樣品。兩種原料之結晶相XRD圖如

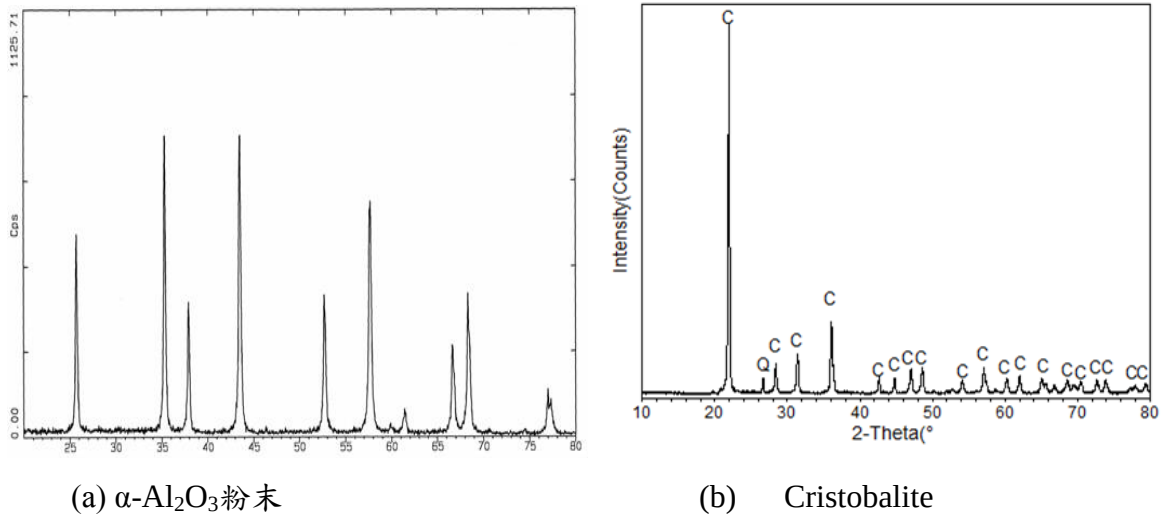


Fig. 1 The XRD patterns of (a)  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and (b) Cristobalite powders. (Q=quartz)

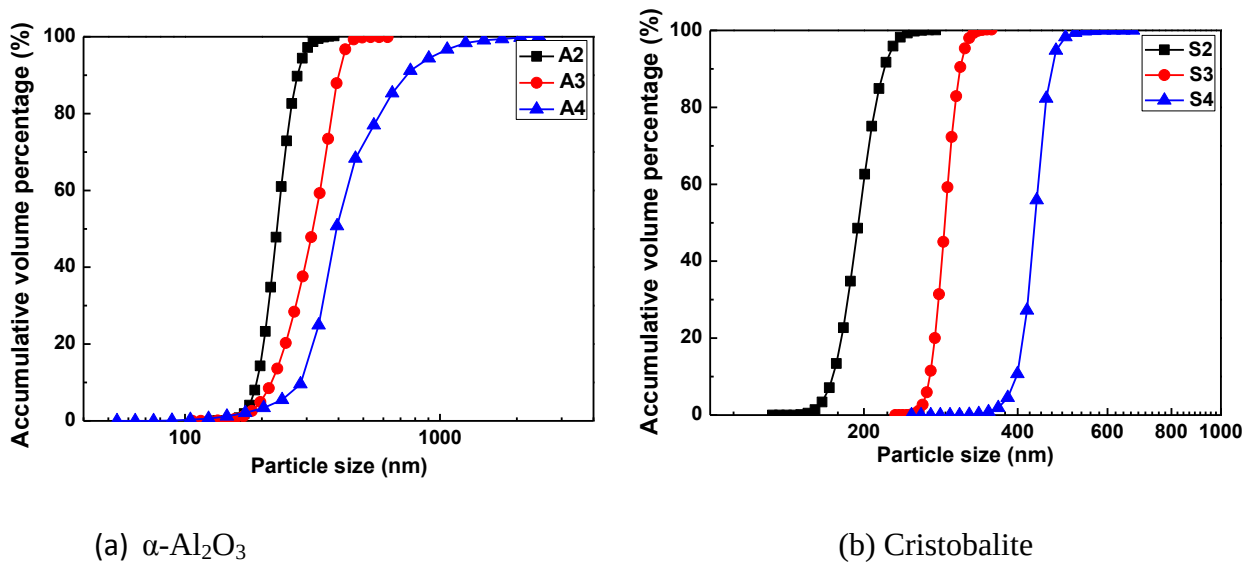


Fig. 2 Accumulative particle size distribution of the raw materials.

(a)  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (b) Cristobalite

Fig. 1(a) 所示，粒徑分佈圖如Fig. 1 (b) 所示。兩原料各粒徑粉末皆以去離子水，並加入0.1 wt%聚丙烯酸銨 (ammonium polyacrylate) 分散劑配製成固含量30 wt%之漿料。將三種粒徑之Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及SiO<sub>2</sub>粉各對應組合成Group A 及B兩組 (表2)。

### (3) 熱處理

煅燒樣品為0.2 g 樣品粉末以125 MPa 的壓力經單軸成型成圓餅狀試片，第一種熱處理方式為：作熱差(DTA)分析：以升溫速率為10°C/min 加熱到1600°C (Fig. 3)。第二種

方式為以升溫速率為 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  加熱到 $1400$ 與 $1600^{\circ}\text{C}$ 間，每 $25^{\circ}\text{C}$ 為一個溫度區間。樣

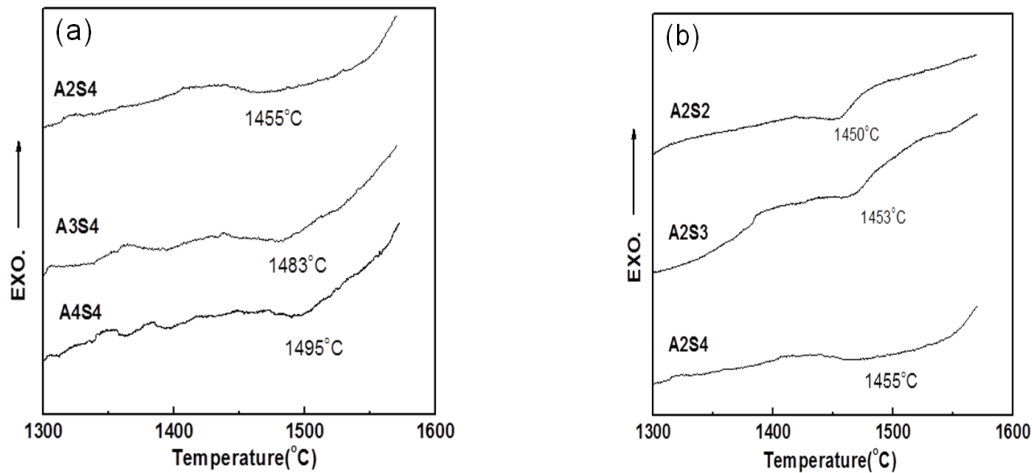


Fig 3 DTA profiles of Group A and Group B displaying the amorphization temperatures of cristobalite were lowered as its particle sizes reduced.

品冷取出，以 XRD 技術作熱反應後之生成礦物相分析 (Fig. 4)。其中為作 Arrhenius plot 解富鋁紅柱石的生成活化能，於 $1475$ 、 $1500$ 、及 $1525^{\circ}\text{C}$  作1至5小時每小時持溫[12,13]。

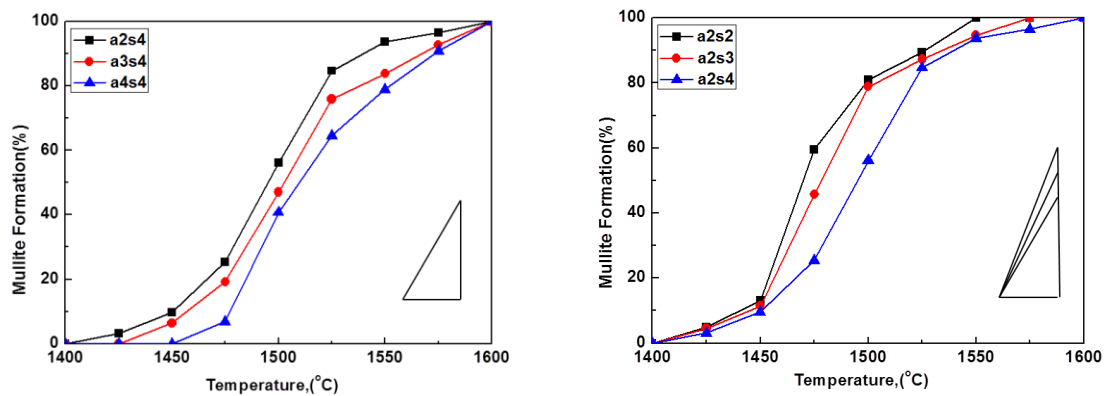


Fig. 4 Mullite formation curves of (a) Group A and (b) Group B.

### 叁、結果與討論

#### (1) 熱差分析

Fig. 3 說明Group A (樣品A2S4、A3S4、及A4S4)及Group B (樣品A2S2、A2S3、及A2S4)兩組樣品的熱差分析結果。可發現在溫度 $1455^{\circ}\text{C}$ 後出現一吸熱峰。此由

Cristobalite非晶質化(Amorphization)所造成。比較兩組數據也可發現細化 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 比細化Cristobalite更具有降低Cristobalite非晶質化的效果；同樣由400 nm降低至200nm，Group A 因 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒徑下降，溫度降低40°C 熱峰溫度由1495而1483而1455°C；而Group B 的Cristobalite 變細則下降約5°C (1455、1453、及1450°C)。峰寬溫度也不同：A2S4出現最闊峰寬，A2S2 峰寬最窄，表示 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒徑下降是有助於分晶質化的提前出，但粗粒徑Cristobalite仍需花比較長的時間非晶質化。也因此 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒徑下降，是造成溫度降低是僅能降低Cristobalite非晶質化開始溫度提前，對整體Cristobalite的非晶質化最後結束溫度影響不大。Group A 的結束溫度約略同在1580°C。而Group B則由Cristobalite粒徑變細所發生的吸熱峰結束溫度則隨其粒徑變細，由1530下降至1485°C。Cristobalite花非晶質化的時間，也即生成富鋁紅柱石所需要時間。

過去有報導 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的粒徑越細熱傳導效果越好[14] 或與其有關。單論 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒徑變細對應要非晶質化的Cristobalite 粒體而言，後者每顆粒體上披覆(接觸)的顆數由1.50顆升高至7.85顆。而如僅將Cristobalite粒徑縮小，可發現Cristobalite與 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒體接觸點由7.85下降至0.66，其結果可能因未受益 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的熱傳好處，Cristobalite 非晶質溫度下降較少。

Table 3 DTA profile Characteristics of Cristobalite amorphization temperatures

| Samples | Reaction temperatures, °C |      |       |  |
|---------|---------------------------|------|-------|--|
|         | Initial                   | peak | final |  |
| Group A |                           |      |       |  |
| A2 S4   | 1445                      | 1455 | 1578  |  |
| A3 S4   | 1455                      | 1483 | 1580  |  |
| A4 S4   | 1475                      | 1495 | 1582  |  |
| Group B |                           |      |       |  |
| A2 S2   | 1428                      | 1450 | 1485  |  |
| A2 S3   | 1440                      | 1453 | 1490  |  |
| A2 S4   | 1440                      | 1455 | 1530  |  |

## (2) 富鋁紅柱石生成變化

Fig. 4 說明兩組樣品經熱處理生成富鋁紅柱石的結果。上述Cristobalite 發生非晶質化的現象也直接影響富鋁紅柱石的生成效果。Group A由 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的變細使Cristobalite

的非晶質化提前發生，因而導致整體富鋁紅柱石的生成溫度提前。Group B則Cristobalite的非晶質化溫度，因傾向純由其細化所造成，差異不大，因而富鋁紅柱石生成的溫度差異不大。而一旦當非晶質化發生後細粒Cristobalite 細粒較快，因此表現在生成速率：細粗比較，細粒Cristobalite可有較高的富鋁紅柱石的生成速率。因此比較細化  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 與Cristobalite 的粉末粒徑，明顯可發現所得效果不同：Cristobalite 非晶質化提前發生者當然富鋁紅柱石提早生成，但未必可造全程反應的提早完成。因為還是需要粗粒Cristobalite 的非晶質化完全，富鋁紅柱石的工作才算完成。因此在Group A， $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的變細雖然有降低富鋁紅柱石開始生成的溫度，但完成全程反應的溫度未必也能提前。對應於此，Group B的細化Cristobalite雖未受惠 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 熱傳的效果，但其細化則可造成在較短時間內較大量非晶質化的（同步）發生。因此開始未必提前，完成則可提前（Fig. 4）。

### （3）活化能差異

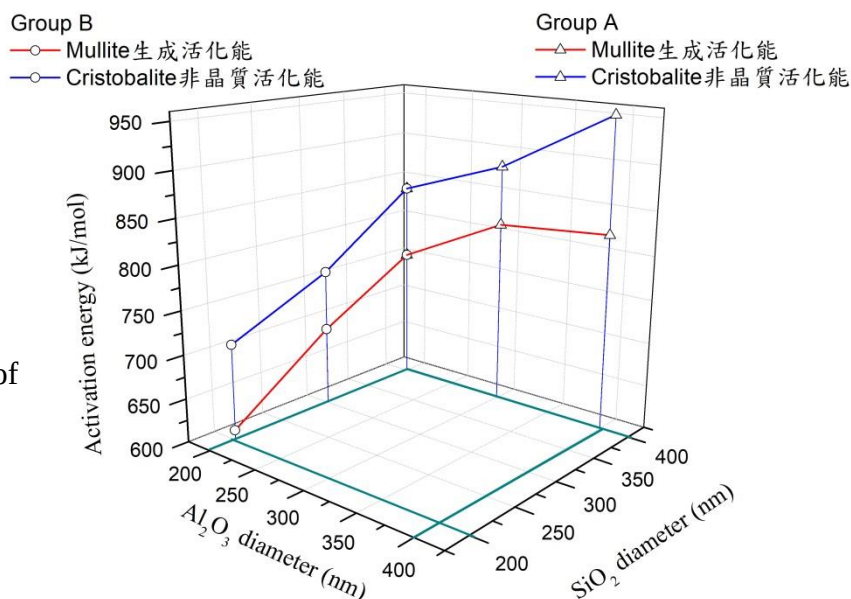
Table 3 說明以Arrhenius plot計算所得之富鋁紅柱石生成及Cristobalite非晶化所需活化能。設如Cristobalite非晶化為生成富鋁紅柱石步驟所必須，則明顯可看出兩原料粉末的粒徑變細當然可造成最低的非晶質畫活化能，A2S2的710kJ/mol。然而如是改變其中一粒徑，則效果相差有限， $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 減少的115kJ/mol對Cristobalite減少的128kJ/mol，雖然後者是有比較低。因此雖然採用細粒徑 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 即使可使富紅柱石的生成溫度下降，

Table 3 Activation energies of mullite formation and cristobalite amorphization calculated using Arrhenius plots [15]

| Sample        | Mullite formation<br>(kJ/mol) | Cristobalite amorphization<br>(kJ/mol) |
|---------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| <b>GroupA</b> |                               |                                        |
| A2S4          | 753.96                        | 838.46                                 |
| A3S4          | 814.60                        | 882.19                                 |
| A4S4          | 824.68 (- 71)                 | 953.44                                 |
| <b>GroupB</b> |                               |                                        |
| A2S2          | 611.74                        | 710.58                                 |
| A2S3          | 692.01                        | 761.59                                 |
| A2S4          | 753.96 (- 142)                | 838.46                                 |

(- xxx) Activation energy reduction.

Fig. 5 Particle size reduction of Cristobalite powders may provide more impact on lowering energy consumption of mullite formation.



並無助於其合成速率的提升，最終合成溫度還是不至改變。而採用細粒徑 Cristobalite 可因擁最低的非晶質化活化能，710kJ/mol，以較快的非晶質化速率，提前在較低的溫度完成富鋁紅柱石生成。此也說明 Cristobalite 的非晶質化為生成富鋁紅柱石的控制因素。

#### (4) 粒徑選擇

由上述數據觀察可明顯看出：細粒料無疑問的是選擇的答案。但如一定要在兩原料中做一決擇，則採用細粒徑 SiO<sub>2</sub>粉末還是較具優勢(Fig.5)。唯技術上仍須實際操作。

### 肆、結 論

本研究以粒徑各為200、300、及400 nm 之  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>與 Cristobalite 粉末作為原料，於1450至1500oC 合成富鋁紅柱石，用來評估並建立選擇此兩種原料粉末之粒徑，達到更省能省時製作富鋁紅柱石的目的。細粒料無疑問的是選擇的答案。但如一定要在兩原料中作一決擇，則因 Cristobalite 的非晶質化為生成富鋁紅柱石的控制因素，採用細粒 SiO<sub>2</sub>粉末還是較具優勢。而  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的變細雖可使 Cristobalite 的非晶質化開始溫度提前發生，致富鋁紅柱石可在更低的溫度生成，但完成整體反應所需時間溫度仍有賴 Cristobalite 的完全非晶質化。此時細粒 SiO<sub>2</sub>粉末還是較具優勢。

謝語：

本研究部份工作由科技部提供經費協助 (no. NSC 101-2221-E-006-123)。特致感謝。

## 參考文獻

1. P. Boch, T. Chartier, and P. D. D. Rodrigo, "High purity ceramics by reaction sintering in Ceramic Transactions 6: Mullite and Mullite Matrix Composites," *J. Amer Ceram Soc.*, pp. 353-374, 1990.
2. R. F. Davis and J. A. Pask, "Mullite," *Academic Press*, pp. 37-76, 1971.
3. A. K. Chakraborty, "Preliminary study on the effect of pH on thermal transformation of some diphasic  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  gels," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 28, pp. 87-95, 2003.
4. J. Ossaka, "Tetragonal mullite-like phase from co-precipitated gels," *Nature*, vol. 191, pp. 1000-1001, 1961.
5. D. W. Hoffman, R. Roy and S. Komarneni, "Diphasic xerogels, a new class of materials: phases in the system  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ ," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 67, pp. 468-471, 1984.
6. B. Saruhan, W. Albers, H. Schneider, and W. A. Kaysser, "Reaction and sintering mechanisms of mullite in the systems cristobalite/ $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  and amorphous  $\text{SiO}_2$ / $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ," *J. Euro. Ceram. Soc.*, pp. 161075-161081, 1996.
7. S. M. Johnson and J. A. Pask, "Role of impurities on formation of mullite from kaolinite and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  mixtures," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, vol. 61, no. 8, pp. 838-842, 1982.
8. Y. Nurishi, and J. A. Pask, "Sintering of  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ /amorphous silica compacts," *Ceram. Int.*, vol. 8, pp. 57-59, 1982.
9. A. P. S. Rana, O. Aiko, and J. A. Pask, "Sintering of  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ /quartz, and  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ /cristobalite related to mullite formation," *Cerm. Int.*, vol. 8, pp. 151-153, 1982.
10. P. D. D. Rodrigo, "Reaction sintering of mullite base ceramics," Ph.D. Thesis, University of Limoges, Limoges, 1986.
11. P. D. D. Rodrigo, and P. Boch, "High purity mullite ceramics by reaction sintering," *Int J. High Tech. Ceram.*, vol. 1, pp. 3-30, 1985.
12. C. H. Bamford, and C. F. H. Tipper, "Reaction in the solid-state, comprehensive chemical kinetics," *Else. Sci. Pub. Co.*, vol. 22, 1980.
13. A. Putins, "Introduction to mineral science," Cambridge University Press, 1992.
14. L. M. Huang, M. S. El-Genk "Thermal conductivity measurements of alumina powders and molded Min-K in vacuum," *Energy Conversion and Management* vol. 42, pp. 599-612, 2001
15. 蔡永偉, "以不同粒徑次微米Cristobalite- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉末合成富鋁紅柱石之研究,"國立成功大學資源工程研究所 碩士論文, 2014/9月。





利用田口法規劃並製備錳基觸媒  
於低溫下進行選擇性催化氧化氨氣之研究  
**Optimization of low temperature Mn-based selective catalyst for  
ammonia oxidation with Taguchi method**

楊凱程<sup>1</sup> 余炳盛<sup>2\*</sup>

Kai-Chen Yang<sup>1</sup> Bing-Sheng Yu<sup>2\*</sup>

1 國立臺北科技大學資源工程研究所 研究生

Master Student, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

2 國立臺北科技大學資源工程研究所 副教授

Associate Professor, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology\*

Corresponding Author: [bing@ntut.edu.tw](mailto:bing@ntut.edu.tw), [alenyang123@gmail.com](mailto:alenyang123@gmail.com)

**摘 要**

因觸媒催化法必須先去除氣體中粉塵及硫化物等有害催化效率之汙染物，故當廢氣通過前端除塵及除硫設備之後，廢氣溫度將會下降許多，但傳統選擇性氧化催化氨氣之觸媒操作溫度介於400~600℃之間，若要再經過後端觸媒催化廢氣，勢必需要再額外加熱，此舉將造成耗能及成本上的增加，且加上早期觸媒多使用貴金屬作為附載物，因其價格昂貴、地球含量較稀少等問題，因此許多關於觸媒的研究便朝向使用地球富含多且低成本的過渡金屬為主。而多數文獻指出，錳基觸媒在低溫下(< 250℃)具有良好的催化特性，並且透過添加其他元素修飾可大幅提升在低溫下之氨氣轉化效果。而廢拋光汙泥中含有大量稀土元素釧及鈰，此兩種稀土元素也常作為製備觸媒之原料，故本研究以資源再利用之目的，提取廢拋光汙泥中的釧、鈰等元素，再添加其他過渡金屬元素製備觸媒，希望能在低溫下使氨氣完全轉化成氮氣，使觸媒具有高轉化率及高壽命性。

本研究使用田口法進行規劃實驗配比，並配合GNP(Glycine-Nitrate Process)燃燒法製備錳基觸媒，探討添加不同元素在200℃下的選擇性氧化氨氣催化效果，並對催化後的產物進行濃度分析。後續再搭配田口法的變異分析計算，選出最佳製備參數。研究結果顯示，在反應溫度為200℃時，高轉化效率觸媒之氨氣平均轉化率達88.35%，氨氣選擇性為100.0%，而高壽命性之觸媒其活性衰退率約為17.21%。

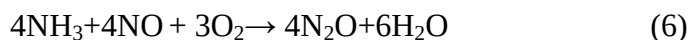
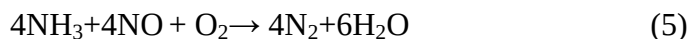
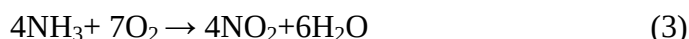
**關鍵詞：**選擇性催化氧化氨氣、稀土元素、田口法、錳基觸媒

## 壹、前言

在半導體產業蓬勃發展下，其相關製程之一金屬有機化學氣相沉積(Metal Organic Chemical Vapor Phase Deposition, 簡稱MOCVD)，係利用金屬有機化合物來作為前驅物原料的一種化學氣相沉積(CVD)技術，目前在產業中已經相當普遍，以生產LED光電半導體元件為例，在該製程中會通入大量的氫氣及氮氣來形成氮化鎵結晶，當通入的氮氣經過使用後即輸出至後端處理，據統計該濃度約達6%，若將未經妥善處理的廢氮氣即排放至大氣中，除了氮氣本身的毒性外，還會跟大氣中的氮化物、硫化物相互結合，形成氣膠後再與其他PM<sub>2.5</sub>微細粒結合，對人體及環境都具有相當的影響。因此，為了將氮氣之排放量降低，行政院環境保護署對氮氣之容許濃度及周界濃度訂定了標準，依「固定污染源空氣污染物排放標準」的周界濃度，氮氣濃度則訂為1000ppb。而觸媒焚化法是其中一種處理方法，它係利用觸媒扮演著降低氣體催化分解時所需活化能之角色，來達到降低操作溫度節省成本之目的。

在觸媒焚化法中，觸媒的催化能力主要是依靠其擔體上所附載之金屬化合物，早期研究中多使用白金(Pt)、鈀(Pd)、銀(Ag)、銑(Rh)等貴重金屬製備成觸媒，將NH<sub>3</sub>分解成無害的物質，雖然貴重金屬觸媒能在較低的溫度(250°C~300°C)下，對NH<sub>3</sub>具有近乎90%至100%的催化效果，但貴重金屬觸媒除了價格昂貴外，在催化過程中容易產生有毒氣體，如NO、NO<sub>2</sub>等。因此現今皆以過渡金屬元素Cu、Mn、Co、Ni、及Fe等作為催化NH<sub>3</sub>之觸媒使用[1][3]。此外，文獻指出，稀土元素中鐳(La)具有提升觸媒活性的能力[4]，而鈰(Ce)具有良好的氧化還原能力，能使觸媒具有良好的催化性能[5][6]，因此附載多種元素之多元觸媒逐漸開始被重視及研發，成為環保界中的一大議題。

在催化NH<sub>3</sub>的實驗中，希望將NH<sub>3</sub>分解為無害的N<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O，如式(1)。但反應過程中有可能伴隨著NO、NO<sub>2</sub>等有害氣體，如式(2-4)。其中，較不穩定的NO可能會再與NH<sub>3</sub>反應生成N<sub>2</sub>或N<sub>2</sub>O，如式(5-6)。反應式如下[1][2]：



如開頭所述，因半導體產業帶來的各種高科技產業的製程技術及廢棄物不斷地與日俱增，而當上游進行晶圓製造時，在化學機械平坦化(Chemical Mechanical Planarization, 簡稱CMP)此製程中，會運用許多的拋光液及拋光粉來對表面進行加工處理，而在製程後將產生許多的磨屑廢料及受污染的研磨拋光液等成分所組成的廢棄污泥，目前我國對於此廢棄物之處理作法多以掩埋或焚化為主，但在這些廢棄污泥中含有許多可再利用之化合物，如二氧化鋁、氧化矽、氧化鋯、氧化鐵等，其中又以稀土金屬氧化鈰佔組成中之最大宗[3]。

因此本研究係將利用不同活性之過渡金屬元素及稀土金屬元素鎳及鈾作為製備觸媒之原料。希望能藉此研究，將上述之廢棄物(拋光汙泥)加以回收再利用，運用於合成催化氨氣之觸媒中，達到廢棄物減量及降低廢氨氣排放濃度之兩大議題，達成雙贏之目的。而大多研究探討結果多為氨氣轉化效率及氣體選擇性兩大方向，較少學者一次探討多種元素合成觸媒對於氨氣轉化效果之影響以及多種元素合成觸媒後其催化活性壽命之探討，故本次研究將使用田口式品質工程法之 $L_{12}$ 及 $L_{18}$ 直交表進行實驗規劃並以GNP燃燒法合成混和不同元素之氧化物製備觸媒，探討各元素的摻雜對合成結果的影響，最後再搭配理論運算，組合最佳製備參數。

## 貳、實驗方法

本研究係利用田口法直交表 $L_{12}(2^{11})$ 進行規劃第一階段實驗，如表1、表2。因子A為藥品及溶出液之置換比例，探討利用廢拋光汙泥經處理後之溶出液合成觸媒之可行性評估，將，以及選擇具有影響觸媒催化效果的元素Mg、Fe、Co、Cu、Ni、Mo、La、Sr、Ce、Ti共10種元素作為實驗因子B~K，來進行合成錳基觸媒，進行後續的氨氣催化試驗，並將結果經過田口變異分析後，作為第二階段實驗之田口因子選擇之參考依據，以篩選出適合製備高催化特性之氨氣氧化觸媒，進行第二階段實驗，本研究每組皆進行三

|         | A                      | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   |
|---------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Factor  | Polishing liquid ratio | Mg  | Fe  | Co  | Cu  | Ni  | Mo  | La  | Sr  | Ce  | Ti  |
| Level 1 | 0.5                    | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  |
| Level 2 | 1.0                    | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% |

重複試驗共製備90顆觸媒。表3為本研究第二階段之田口 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表。

表1、本研究第一階段田口規劃之因子及水準

表2、田口 $L_{12}(2^{11})$ 直交表

| NO. | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2   | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 3   | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 4   | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 5   | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6   | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 7   | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 8   | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 9   | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 10  | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 11  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 12  | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |

表3、田口 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

| NO. | A | B | C | D | E | F | G | H |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2   | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3   | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4   | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 5   | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 6   | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 7   | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 8   | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 9   | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 10  | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 11  | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 12  | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 13  | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 14  | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 15  | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 16  | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 17  | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 18  | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |

實驗步驟分兩個部分。第一部分為酸溶廢拋光粉，先將廢拋光粉利用濃度10N的 $\text{HNO}_3$ ，以固液比1:5進行酸溶，再將酸溶後的溶出液進行ICP-OES分析，分析鎳、鉍等元素的濃度。

而第二階段利用GNP燃燒法合成觸媒，依田口直交表所規劃，將金屬硝酸鹽類及七鉬酸銨加入第一階段溶出液中，並利用磁石均勻攪拌後再加入甘胺酸，待充分溶解後，形成前驅物溶液。將擔體放入配製好的前驅物溶液中(擔體採用蜂巢狀結構之堇青石擔體，具有耐熱、耐火、耐化學性、高機械強度及熱震性，其中，觸媒表面的微細孔對於金屬氧化物具有良好的吸附力)，當膠狀前驅物溶液均勻吸附在擔體的表面上後，放入烘箱進行烘乾。後續在溫度 $500^\circ\text{C}$ 下對擔體進行鍛燒10分鐘，待反應完成後即為製備完成的觸媒。

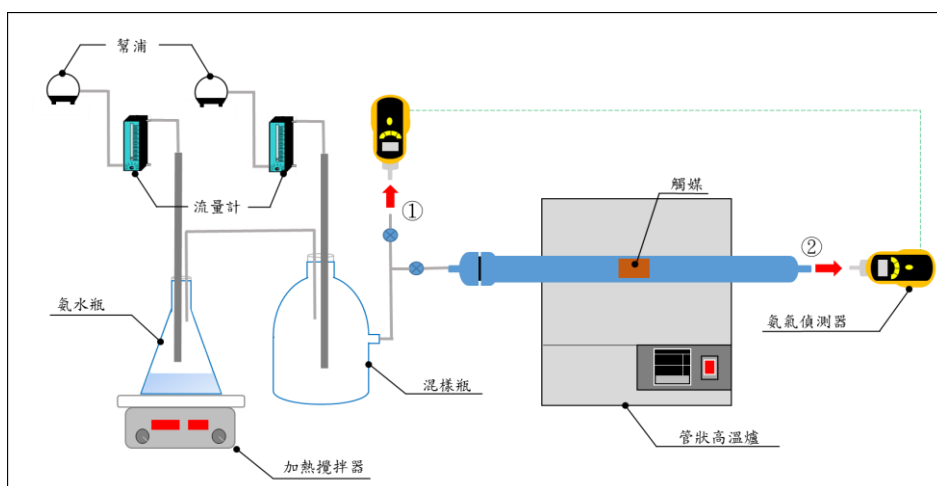


圖1、觸媒催化檢測設備示意圖

接著，將製備完成的觸媒進行 $\text{NH}_3$ 催化試驗，圖1為 $\text{NH}_3$ 檢測設備示意圖，利用幫浦將空氣打入裝有氨水的容器中， $\text{NH}_3$ 沿著管線通入混樣瓶中進行稀釋，接著流入放有觸媒的石英管內，透過調整管狀爐溫度進行 $\text{NH}_3$ 催化試驗及 $\text{N}_2$ 選擇性實驗。利用手持式檢測器量測圖1中①及②位置的 $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 及 $\text{NO}$ 濃度，將測得的數值進行計算，得出 $\text{NH}_3$ 轉化效率及 $\text{N}_2$ 選擇性，再將 $\text{NH}_3$ 轉化效率及 $\text{N}_2$ 選擇性進行田口分析找出最適因子。

因本研究所使用之手持式檢測儀最高檢測濃度為1000ppm，因此將 $\text{NH}_3$ 濃度控制在800~1000ppm，而流速控制在600cc/min。

### 參、成果與討論

本研究第一階段試驗期望能在較低溫度下使氨氣完全轉化成氮氣，並找出有利於氮氣催化之元素，於後續第二階段規劃試驗，將其轉化效率提升並且具有高壽命活性，因此將合成的樣品分別進行氨氣催化實驗及氮氣選擇性實驗，其結果示於圖2。

結果顯示，本研究所製備的觸媒在溫度 $200^\circ\text{C}$ 下其催化效果具有一定效果。最高的 $\text{NH}_3$ 轉化效率為74.11%，表示根據不同元素的添加將影響其催化能力，而在選擇性方面，在進行 $\text{NO}$ 及 $\text{NO}_2$ 檢測時皆為0，選擇性皆為100%故無作圖顯示，其原因推測是因為 $\text{NH}_3$ 被分解的越多，更容易形成氮氧化物( $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ )，但由於低溫催化下效率皆未達100%，因此轉化後之氣體皆為未分解之 $\text{NH}_3$ 及產物 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{N}_2$ 。而本研究中將依照上述實

驗結果進行田口變異分析，並藉由分析結果找出元素添加種類、添加量與催化效果之影響關係並參考貢獻權重後，進行第二階段的實驗設計及氨氣催化試驗。

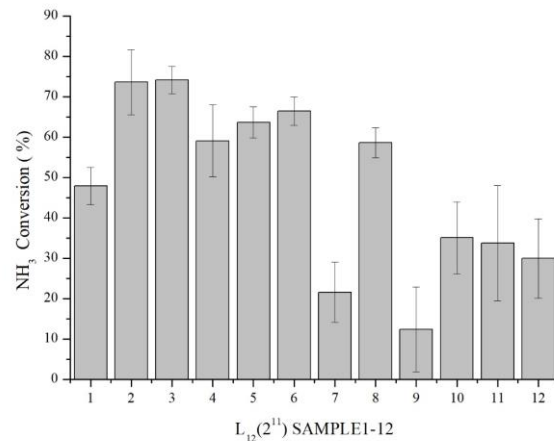


圖 2、L<sub>12</sub>各組觸媒在200°C下之NH<sub>3</sub>轉換效率圖

### 3.1 第一階段NH<sub>3</sub>轉化效率之變異分析

將NH<sub>3</sub>轉化效率經變異分析後，可得出下方圖4及圖5，分別為200°C下氨氣轉化率之AVG(平均值)與S/N比圖。

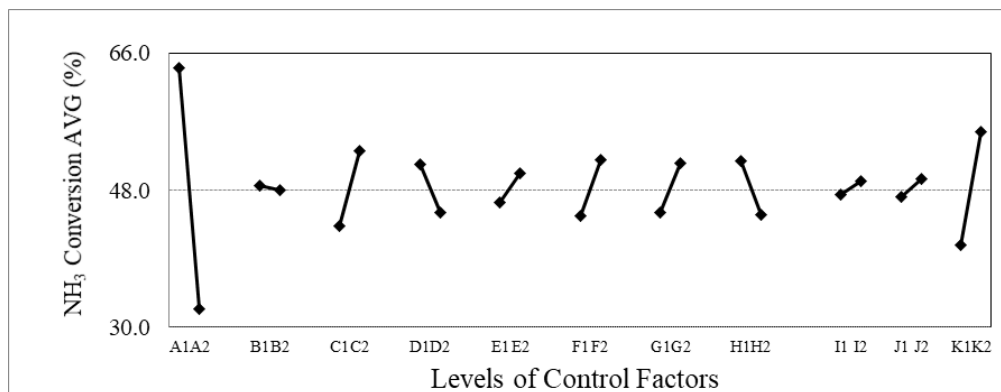


圖 4、L<sub>12</sub> 在 200°C 下，NH<sub>3</sub> 轉化效率 AVG 曲線圖

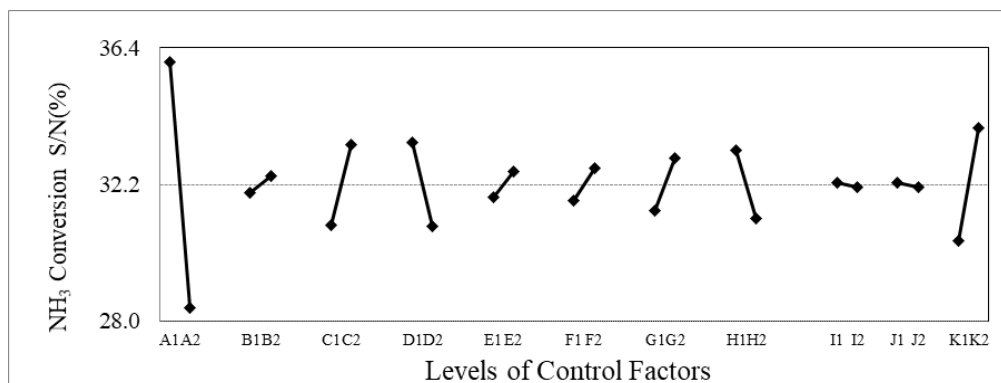


圖 5、L<sub>12</sub> 在 200°C 下，NH<sub>3</sub> 轉化效率 S/N 曲線圖

由此分析結果可了解各因子對品質特性(AVG)及穩定性(S/N比)的影響，在圖4及圖5中可得知A因子趨勢，了解到溶出液置換藥品比例越多則催化效果越差，因A因子的影

響權重皆接近6成，故表示溶出液添加的多寡對於催化效果有著顯著的影響力，但由於回收液中含有的La及Ce可大幅降低其他藥品使用比例，使成本相對降低許多，因此在後續第二階段製備觸媒時，會以置換50%為基準，作為L<sub>18</sub>的水準設計依據。

而B~K因子皆為添加元素對於催化效果的影響，其中C、D、E、F、G、H、K這7個因子的AVG曲線趨勢和S/N比曲線趨勢相同，故此優先探討其意義。

從圖4及圖5的曲線中又可以得知，當C、E、F、G、K這5個因子其添加比例和催化效果成正比之關係，故後續第二階段製備觸媒時，則可以增加添加比例，以利提升催化效率；而D、H這2個因子其添加比例和催化效果成反比關係，故後續第二階段製備觸媒時，則可考慮不添加該元素，以利提升催化效率。

後續再由圖4及圖5的曲線中發現B、I、J因子之AVG曲線趨勢和S/N比曲線趨勢相反，但因S/N比代表一組實驗中的品質特性之變異程度，S/N值越大表示標準偏差越低，意即變異越小、品質越穩定，故將以S/N比之趨勢作為主要依，因此根據圖5判斷，B因子添加量與催化效率成正比關係，而I、J因子則是添加量與催化效率成反比關係。

綜合以上考量，故在第二階段進行田口L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>×3<sup>7</sup>)因子規劃時，將選擇元素Mg、Fe、Cu、Ni、Mo、Ti來添加並進行水準調動。

### 3.2 第二階段觸媒配比規劃及製備

本研究係利用第一階段田口變異分析結果進行規劃第二階段實驗，並利用田口L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>×3<sup>7</sup>)直交表規劃出的18組觸媒，其參數及直交表如表3、表4所示。

表4、本研究第二階段田口規劃之因子及水準

|         | A                       | B                      | C   | D   | E   | F   | G   | H   |
|---------|-------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Factor  | Calcination Temperature | Polishing liquid ratio | Mg  | Fe  | Cu  | Ni  | Mo  | Ti  |
| Level 1 | 500°C                   | 1                      | 5%  | 5%  | 5%  | 5%  | 5%  | 5%  |
| Level 2 | 600°C                   | 1:0.67                 | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% | 10% |
| Level 3 |                         | 1:0.33                 | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% |

因先前研究對於鍛燒溫度並未進行探討，故因子A為觸媒鍛燒溫度之影響，因子B則為藥品及溶出液之置換比例，探討溶出液可置換藥品之最佳比例，以及選擇具有提升觸媒催化效果之元素Mg、Fe、Co、Ni、Mo、Ti共6種元素作為實驗因子C~H，來進行合成錳基觸媒，且每組皆製備出三顆觸媒，於200°C下進行4小時的三重複NH<sub>3</sub>催化催化實驗，其結果如圖6所示，並最後將實驗數據經過整理後進行田口法變異分析，探討對於轉化效率及觸媒活性壽命之最佳配比。

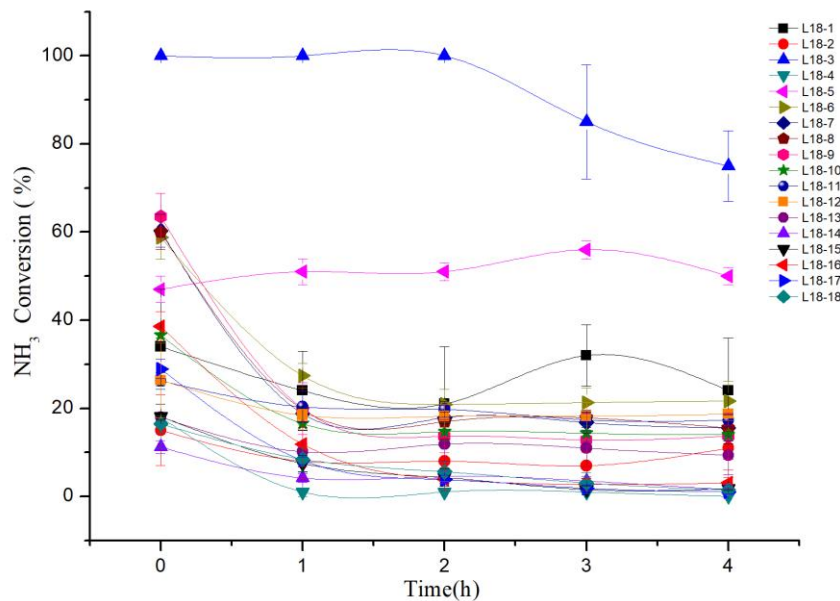


圖6、L<sub>18</sub>各組觸媒在200°C下進行4小時催化之NH<sub>3</sub>轉換效率圖

結果顯示，組別L18-3、L18-6、L18-7、L18-8、L18-9在最初催化時可達到50%以上之轉換效率，但隨著催化時間延長至一小時後，L18-6、L18-7、L18-8、L18-9組催化效率降低至40%以下，唯獨L18-3保持高催化效率直至2.5小時後才開始降低催化效果至約80%，但和本實驗室先前之研究，於200°C下進行NH<sub>3</sub>催化實驗下相比，其最高轉化效率為70.11%，而經由最佳化後之觸媒，其最佳化效率76.83%，還是具有較高之催化效率，因此可以預期後續經變異分析後之最佳化觸媒，其催化效果應可比先前研究優異。

且從圖6中還可發現，L18-5雖其氨氣催化效率僅達五成左右，但其觸媒壽命衰退性低，故若透過不同目標進行田口變異分析，應能找出對於觸媒壽命活性之最佳配比。

### 3.3 第二階段NH<sub>3</sub>轉化效率之變異分析

因考量合成出之觸媒最終目的為高催化效率以及低壽命衰退性，因此其催化數據必須經過整理，分別為催化效率及衰退率兩部份後，再帶入田口變異分析計算出各組的平均值(AVG)、標準差(S)和S/N比。

#### (1) 催化效率望大

將NH<sub>3</sub>轉化效率經變異分析後，可得出下方圖7~圖9，分別為200°C下氨氣轉化率之AVG(平均值)、S/N比、AVG貢獻度及S/N貢獻度圖。

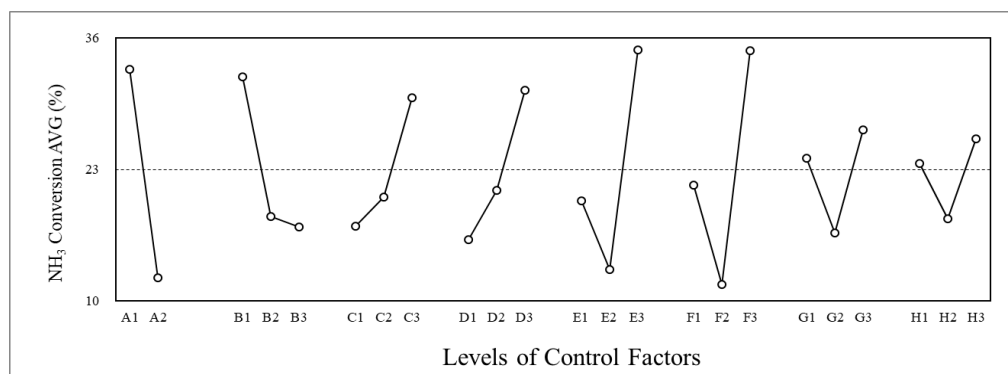
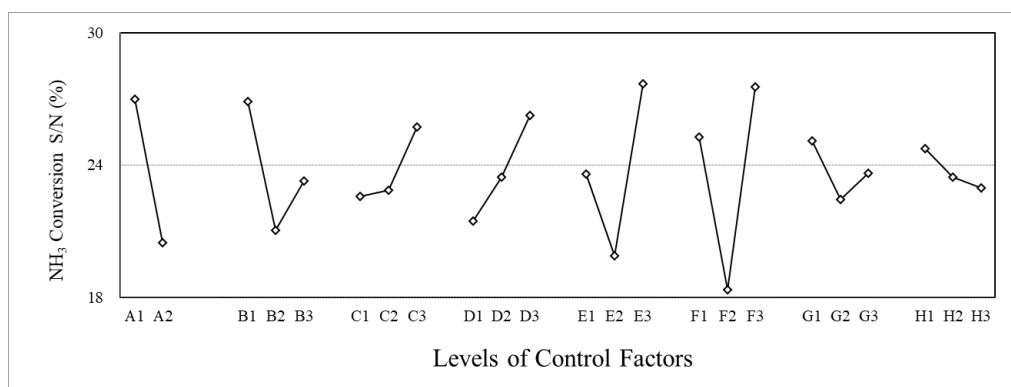
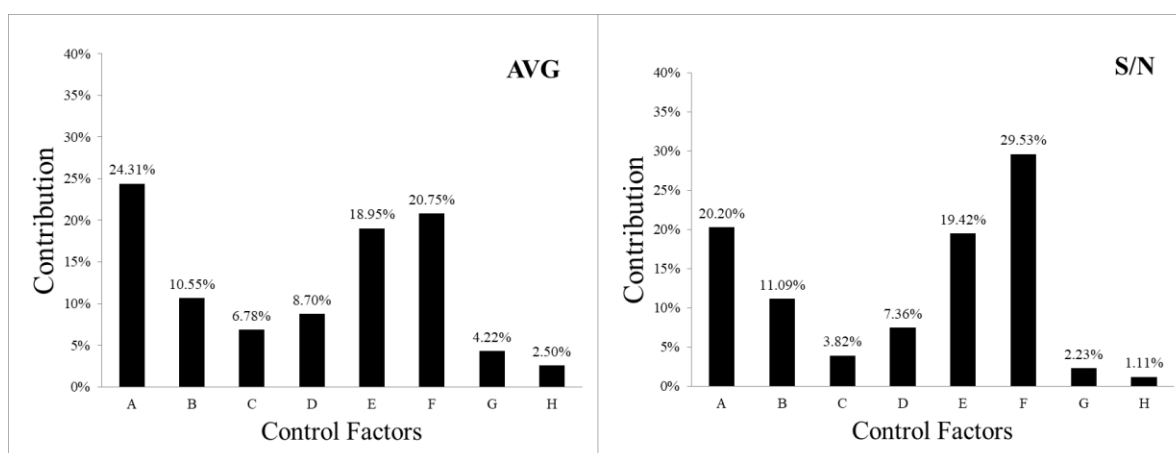


圖7、L<sub>18</sub>在200°C下，NH<sub>3</sub>轉化效率AVG之曲線圖

圖 8、L<sub>18</sub> 在 200°C 下，NH<sub>3</sub> 轉化效率 S/N 比之曲線圖

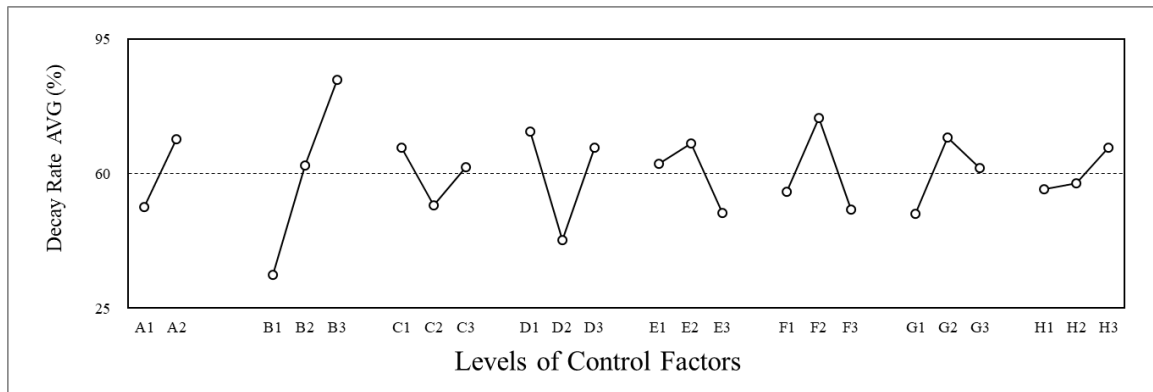
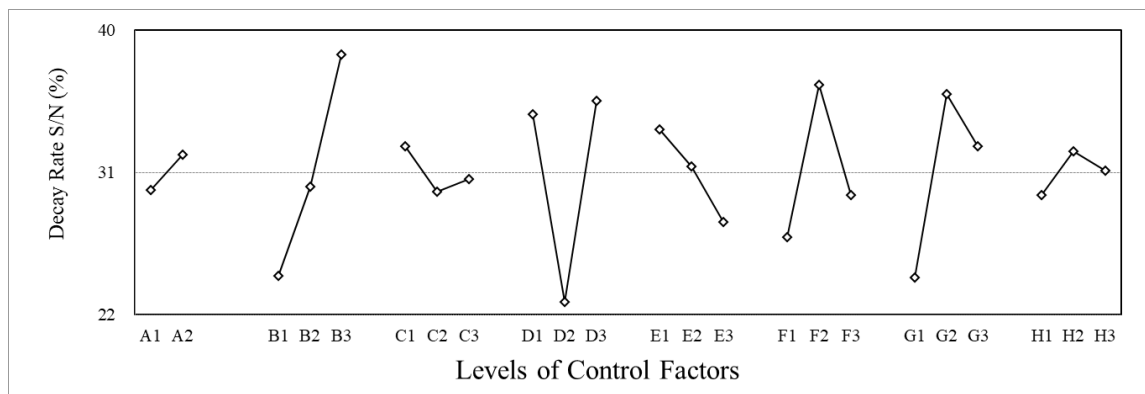
根據圖 7 及圖 8 結果顯示，AVG 曲線圖與 S/N 比曲線圖之各因子趨勢大致相同，惟因子 G 及 H 呈現相反，且從圖 9 貢獻度圖發現兩者之貢獻皆較低，故為後續製備最佳化觸媒之穩定性及成本考量，故以 S/N 比曲線圖為依據，而因為此部分目標為望大，故選擇最佳化配比为 A1B1C3D3E3F3G1H1，後續將以該配比製作最佳轉化效率之觸媒進行氨氣轉化試驗。

圖 9、L<sub>18</sub> 在 200°C 下，NH<sub>3</sub> 轉化效率 AVG 及 S/N 比之因子影響權重圖

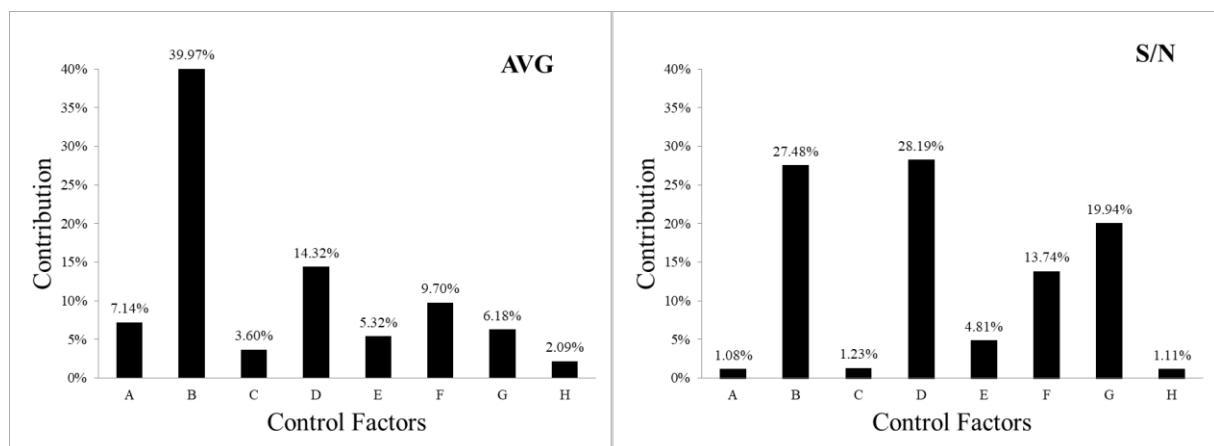
## (2) 衰退率望小

依據圖 6、NH<sub>3</sub> 轉化效率圖經整理為觸媒活性衰退率後，進行田口變異分析，可得出下方圖 10~圖 12，分別為 200°C 下觸媒活性衰退率之 AVG(平均值)、S/N 比、AVG 貢獻度及 S/N 貢獻度圖。



圖10、 $L_{18}$ 在 $200^{\circ}\text{C}$ 下，觸媒活性衰退率之AVG之曲線圖圖11、 $L_{18}$ 在 $200^{\circ}\text{C}$ 下，觸媒活性衰退率之S/N比之曲線圖

根據圖10及圖11結果顯示，AVG曲線圖與S/N比曲線圖之各因子趨勢大致相同，惟因子F呈現相反，且從圖12貢獻度圖發現S/N比的F因子貢獻度較高，為後續製備最佳化觸媒之穩定性及成本考量，故以S/N比曲線圖為依據，而因為此部分目標為望小，故選擇最佳化配比為A1B1C2D2E3F1G1H1，後續將以該配比製作最佳活性壽命之觸媒進行氨氣轉化試驗。

圖12、 $L_{18}$ 在 $200^{\circ}\text{C}$ 下， $\text{NH}_3$ 轉化效率AVG及S/N比之因子影響權重圖

### 3.4 最佳化 $\text{NH}_3$ 催化試驗

最佳化配比之觸媒分為最佳轉化效率及最佳活性壽命兩部分，並探討最佳化觸媒在溫度 $200^{\circ}\text{C}$ 下經過24H後之穩定性，其催化結果如圖13、圖14所示。

## (1) 最佳轉化效率觸媒之催化結果:

結果如圖13顯示，在溫度200℃下，在前2小時前NH<sub>3</sub>之平均轉化效率為96.6%，隨著催化時間到達2~4小時時，其催化效率明顯下降約20.6%，轉化效率剩餘88.27%，而經過4小時後，催化效率趨於穩定，24小時後轉化效率約為63.77%，活性衰退率為34.0%。

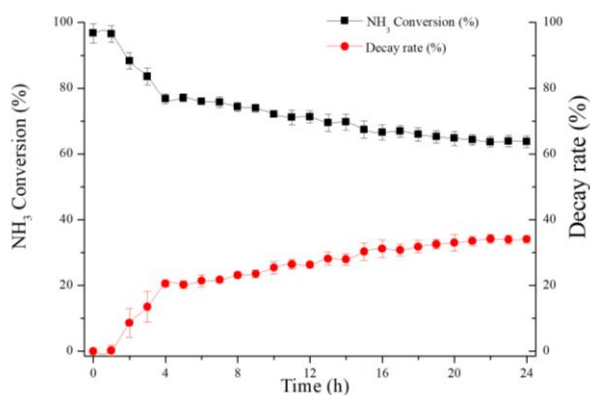


圖13、轉化效率最佳化觸媒之穩定性試驗圖

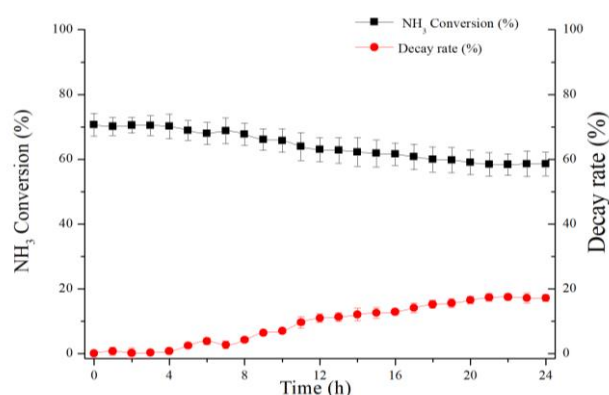


圖14、活性壽命最佳化觸媒之穩定性試驗圖

## (2) 最佳活性壽命觸媒之催化結果:

結果如圖14顯示，在溫度200℃下，整理催化效率介於60~70%之間，而NH<sub>3</sub>在前12小時前之平均轉化效率為68.0%，隨著催化時間到達12小時時，其催化效率下降約4%，而經過12小時後，觸媒催化效率趨於穩定，24小時後轉化效率約為58.6%，活性衰退率為17.21%。

## 肆、結 論

1. 本研究經由田口法進行規劃，以 GNP 法成功製備摻雜不同金屬的觸媒，並具有高氨氣轉化特性及高活性壽命之觸媒。
2. 本研究成功將廢拋光汙泥回收再利用於合成轉化氨氣之觸媒，並透過數據顯示，廢拋光汙泥可取代部分藥品，達到減少成本及資源再利用之目的。
3. 與先前研究相比，本研究之最佳化觸媒能將處理溫度降低至200℃，在200℃下NH<sub>3</sub>高轉化效率觸媒之氨氣平均轉化率達88.35%，氨氣選擇性為100.0%，而高壽命性之觸媒其活性衰退率約為17.21%。

## 參考文獻

- [1] Hung, Chang-Mao. "Synthesis, characterization and performance of CuO/La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite catalyst for ammonia catalytic oxidation." *Powder Technology* 196.1 (2009): 56-61.
- [2] Andreoli, Silvia, Fabio Alessandro Deorsola, and Raffaele Pirone. "MnO<sub>x</sub>-CeO<sub>2</sub> catalysts synthesized by solution combustion synthesis for the low-temperature NH<sub>3</sub>-SCR." *Catalysis Today* 253 (2015): 199-206.
- [3] Wang, Zhong, et al. "Selective catalytic oxidation of ammonia to nitrogen over ceria-zirconia mixed oxides." *Applied Catalysis A: General* 411 (2012): 131-138.

- [4] Chmielarz, Lucjan, et al. "Selective catalytic oxidation of ammonia to nitrogen over Mg-Al, Cu-Mg-Al and Fe-Mg-Al mixed metal oxides doped with noble metals." *Applied Catalysis B: Environmental* 130 (2013): 152-162.
- [5] Hinokuma, Satoshi, et al. "Copper Oxides Supported on Aluminum Oxide Borates for Catalytic Ammonia Combustion." *The Journal of Physical Chemistry C* 120.43 (2016): 24734-24742.
- [6] Liang, Chunxia, et al. "The role of copper species on Cu/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts for NH<sub>3</sub>-SCO reaction." *Applied Surface Science* 258.8 (2012): 3738-3743.



# 以電氣石製作遠紅外線材料之特性與應用 Characteristics and applications of far-infrared materials made from tourmaline

陳智成<sup>1</sup> 吳俊毅<sup>2</sup> 廖健宏<sup>3</sup> 蔡翰陞<sup>4\*</sup>

Chih-Cheng Chen<sup>1</sup> Jun-Yi Wu<sup>2</sup> Jian-Hung Liao<sup>3</sup> Han-Sheng Tsai<sup>4</sup>

<sup>1</sup>遠東科技大學 機械工程系 特聘教授

<sup>1</sup>Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

<sup>2</sup>遠東科技大學 機械工程系 助理教授

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

<sup>3</sup>遠東科技大學機械工程系學生

<sup>3</sup> Master's Degree, Department of Mechanical Engineering, Far East University

<sup>4</sup>遠東科技大學機械工程系學生

<sup>4</sup> Master's Degree Student, Department of Mechanical Engineering, Far East University

## 摘要

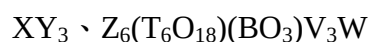
本研究對巴西電氣石進行微結構的分析，並探討不同熱處理溫度對電氣石微結構的影響。結果顯示850℃為電氣石開始產生相變化之溫度，當熱處理溫度升至1000℃時，其遠紅外線放射率有提高的現象，當溫度升至1450℃時之遠紅外線放射率為0.972，遠高於電氣石原礦之0.929，經XRD分析發現在1000℃以上，電氣石會產生針狀莫來石及Na<sub>2</sub>O、MgO、FeO所組成之鎂鐵礦(Magnesioferrite)礦物相，因為莫來石(Mullite)為低遠紅外線放射率材料，故推斷鎂鐵礦為電氣石具有高遠紅外線放射率來源。因此，本研究模擬鎂鐵礦之成份與結晶相，以人工合成的方式獲得高遠紅外線放射率的材料，並應用於30餘項產品，且獲得多項專利。

**關鍵字：**電氣石、遠紅外線、熱處理、微結構分析

## 壹、前言

近年來的研究指出電氣石<sup>[1]</sup>具有釋放負離子、放射遠紅外線、吸附重金屬、調節水的pH值等特殊性能<sup>[2-4]</sup>。因此，電氣石逐漸成為熱門的天然礦物功能材料。

電氣石(Tourmaline)生成於火成岩，通常夾雜於花崗岩的偉晶中，電氣石常與多種礦物共生。電氣石繁多，結構會因產地與純度而有所差距，如下為文獻中較典型之結構通式<sup>[2]</sup>：



X=Ca、Na、K或空缺(vacancy)

Y=Li、Mg、Fe、Mn、Al、Cr<sup>3+</sup>、V<sup>3+</sup>、Fe<sup>+3</sup>

Z=Mg、Al、Fe<sup>+3</sup>、V<sup>+3</sup>、Cr<sup>+3</sup>或空缺(vacancy)

T=Si、Al (B)、B=B、(B)

V=OH

O≡[O(3)]

W=OH、F、O

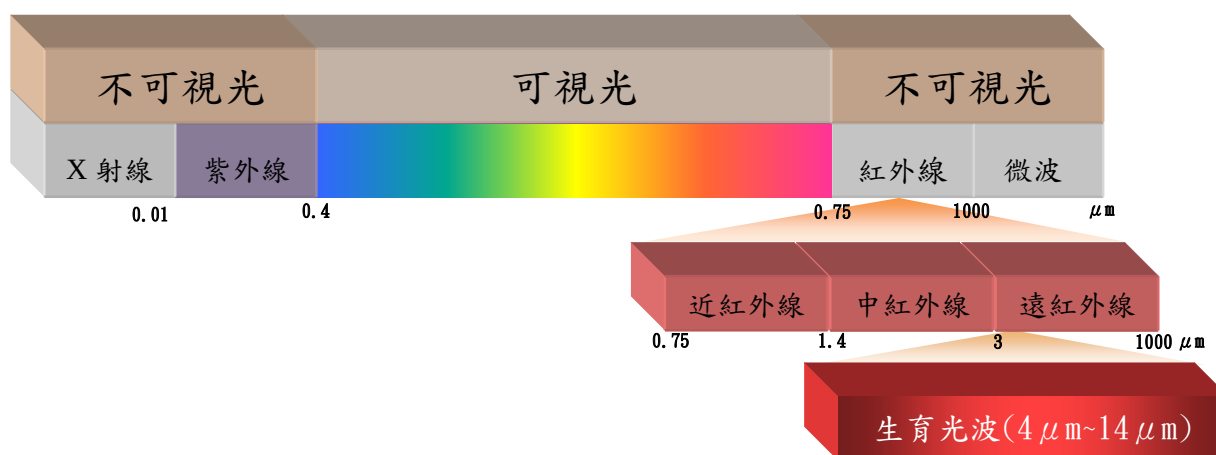
O≡[O(1)].

其晶體結構為環狀矽酸鹽結構<sup>[5]</sup>，具有永久性極化效應，可持續釋放出0.06毫安培的微電流，並可產生天然之負離子，結構當中通常含有Na、Mg、Fe等金屬元素之離子或氧化物，因此能產生較高的遠紅外線放射率。

遠紅外線為不可見光，亦可視為電磁波。電磁波的產生是由於物質吸收能量以後，產生原子震盪、電子躍遷等現象，經由電子軌道半徑回復時，釋放出大小不等之能量，而遠紅外線則是由特定物質所產生之電磁輻射，通常可使能量與紅外線進行理想轉換者稱之為黑體<sup>[6]</sup>。

電氣石的結構當中含有各種金屬氧化物，成分則因產地、種類或純度而有所不同，本研究所使用之巴西電氣石屬鎂鐵電氣石(Feruvite)其成分當中Mg、Fe含量較高，會因雜質的因素導致缺陷，造成晶格內區域性震盪，因而產生較高之遠紅外線。<sup>[7]</sup>

在光波頻譜圖上，紅外線分布於紅光以上微波以下的波段區域，本研究所探討之遠紅外線，即分布於3~1000 $\mu\text{m}$ 之間的電磁輻射(圖一)。



圖一 光波能量頻譜圖<sup>[5]</sup>

紅外線的放射率之定義，為試片與黑體標準片的比值，無法以實際單位表示，通常為0~1之間，其計算公式<sup>[6]</sup>如下：

$$\varepsilon(T) = \frac{M(T)}{M_b(T)}$$

$\varepsilon$ ：放射率

$M(T)$ ：實際物體在某溫度之放射量

$M_b(T)$ ：相同環境條件之黑體放射量

據文獻記載電氣石熱處理至800~950 $^{\circ}\text{C}$ 時結構會產生破壞<sup>[8]</sup>，目前應用電氣石於陶瓷製作上多侷限於800 $^{\circ}\text{C}$ 以下的燒結溫度<sup>[9]</sup>。電氣石的成份當中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 與 $\text{SiO}_2$ 為生成莫來石的主要成因；前人研究<sup>[10]</sup>指出，電氣石熱處理至850 $^{\circ}\text{C}$ 時結構破壞後會生成布格電氣

石或莫來石之礦物相，為了使遠紅外線放射率提高，曾有文獻<sup>[11、12]</sup>使用化學藥品處理電氣石，提高其放射率，但因化學藥品對人體會造成不良影響，而限制其應用範圍。

不同熱處理溫度對電氣石性質影響之研究<sup>[13]</sup>都集中在800~1100℃，更高熱處理溫度則尚未見文獻提及。本研究採用巴西電氣石進行熱處理，探討高溫熱處理對電氣石相變化及遠紅外線放射率之影響，藉此開發高遠紅外線放射率之材料。

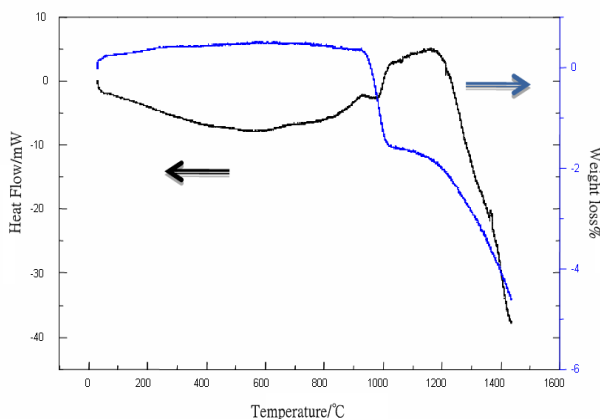
## 貳、實驗方法

本研究主要探討高溫熱處理對電氣石之遠紅外線放射性率的影響，並分析新生成礦物之化學成分及礦物相。首先以100℃/1h升溫速率加熱，於850℃、1000℃、1450℃等溫度持溫1小時後爐冷獲得樣品，再採用XRD、SEM、EDS分析不同熱處理溫度之電氣石的礦物相與遠紅外線放射率之關係。

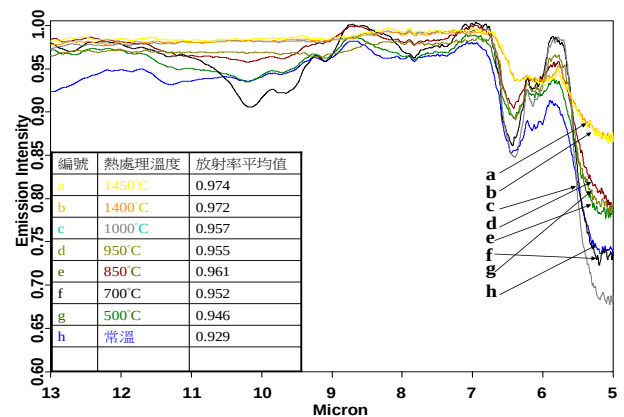
## 參、結果與討論

### 3.1 電氣石之熱性質對遠紅外線放射率的影響

經由DTA/TG電氣石之熱性質分析(圖二)，900~1000℃，有明顯之重量損失及吸熱反應，而遠紅外線放射率之分析(圖三)顯示，遠紅外線放射率從500℃開始有增強的現象，至950℃略降為0.955，然後隨著熱處理溫度的提高，遠紅外線放射率會繼續提高。



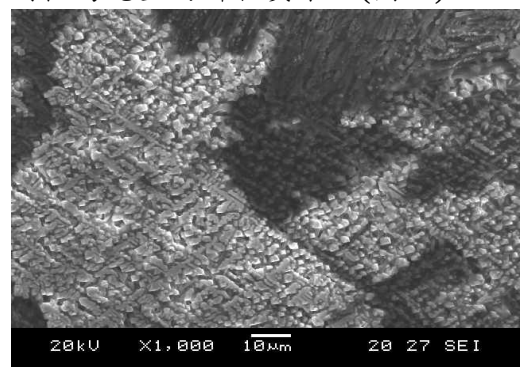
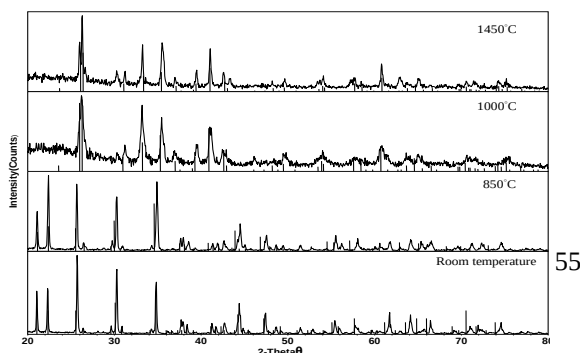
圖二、電氣石原礦之DTA/TG分析



圖三、電氣石經不同溫度熱處理之遠紅外線放射率

### 3.2 電氣石的相變化與莫來石的析出

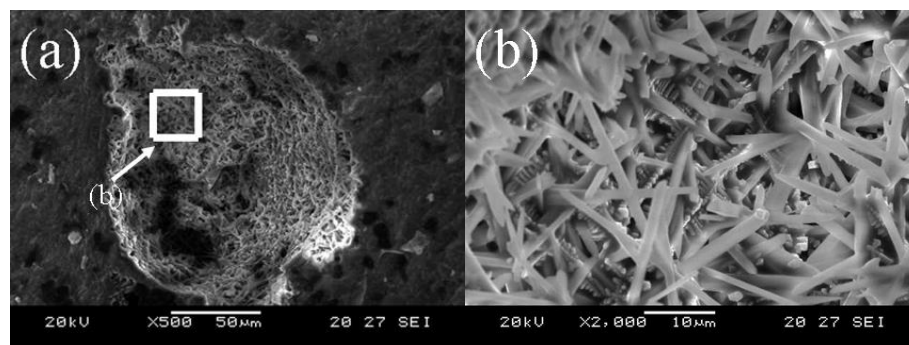
如圖四所示，電氣石經850℃熱處理後，鎂鐵電氣石的結構並無太大的變化，而熱處理溫度提高至1000℃後，會開始產生莫來石礦物相，隨著熱處理溫度提高，莫來石之晶相強度有提高之現象。對照圖三所示之遠紅外線放射率，熱處理溫度越高者，遠紅外線的放射率越高，推測與莫來石析出有關。電氣石經1450℃熱處理後，在表面會產生局部的叢狀結晶(圖五)，在孔洞的部份則會明顯觀察到較為完整的針狀莫來石(圖六)。





圖四、電氣石以不同溫度熱處理之XRD分析

圖五、電氣石經1450°C熱處理後的表面微結構所產生之局部叢狀結晶



圖六、電氣石經1450°C熱處理後之孔洞微觀

(a)孔洞之微結構、(b)針狀莫來石之微結構

表一為電氣石原礦之EDS成份分析，其 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量為35.90 %， $\text{SiO}_2$ 之含量為39.17%。如圖九為電氣石經1450°C熱處理後，以EDS對電氣石所生成的針狀晶體進行成份分析， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量提高為43.25%， $\text{SiO}_2$ 含量降低為30.07% (表二)，其成份中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 與 $\text{SiO}_2$ 所產生的變化比例從1：1.09轉變為1：0.7，而莫來石的典型組成中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 與 $\text{SiO}_2$ 的比例為1：0.6，經熱處理後，成份趨近於莫來石(mullite)，且1450°C的XRD礦物相分析也顯示為莫來石相，因此可推斷電氣石經熱處理後，其針狀結晶為莫來石。

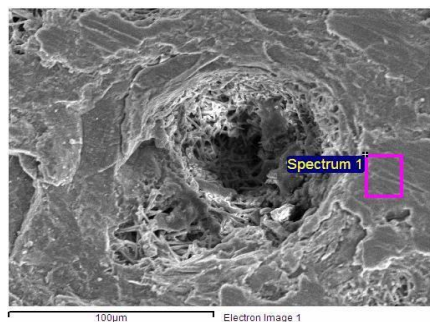
表一、電氣石原礦之EDS分析表

| Formula                 | Compd% |
|-------------------------|--------|
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 1.73   |
| $\text{MgO}$            | 2.92   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 35.93  |
| $\text{SiO}_2$          | 39.17  |
| $\text{FeO}$            | 16.72  |
| $\text{CuO}$            | 2.04   |
| $\text{ZnO}$            | 1.49   |
| Totals                  | 100    |

表二、1450°C針狀莫來石的EDS成分表

| Formula                 | Compd% |
|-------------------------|--------|
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 1.09   |
| $\text{MgO}$            | 3.03   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 43.25  |
| $\text{SiO}_2$          | 30.07  |
| $\text{FeO}$            | 22.56  |
| Totals                  | 100    |

經由以上之論述，證實針狀莫來石的存在，然而莫來石並非遠紅外線放射體，推測遠紅外線放射來源應是莫來石以外的材料所構成。為了尋求遠紅外線放射率提高的因素，以EDS分析其基材成份(圖七)，結果發現，基材成份中已無 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 與 $\text{SiO}_2$ 之成份(表三)，經由XRD之礦物相分析，顯示其為鎂鐵礦(magnesioferrite)成份)。



表三、電氣石在1450°C熱處理後之成份表

| Element | Compd% | Formula               |
|---------|--------|-----------------------|
| Na K    | 9.93   | $\text{Na}_2\text{O}$ |
| Mg K    | 35.89  | $\text{MgO}$          |
| Fe K    | 54.18  | $\text{FeO}$          |
| Totals  | 100    |                       |



圖七、莫來石周邊基材之EDS分析

### 3.3 鎂鐵礦對遠紅外線放射率之影響

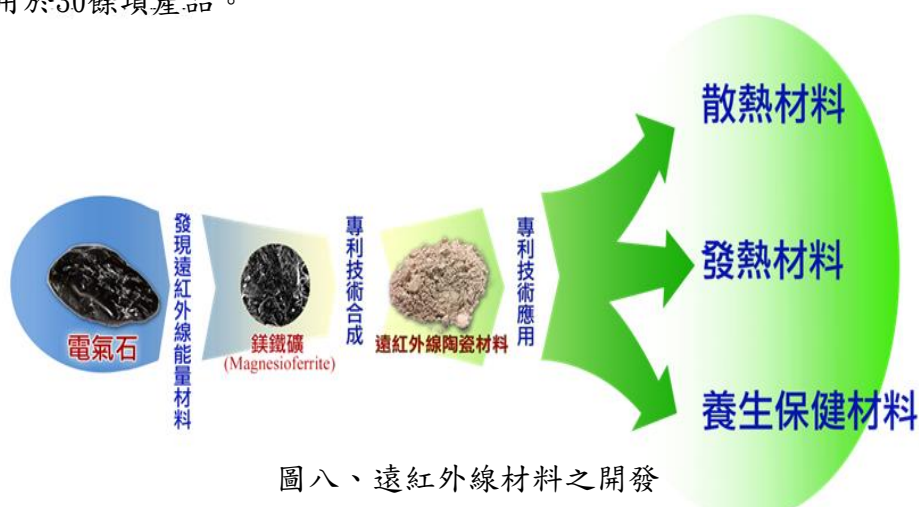
由上述分析之結果發現，對電氣石進行熱處理的溫度越高，則莫來石的晶粒結構越完整，相對的Mg、Fe、Na之氧化物濃度也因為莫來石的析出而產生變化，由於莫來石非遠紅外線放射材料，因此推測Mg、Fe及微量的Na組成的新生成礦物是遠紅外線放射率提高之主要原因，前人的研究<sup>[14]</sup>也指出，Mg、Fe、Na含量會影響電氣石的遠紅外線放射率，惟並未發現其原因。因此，本研究模擬鎂鐵礦之成份與結晶相，以人工合成的方式獲得高遠紅外線放射率的陶瓷材料，並已提出多項專利的申請。

### 3.4 遠紅外線材料之應用

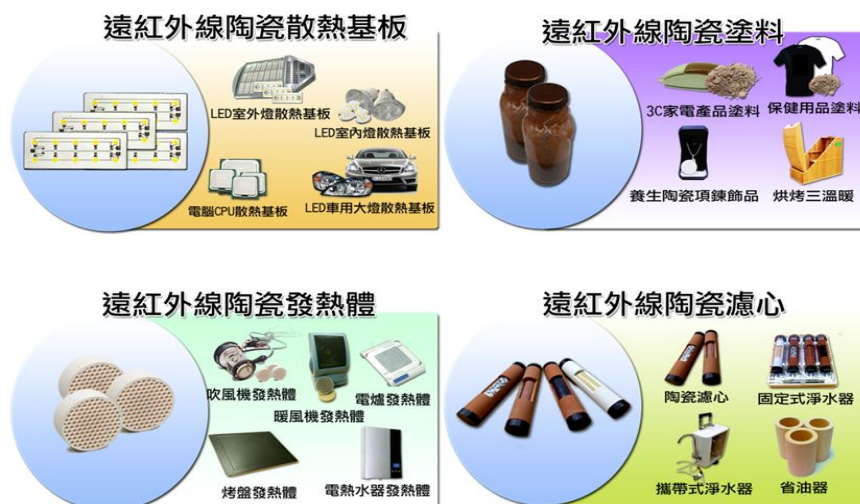
本研究模擬鎂鐵礦之成份與結晶相所開發的遠紅外線材料是遠紅外線散熱、發熱、養生保健三項功能之關鍵材料(圖八)。目前已開發出多項產品(圖九)，且本研究有多項專利之完整佈局，可提高競爭者的進入障礙及杜絕仿冒，建立品牌專業形象。

## 肆、結論

電氣石經高溫熱處理後隨著莫來石不斷析出，相對Mg、Fe、Na之鎂鐵礦也愈趨完整，造成遠紅外線放射源密度提高，是高溫熱處理可以提高遠紅外線放射率的主要原因。因此，本研究模擬鎂鐵礦之成份與結晶相，以人工合成的方式獲得高遠紅外線放射率的材料，並應用於30餘項產品。



圖八、遠紅外線材料之開發



## 圖九、遠紅外線材料之應用產品

## 伍、參考文獻

- [1] R. R. Tummala and E. J. Rymaszewski, Microelectronic Packaging Handbook, pp. 523 – 658. Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- [2] W. Kim, J. W. Bae, and I. D. Choi, Polymer Eng. Sci., 39, 756 – 66 (1999)
- [3] D. R. Lide (ed.), Handbook of Physics and Chemistry, 80th edition, pp. 12-200 – 201 and pp. 12-97 – 107 CRC Press, Boca Raton, FL, 1999 – 2000.
- [4] G. A. Slack, R. A. Tanzilli, R. O. Pohl, and J. W. Vandersande, J. Phys. Chem. Solids, 48, 641 – 647 (1987)
- [5] M. P. Borom, G. A. Slack, and J. W. Szymaszek, Am. Ceram. Bull., 51, 852 – 857 (1972)
- [6] T. B. Jackson, A. V. Virkar, K. L. More, R. B. Dinwiddie, and R. A. Cutler, J. Am. Ceram. Soc., 80, 1421 – 1435 (1997)
- [7] S. M. Olhero, S. Novak, M. Oliveira, K. Krnel, T. Kosmac, and J. M. Ferreira, J. Mater. Res., 19, 746 – 751 (2004)
- [8] T. Suehiro, J. Tatami, T. Meguro, S. Matsuo, K. Komeya, and T. Suehiro, J. Eur. Ceram. Soc., 22, 521 – 526 (2002)
- [9] M. Ohashi, S. Kawakami, and Y. Yokogawa, J. Am. Ceram. Soc., 88, 2615 – 2618 (2005)
- [10] T. Suehiro, J. Tatami, T. Meguro, S. Matsuo, and K. Komey, Mater. Lett., 57, 910 – 913 (2002)
- [11] S. A. Chowdhury, H. S. Maiti, and S. Biswas, J. Mater. Sci., 41, 4699 – 4705 (2006)
- [12] Liang Jinsheng, Far Infrared Radiation Property of Rare Earth Mineral Composite Materials, J. Rare Earths, Vol.24, Spec. Issue, Dec. 2006, p.281.
- [13] 冀志江，鐵鎂電氣石的紅外發射率研究，中國建築材料科學研究院 環境工程研究所，功能材料，2004 年增刊 35 卷。
- [14] R. Beau Lotto, Seeing in colour, Optics & Laser Technology , p.2 (2010).

## 利用二氧化鈾進行光催化降解諾氟沙星污染物之研究 Photocatalytic degradation of norfloxacin pollutants by using cerium oxide

李芷綾<sup>1\*</sup>、徐暘<sup>2</sup>、劉芳<sup>3</sup>、張章堂<sup>4</sup>

Zhi-ling Li<sup>1\*</sup>, Hsu Yang<sup>2</sup>, Liu Fang<sup>3</sup>, Chang-Tang Chang<sup>4</sup>

1 國立宜蘭大學環境工程學系 大學生

College Student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

2 國立宜蘭大學環境工程學系 碩士生

Master Student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

3 廈門大學環境與生態學院 博士生

Doctoral Student, College of the Environmental and Ecology Xiamen University

4 國立宜蘭大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

\* Corresponding author: [lcc5cas@gmail.com](mailto:lcc5cas@gmail.com)

### 摘要

部份有機污染物和各種工業的化學品被認為是嚴重的污染物，因其不可生物降解和危害自然界，通常會中斷和污染我們的生態系統。這些污染物易嚴重影響水生生物和其他生物。目前有多種方法可用於降解這些有機污染物，其中光催化降解是較佳綠色化學技術之一，因為它具有無毒、廉價和無害的優點，並具有高活性和穩定性的可見光驅動光催化劑的能力，近期頗受矚目。光催化反應屬於一種化學反應，此反應發生在利用光能產生電子和空穴的光催化劑上，這些反應會加速污染物降解。本研究利用紫外-可見光光譜儀(UV-Vis spectrophotometer)測定污染物降解前後濃度，並進一步計算降解效率。為進行觸媒特性分析，將使用各種儀器(如 XRD、UV-Vis、SEM 等)進行材料鑑定，以利瞭解光觸媒表面組成成分變化與光觸媒特性。本研究亦探討各種參數(包括溫度、觸媒投加量、光源種類的影響，循環週期變化)對光催化效能的影響，且控制水中污染物濃度(5、10、20 與 40 ppm)、材料投加量(0.1、0.2、0.4 與 0.8 g L<sup>-1</sup>)溫度(15、25、35 與 45°C)，並進行材料 CeO<sub>2</sub> 改質前吸附能力評估。研究結果得知時間越長，降解污染物質量越多，且污染物濃度越高，降解效率越低，當污染物濃度為 5.0ppm 時，降解效率最高，可達約 80%。光觸媒投加量越多，污染物因時間越長也會降解越多。

**關鍵字:**光催化、二氧化鈾、諾氟沙星

## 壹、前言

諾氟沙星(Norfloxacin, NOR)是第三代氟喹諾酮類抗生素藥物,由於其抗菌譜廣、副作用少等優點被廣泛應用。在世界許多環境樣品中檢出了諾氟沙星在環境水體中的出現、遷移及潛在的危害已成為國內外科研工作者的研究熱點之一,找出切實可行的去除諾氟沙星的技術意義重大。傳統的物理化學方法和生物化學方法處理抗生素類化合物,有速度慢、效率低等缺點。高級氧化技術(Advanced oxidation Processes, AOPs)是去除有機污染物的主要手段之一,如光催化氧化、臭氧、超聲等對水體中某些有毒難降解有機污染物有顯著的降解作用。

由於二氧化鈾( $\text{CeO}_2$ )催化劑可見光利用率高而引起了很多關注,它是具有帶隙 3eV 的稀土氧化物,在大多數化學反應中表現出優異的催化活性,由於晶格內的高遷移率和儲氧能力等特性,鈾在  $\text{Ce}^{3+}$  和  $\text{Ce}^{4+}$  狀態之間容易發生變化,二氧化鈾是一種低成本的高效金屬催化劑替代品,適用於光電子學、固體氧化物燃料電池、氣體傳感器和光催化等各種領域,並備受關注。光催化劑大多是半導體材料,具有區別於金屬或絕緣物質的特別的能帶結構,即在價帶(Valence Band, VB)和導帶(Conduction Band, CB)之間存在一個禁帶(Forbidden Band, Band Gap)。當光子能量高於半導體吸收閾值的光照射半導體時,半導體的價帶電子發生躍遷,即從價帶躍遷到導帶,從而產生光生電子( $\text{e}^-$ )和空穴( $\text{h}^+$ )。此時吸附在奈米顆粒表面的氫氧根離子和水氧化成氫氧自由基。而超氧負離子和氫氧自由基具有很強的氧化性能,能將絕大多數的有機物氧化至最終產物  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 甚至對一些無機物也能徹底分解。

可將電子-電洞對視為一氧化還原電極之兩極,而整個氧化還原反應也可在這些光觸媒的參與下加速完成,其中電子具有還原性,電洞有具氧化性,電洞會和二氧化鈾表面上的氫氧根( $\text{OH}^-$ )反應生成氧化性很高的氫氧自由基( $\cdot\text{OH}$ ),電子則會和氧分子反應生成超氧自由基( $\cdot\text{O}_2$ ),而活潑的  $\cdot\text{OH}$  和  $\cdot\text{O}_2$  可以把有機物分解成二氧化碳與水,並達到淨化效果,反應機制如圖 1 所示。

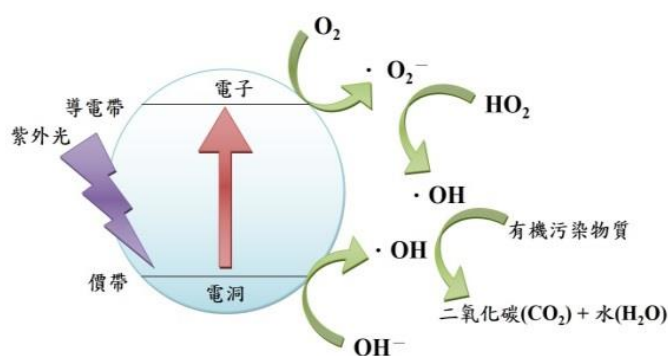


圖 1 光催化作用原理

(資料來源: <http://deca-angstrom.com/tw/product/4>)

## 貳、實驗方法

### 2-1 製備材料 $\text{CeO}_2$

奈米結構的金屬摻雜的二氧化鈰( $\text{CeO}_2$ )，在製備大表面積金屬氧化物的各種化學合成中，此方法更有利於其在較低溫度下具有更好的均勻性，可控化學計量，高純度和相純的粉末，本研究材料製作流程如圖 2 所示。

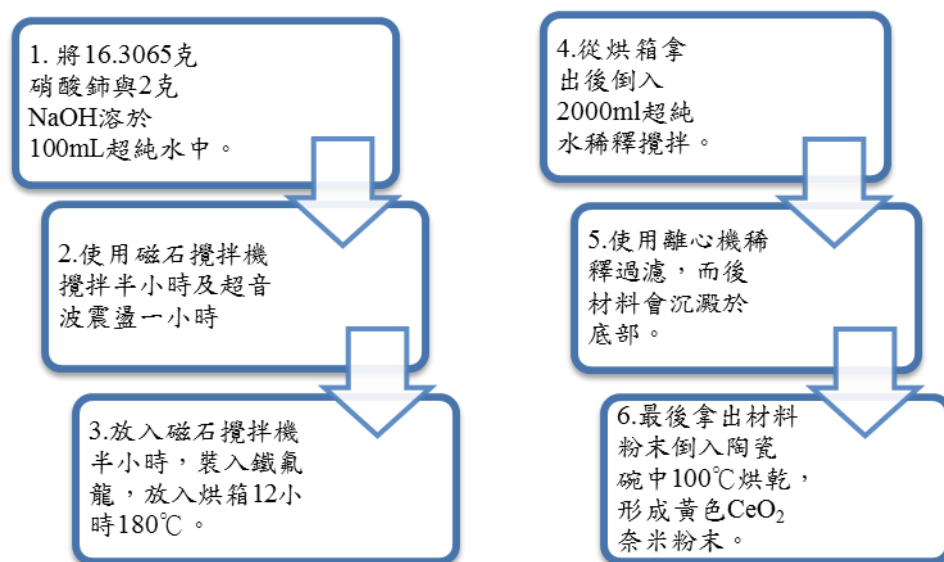


圖 2 製備  $\text{CeO}_2$  流程圖

### 2-2 水中污染物光催化實驗

將諾氟沙星廢水溶液倒入石英反應槽，內外管壁之間通循環水以控制反應溫度，溶液通過磁石的攪拌以達到均勻，並以紫外光(254nm)作為單一光源。石英反應槽的外部用錫箔紙包嚴實，以防止內部紫外光能量的散射，並將設置好的參數條件配置完成。為了達吸附飽和，實驗前 30 分鐘不開燈，30 分鐘之後開紫外光進行光降解實驗，取樣過後需用  $0.22\ \mu\text{m}$  濾膜過濾，以避免干擾吸光值的穩定，石英反應槽如圖 3 所示。本實驗的參數為污染物初始濃度(5、10、20 與 40 ppm)、材料投加量(0.1、0.2、0.4 與  $0.8\ \text{g L}^{-1}$ )及溫度(15、25、35 與  $45^\circ\text{C}$ )，實驗結果如圖 8 至圖 11 所示。

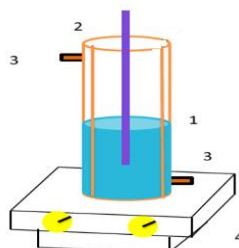


圖 3 光催化實驗示意圖

(1)石英反應器;(2)紫外光源;(3)循環水;(4)磁力攪拌器

### 2-3 研究方法

將預定時間間隔採樣的樣品進行 UV-vis 分析，分析前需將原污染物取樣測量配置檢量線，每隔 30 分鐘以 278 nm 之波長進行分析，可得實驗數值，進而觀察其降解效率，試驗條件如表 1 所述，實驗流程如圖 4 所述。

表 1 試驗參數與試驗條件

| 試驗參數                      | 試驗條件            |
|---------------------------|-----------------|
| 諾氟沙星污染物濃度(ppm)            | 5.0、10、20、40    |
| 觸媒投加量(g L <sup>-1</sup> ) | 0.1、0.2、0.4、0.8 |
| 溫度(°C)                    | 15、25、35、45     |

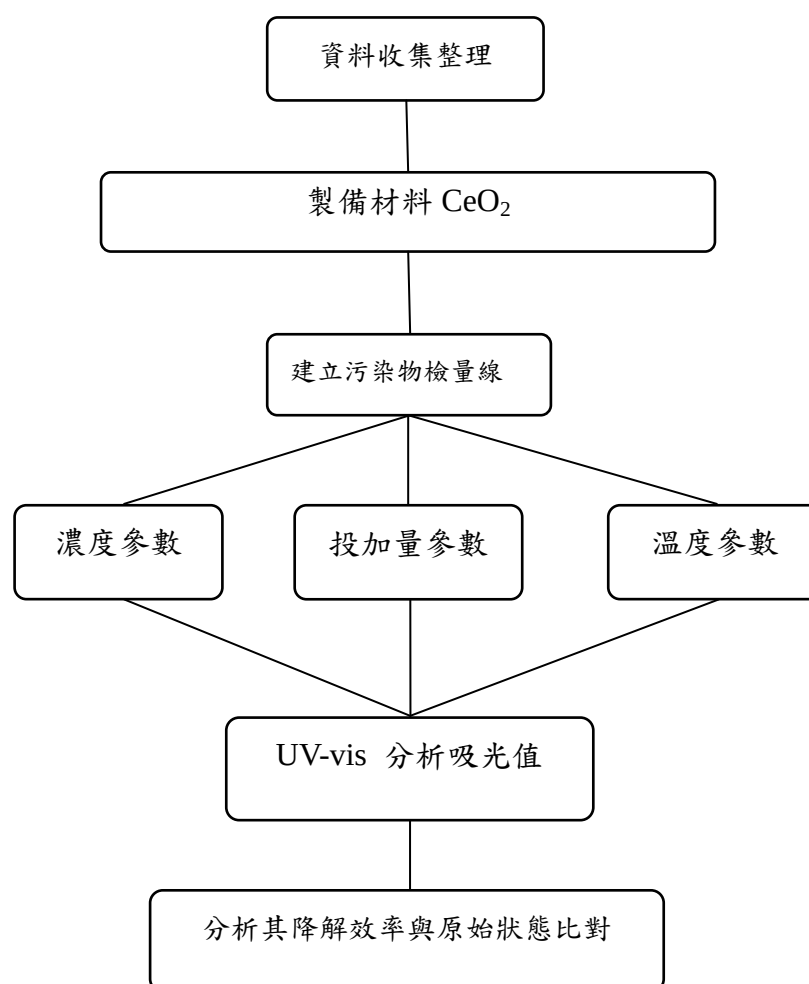


圖 4 實驗流程圖



## 參、結果與討論

### 3.1 SEM 分析

圖 5 是  $\text{CeO}_2$  的掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) 圖，從圖中可顯示出明確的棒狀結構，由 Kang (2017) 等人研究結果得知， $\text{CeO}_2$  奈米棒吸附能力最強，其次是  $\text{CeO}_2$  八面體，吸附能力最差為  $\text{CeO}_2$  奈米立方體。

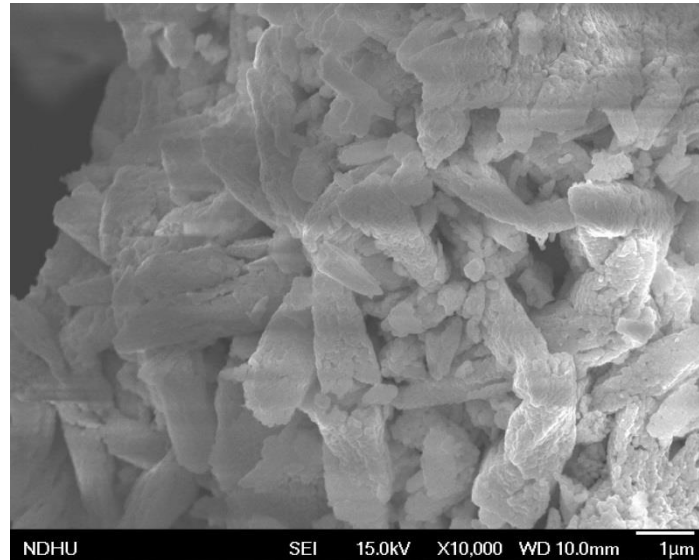


圖 5  $\text{CeO}_2$  SEM 圖

### 3.2 XRD 分析

圖 6 是  $\text{CeO}_2$  的 X 射線繞射儀 (X-ray diffractometer, XRD)，從圖中可看出所有樣品在相同位置顯示寬的衍射峰，它們可以指向  $\text{CeO}_2$  的立方螢石結構。尖銳和強烈的衍射峰表明所得材料的高結晶度，證實所獲得的  $\text{CeO}_2$  材料的高結晶純度。

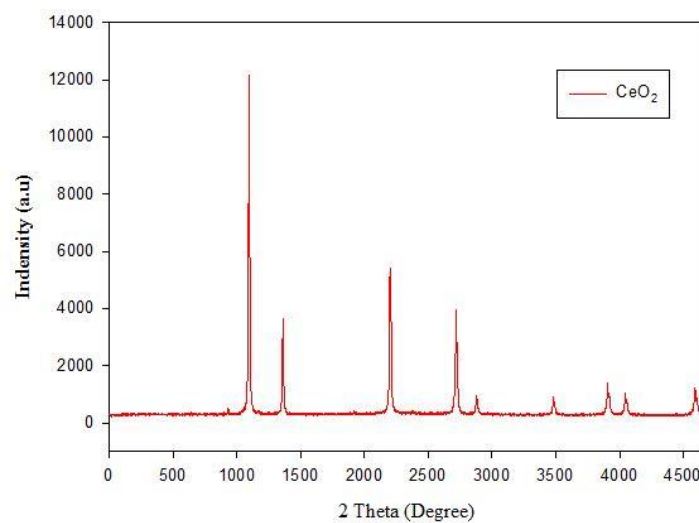


圖6  $\text{CeO}_2$  XRD圖

### 3-3 諾氟沙星檢量線

本次實驗諾氟沙星污染物處理為主，製作諾氟沙星檢量線，如圖 7 所示。圖中，諾氟沙星的迴歸直線方程式為  $y=0.0485x+0.1114$  (其中， $y$  為諾氟沙星、 $x$  為信號強度、相關係數為 0.9957)。由於相關係數已達到標準 ( $>0.99$ )，故可以利用此檢量線進行實驗。

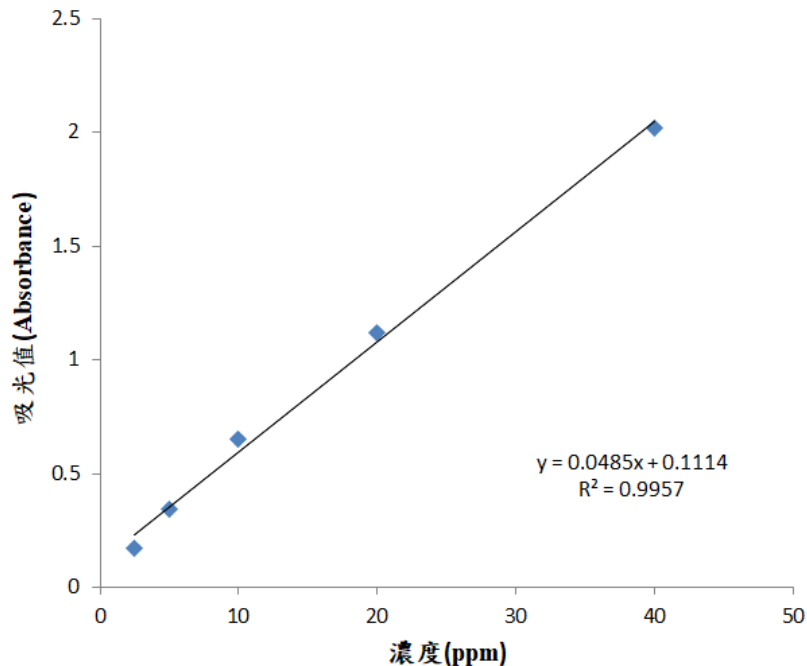


圖 7 諾氟沙星檢量線

### 3-4 諾氟沙星降解效率之影響

比較四種不同污染物濃度對降解效率之影響(如圖 8)，可得知時間越長，降解污染物質越多，且污染物濃度越高，降解效率越低，主要因為二氧化鈾在水溶液中活化區有限，無法全面降解污染，所以降解速率較慢，即以污染物濃度為 5.0ppm 時，降解效率最高，可達約 60%。

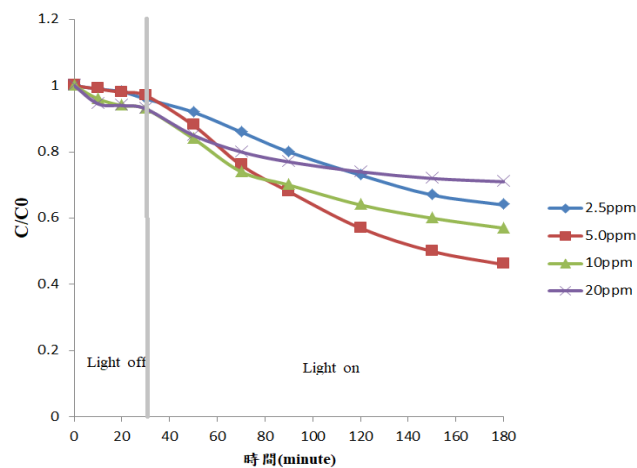


圖 8 諾氟沙星濃度對降解效率之影響  
( $\text{CeO}_2$  劑量 0.1g/L, 溫度  $25^\circ\text{C}$ )



### 3-5 不開紫外光純降解性能

當比較四種不同材料投加量對不開紫外光降解影響(如圖 9)，可得知若不開紫外光，當材料已達吸附飽和與平衡即無法降解，無法產生電子電洞對，使其降解效率低。

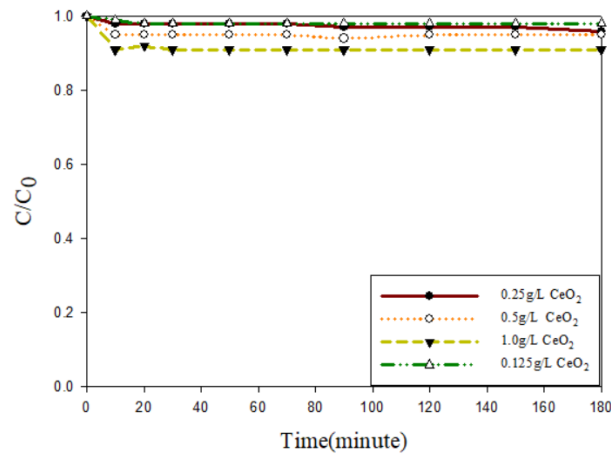


圖 9  $\text{CeO}_2$  純吸附對降解效率之影響  
(諾氟沙星濃度 10ppm, 溫度  $25^\circ\text{C}$ )

### 3-6 光觸媒使用量對諾氟沙星降解效率

當探討光觸媒使用量對降解效率之影響(如圖 10 與圖 11)，可得知在正常情況下當投加量越多，污染物因時間越長也會降解越多，當  $\text{CeO}_2$  投加量為 0.6g/L 時，降解較多(圖 11d)，當光源相同時，二氧化鈾吸收的光子數量保持不變。若二氧化鈾投加量較小時，光子無法達到飽和吸附;隨著二氧化鈾量的增加，二氧化鈾的活性位數增加，然而當光子實現飽和吸附時，二氧化鈾質量的增加不能增加光催化活性位點的數量，降低降解效率。在紫外光的照射下，會把光能轉變成化學能，促進有機物的分解加速反應效率，產生電子電洞對，吸附效率較高，而降解速率也較快，最後可得知於降解濃度為 5.0ppm，溫度  $25^\circ\text{C}$ ，投加量 0.6/L  $\text{CeO}_2$  時，對諾氟沙星處理效果較佳。

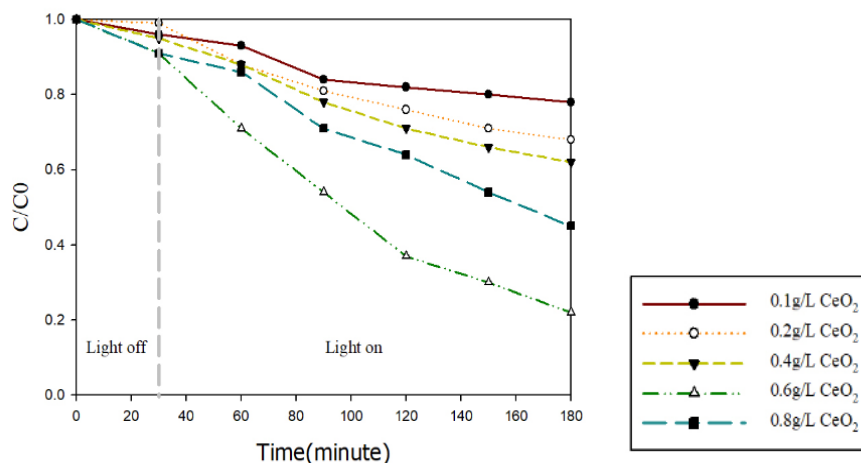
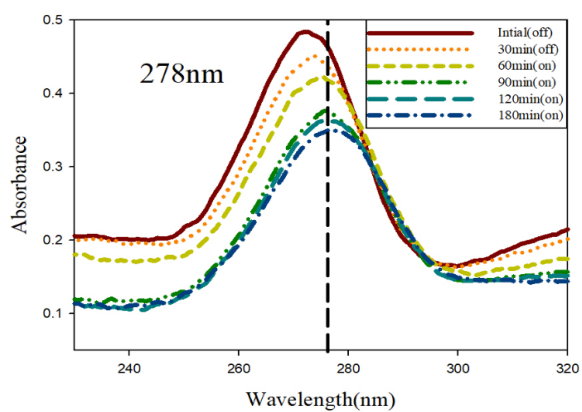
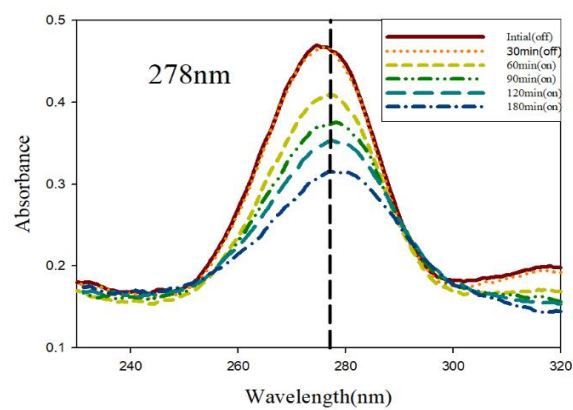


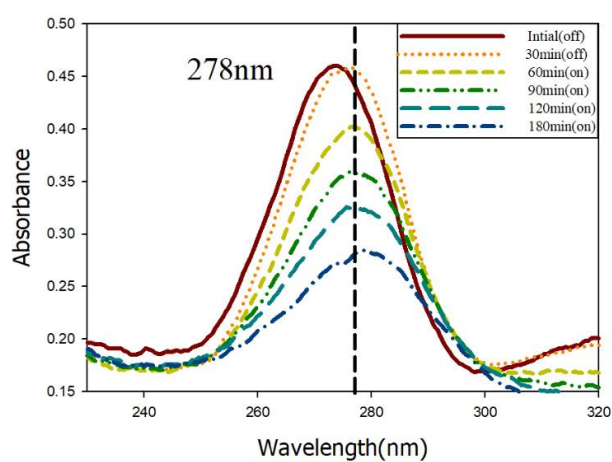
圖 10 二氧化鈾投加量對降解效率之影響  
(諾氟沙星濃度 5.0ppm 污染物, 溫度  $25^\circ\text{C}$ )



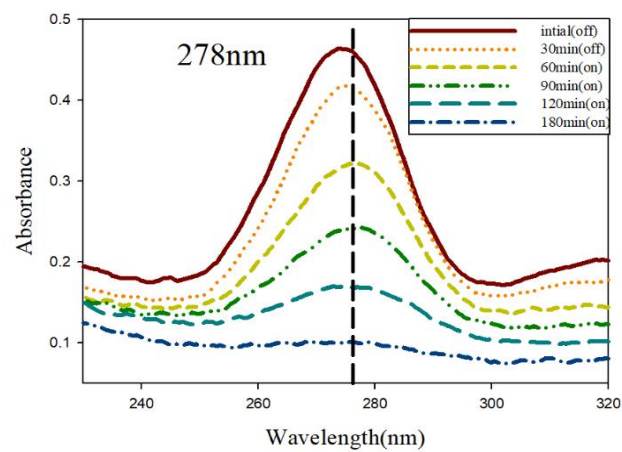
(a) 劑量為 0.1g/L



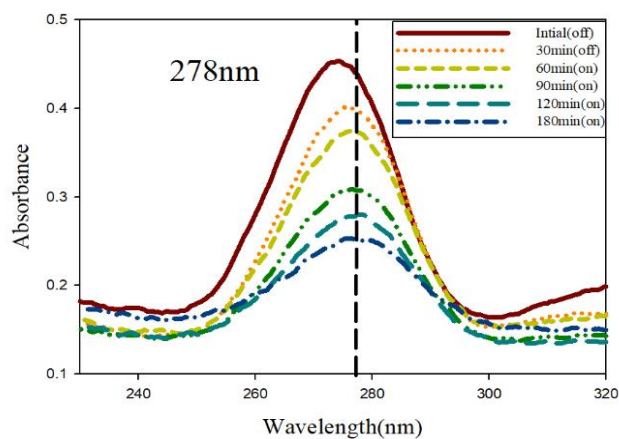
(b) 劑量為 0.2g/L



(c) 劑量為 0.4 g/L



(d) 劑量為 0.6 g/L



(e) 劑量為 0.8 g/L

圖 11 各種劑量對濃度 5ppm 之吸收圖譜時間變化

## 肆、結 論

當污染物濃度越高，降解效率越低；當投加量越多，污染物濃度因時間越長也會降解越多，投加量為 0.6g/L CeO<sub>2</sub> 時降解效能最佳；隨著二氧化鈾投加量的增加，二氧化鈾的活性位數亦增加，二氧化鈾質量的增加不能增加光催化活性位點的數量，降低降解效率。在紫外光照射下降解速率加快，促進有機物的分解加速反應效率，產生電子電洞對，吸附效率較高，而降解速率也較快，對於降解 5.0ppm 諾氟沙星污染物，溫度為 25℃ 與投加量 0.6/L CeO<sub>2</sub> 時，處理效果最佳達 80% 以上。

## 參考文獻

- [1] 鄭丹丹(2016):「鉑金負載石墨烯/二氧化鈦複合材料的製備及其光催化分解水產氫之研究」,國立宜蘭大學碩士論文。
- [2] Dongjuan Kang, Xiaolin Yu, Maofa Ge(2017), Morphology-dependent properties and adsorption performance of CeO<sub>2</sub> for fluoride removal, State Key Laboratory of Multiphase Complex Systems, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, PR China.
- [3] Duangdao Channeia, Auppatham Nakaruk, Panatda Jannoey, Sukon Phanichphant(2019), Preparation and characterization of Pd modified CeO<sub>2</sub> nanoparticles for photocatalytic degradation of dye, Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand.
- [4] P. Latha, K. Prakash, S. Karuthapandian(2017), Enhanced visible light photocatalytic activity of CeO<sub>2</sub>/alumina nanocomposite: Synthesized via facile mixing-calcination method for dye degradation, PG & Research Department of Chemistry, VHNSN College, Virudhunagar 626 001, Tamil Nadu, India.
- [5] Ruosi Peng, Shujun Li, Xibo Sun, Quanming Ren, Limin Chen, Mingli Fu, Junliang Wu, Daiqi Ye(2018), Size effect of Pt nanoparticles on the catalytic oxidation of toluene over Pt/CeO<sub>2</sub> catalysts, School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou, 510006, China.
- [6] S. Gnanam, V. Rajendran(2018), Facile sol-gel preparation of Cd-doped cerium oxide (CeO<sub>2</sub>) nanoparticles and their photocatalytic activities, Department of Physics, School of Basic Sciences, Vels University, Pallavaram, Chennai, 600 117, Tamilnadu, India



**Session I-2**  
**(10:50~12:00 , B204)**



## 綠色能源技術發展方面障礙及動力評估 Assessment of green energy technology development barriers and dynamic

鍾國章<sup>1\*</sup>

Kuo Cheng Chung<sup>1</sup>

1 國立澎湖科技大學行銷與物流系 助理教授

Assistant Professor, Department of Marketing and Logistic Management/ Institute of Service Management,  
National Penghu University of Science and Technology

### 摘要

在全球氣候暖化及節能減碳發展中,綠能科技將是下一個熱能產業產業,企業應如何善用此契機,發展能源產業、快速導入全球佈局,開創綠能產業發展的新領域。本研究探討了綠色能源技術進步及阻礙互動文獻。從文獻分析中可以規劃出三個決策準則,態度構面、激勵因素及障礙。並且確定每個構面之間相關的決策過程異同以及執行目標延遲因素。此外,本研究透過層級分析法進行分析研究門過層級分析了解到目前綠能科技產業發展及所阻礙因素。研究結果指出綠能科技定義不清楚導致學多產業及企業所認定範圍模糊造成許多障礙產生

**關鍵字:** 綠色產業鏈; 綠能科技; 綠色能源技術

### 壹、前言

電力發展產業目前正在發生變化。因此,台灣電力部門將在未來幾十年內應對巨大的挑戰。發展綠色能源技術在全世界得到高度重視,以減少碳排放,實現可持續發展的未來目標,並確保城市及其民眾的電力穩定性。然而,目前台灣綠色電力發展緩慢(Zgajewski, 2015)。

綠能科技是一個複雜且仍在不斷發展的概念。因此,即使民眾日認知,人們對的綠能科技定義和功能有幾種不同的了解。然而,整體而言,它可能被認為是一個升級的透過綠色技術提升電力網絡,供應商及消費者之間的雙向流通資訊(Zgajewski, 2015)。

儘管其確切定義存在不確定性,但人們普遍認為,綠能科技是一種為具有深遠影響的新技術(Kolokotsa, 2016)。Schleicher Tappeser (2012)認為綠能科技代表時間透明度,資源管理靈活度,透過市場機制進行控制在系統中與顧客產生互動。因此,有些學者認為綠能科技是一個國家能源安全的重要組成部分(Clastres, 2011)。

透過綠色產業鏈發展供應端角色也將發生變化。民眾可以將自己生產能源並將其出售給電力公司,彙整公司或其他私人民眾。可以將產生電能任務賦予消費者身上並且鼓

勵民眾參與。目前為止消費者被視為能源鏈中的被動接受者/購買者。實際上，顧客無論是個人或是群體都是獨立的（Goulden et al, 2014）。因此，本研究必須發掘出在綠能產業發展及阻礙因子，讓綠能科技產業推動順利。

## 貳、實驗方法

綠色科技產業發展指標之建構，以確立永續性綠色科技產業障礙及動力評估，進而發展永續性綠色科技產業的發展模式發展競爭優勢。本研究根據研究動機、研究架構與文獻探討為主透過文獻回顧，使其為主要之綠色科技產業發展指標建立，並運用層級分析法進行各量度衡量。

本研究擬運用文獻回顧法進行分析藉由上下供應商的意見來建立各項評量指標，再進一步以層及分析法評量各項指標的重要性。本研究分析彙整產、官、學界對於綠色科技產業永續發展之相關研究，進行台灣綠色科技產業永續發展指標之建構、解釋與預測，以確立永續性綠色科技產業事業關鍵成功因素之評估指標，進而發展永續性綠色科技產業的發展模式與推動策略。本研究調查對象主要為產、官、學界之專家；而政府方面，則為與綠色科技產業相關之政府機構；學術界專家則以國內大專院校設有綠色科技產業相關科系與研究所，以及學術研究專長與此領域相關之學校教授為調查對象

### 2.1 層級分析法

本研究使用層及分析法主要是過在系統化分析解決複雜決策問題解可以幫助決策者識別替選方案。

Saaty(2008, 2004)認為層級分析法首先透過定義問題來執行目標，然後將準則及次準則進行分析比較，最後將每一個層次結構系統化。所表現出在圖一是層層堆疊，說明問題時被視為是一種具有邏輯及系統組合。他可以透過以下標準了解問題：

- 目標 - 需要一個目標來確定標準。
- 準則 - 這些標準用於評估預定數量的替代方案。
- 替代方案 - 可供選擇的替代方案，以實現目標。
- 在替選方案設定過程中包含量化級及主觀標準
- 這是唯一一種 MCDM 技術，它具有檢查決策者定義的權重是否具有一致性的有效機制
- AHP 可以透過標準化標準值來彙整具有衡量每個單位具有不同分數
- AHP 一次比較兩個決策要素（標準/備選方案）。通過這種方式，決策者變得更加專注，從而提高了結果的準確性及可靠性。

## 參、結果與討論

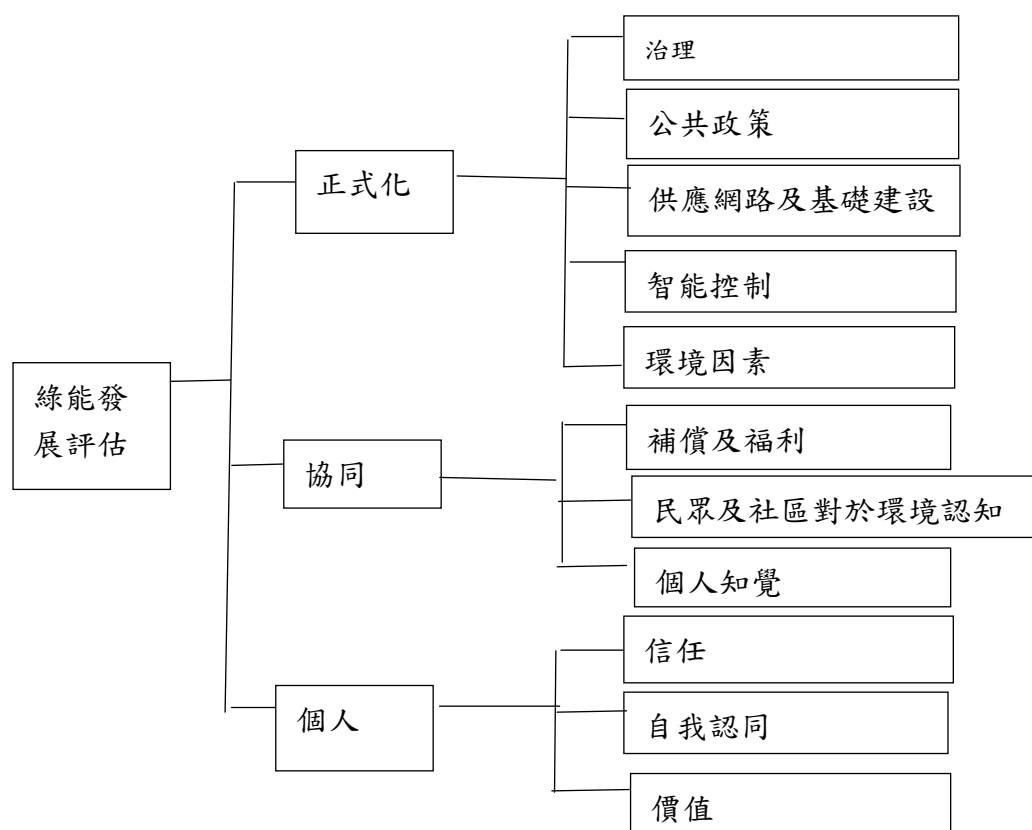
在下表1可以發現到每一個組成構面是從過去文獻回顧而來。由於這一種表示比較適合研究者也比較容易掌握研究主題，觀察結果分為以下標準。

表一、綠能發展評估文獻彙整表

|      | 準則 | 次準則 | 出處                     |
|------|----|-----|------------------------|
| 綠能發展 | 正式 | 治理  | Kuzemko et al. (2016); |



|    |    |             |                                                     |
|----|----|-------------|-----------------------------------------------------|
| 評估 |    |             | Lorenzoni et al. (2007)                             |
|    |    | 公共政策        | Lorenzoni et al. (2017)                             |
|    |    | 供應網絡及基礎建設   | Camarinha-Matos (2016); Negro et al. (2012)         |
|    |    | 智能控制        | Negro et al. (2012);                                |
|    |    | 環境因素        | van der Werff and Steg (2016)                       |
|    | 協同 | 補償及福利       | Tobiasson and Jasamb (2016)                         |
|    |    | 民眾及社區對於環境認知 | Tobiasson and Jasamb (2016)                         |
|    |    | 個人知覺        | Lorenzoni et al. (2007)                             |
|    | 個別 | 信任          | Lopes et al. (2016); Raimi and Carrico, (2016)      |
|    |    | 自我認同        | van der Werff and Steg (2016)                       |
|    |    | 價值          | van der Werff and Steg (2016); Hahnel et al. (2014) |



圖一、研究架構圖

### 3.2 主構面探討

第一部分透過 AHP 分析可以了解到正式權重值(0.483)所占最重，其次為協同(0.279)

**Priorities with respect to:****Goal:** 綠能發展評估

正式

**.483**

協同

**.279**

個別

**.238****Inconsistency = 0.00045****with 0 missing judgments.**

圖二、綠能發展評估權重圖

## 3.3 次準則分析

在正式化中可以發現到治理具有權重較高。說明在政府投入綠能產業時必須透過政府立法或是鼓勵才能夠將政策執行交為完整。

表二、正式化排序

|    | 構面        | 權重值   | 排序 | CI   |
|----|-----------|-------|----|------|
| 正式 | 治理        | 0.233 | 1  | 0.00 |
|    | 公共政策      | 0.212 | 2  |      |
|    | 供應網絡及基礎建設 | 0.203 | 3  |      |
|    | 智能控制      | 0.180 | 4  |      |
|    | 環境因素      | 0.168 | 5  |      |

## 3.2 次準則分析

在正式化構面中補償及福利所佔權重值較重(0.609)其次為民眾及社區對於環境認知(0.229)說明在協同部分人民所受到補償及福利是較為有感的。

表三、協同排序

|    | 構面          | 權重值   | 排序 | CI   |
|----|-------------|-------|----|------|
| 協同 | 補償及福利       | 0.609 | 1  | 0.00 |
|    | 民眾及社區對於環境認知 | 0.229 | 2  |      |
|    | 個人知覺        | 0.162 | 3  |      |

## (二)、個人構面

在個人構面中可以發現到信任全正值最高。自我知覺所佔權重值(0.231)。因此，可以了解到對於人們對於政府信任是權重最高。

表四、個別排序

|    | 構面   | 權重值   | 排序 | CI   |
|----|------|-------|----|------|
| 個別 | 信任   | 0.640 | 1  | 0.00 |
|    | 自我認同 | 0.231 | 2  |      |
|    | 價值   | 0.129 | 3  |      |

整體權重而言，在政府治理權重最重，公共政策第二。說明在綠能產業要退動時候是需要政府各個機關制定策略方向並且將這一些政策落實在每一個單位讓全民能夠參與綠能產業執行。

表五、整合排序

| 綠能發展評估 | 構面          | 權重值   | 排序 | CI   |
|--------|-------------|-------|----|------|
|        | 治理          | 0.166 | 1  | 0.00 |
|        | 公共政策        | 0.152 | 2  |      |
|        | 供應網絡及基礎建設   | 0.147 | 3  |      |
|        | 智能控制        | 0.129 | 4  |      |
|        | 環境因素        | 0.120 | 5  |      |
|        | 補償及福利       | 0.096 | 6  |      |
|        | 民眾及社區對於環境認知 | 0.036 | 7  |      |
|        | 個人知覺        | 0.026 | 8  |      |
|        | 信任          | 0.082 | 9  |      |
|        | 自我認同        | 0.030 | 10 |      |
|        | 價值          | 0.016 | 11 |      |

## 肆、結 論

綠色能源技術目前正在初步階段政府已慢慢朝向從低碳技術的開發及配置這一方面發展。但是目前有許多因素造成發展不如預期。

這些準則中最根本的可能綠色能源概念為加以落實，綠色能源在定義和界限缺乏明確性。文獻綜述強調了“綠色能源”概念的定義中的許多變化，以及哪種技術被認為是綠色能源及節能技術。目前，綠色能源定義繼續與歐盟能源部門的技術發展發展。缺乏對該概念的共同理解導致各成員國的解釋存在差異。綠色能源定義為“指能夠藉由自然界的循環以產生源源不絕且不會造成環境污染的能源，一般而言，綠色能源包括太陽能、水力能、風力能、海洋能、地熱能、氫能和生質能，也有人稱之為再生能源”（Camarinha-Mato, 2016）。一個定義側重於綠色能源可再生能源能力並且消費者能夠控制和參與市場(Giordano et al., 2013)。每一個國家對於綠色能源有不同解釋說明造成許多國家對於執行及作法差異。

在第一部分，正式權重值(0.483)為最重說明政府必須透過立法或宣傳讓民眾可以去了解政府對於綠色能源態度及策略。第二部分，正式構面中治理及公共政策所占比例最高說明在政府規劃之下從政府、市場或網絡，不論是在家庭、部落、正式或非正式的組織，不論是通過法律，規範，權力或語言所執政或經營的所有過程必須準從法令規範。在個別構面中可以了解信任權重值為最重可以了解到每一個民眾心理對於綠色能源有許多不了解。因此，政府必須透過媒體進行宣傳讓這一些規範能夠落實。在協同構面中補償跟福利權重值為最重可以了解到民眾對於綠色能源有興趣但是在價格部分，由於政府初期必須透過補貼方式鼓勵民眾去使用這一些工具等全民使用時候就可以減少補貼政策。最後整體分析部分治理為重要權重。可以了解到政府在推動公共政策時候不需透過全民檢視才能夠推動在初期時政府必須對於綠色能源定義在整體定義範圍內進行活動才能獲的實質效益。

## 參考文獻

- [1] Camarinha-Matos, L.M., 2016. Collaborative smart grids e A survey on trends. *Renew. Sustain. Energy*, 65, 283-294.
- [2] Energy for Europe Platform). Working Paper).Clastres, C., 2011. Smart grids: another step towards competition, energy securityand climate change objectives. *Energy*, 39 (9), 5399-5408.
- [3] Goulden, M., Bedwell, B., Rennick-Egglestone, S., Rodden, T., Spence, A., 2014. Smartgrids, smart users? The role of the user in demand side management. *Energy Res.*, 2, 21-29.
- [4] Kolokotsa, D., 2016. The role of smart grids in the building sector. *Energy Build.*, 116,703-708.
- [5] Kuzemko, C., Lockwood, M., Mitchell, C., Hoggett, R., 2016. Governing for sustainable energy system change: politics, contexts and contingency. *Energy Res. Soc. Sci.*, 12, 96-105.
- [6] Lopes, M.A.R., Antunes, C.H., Janda, K.B., Peixoto, P., Martins, N., 2016. The potential of energy behaviours in a smart (er) grid: policy implications from a Portuguese exploratory study. *Energy Pol.*, 90, 233-245.
- [7] Lorenzoni, I., Nicholson-Cole, S., Whitmarsh, L., 2007. Barriers perceived to engaging with climate change among the UK public and their policy implications. *Global Environ. Change*, 17 (3), 445-459.
- [8] Negro, S.O., Alkemade, F., Hekkert, M.P., 2012. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16 (6), 3836-3846.
- [9] Raimi, K.T., Carrico, A.R., 2016. Understanding and beliefs about smart energy technology. *Energy Res. Soc. Sci.*, 12, 68-74.
- [10] Saaty (2004), Thomas L, Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP), *Journal of systems science and systems engineering.*, 131-35.
- [11] Saaty, T. L. (2008), Decision making with the analytic hierarchy process, *International journal of services sciences*, 183-98
- [12] Schleicher-Tappeser, R., 2012. The Smart Grids Debate in Europe. *SEFEP (Smart Soc. Sci.* 17, 94-101.
- [13] Tobiasson, W., Jamasb, T., 2016. The solution that might have been: resolving social conflict in deliberations about future electricity grid development. *Energy Res.*25, 55-62.
- [14] Van der Werff, E., Steg, L., 2016. The psychology of participation and interest in smart energy systems: comparing the value-belief-norm theory and the value identity-personal norm model. *Energy Res. Soc. Sci.*, 22, 107-114.
- [15] Zgajewski, T., 2015. Smart Electricity Grids: a Very Slow Deployment in the EU. Egmont Royal Institute for International Relations. Egmont Paper 74. <http://www.egmontinstitute.be/content/uploads/2015/03/new-egmont.papers.74>.

## 多元廢棄物資材化環保貓砂之創新研究 Innovation study of eco-friendly cat litter from multiple solid wastes by resources recycling technology

吳俊毅<sup>1\*</sup> 洪三讚<sup>2</sup> 陳詠璿<sup>3</sup> 莊季澄<sup>4</sup>

Jun-Yi Wu<sup>1</sup> San-Tsan Hung<sup>2</sup> Yong-Xuan Chen<sup>3</sup> Ji-Cheng Zhuang<sup>4</sup>

1 遠東科技大學機械工程系助理教授兼環境能資源研究中心主任

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

Director, Environmental Resources and Energy Research Center, Far East University

2 遠東科技大學餐飲管理系助理教授

Assistant Professor, Department of Food and Beverage Management, Far East University

3 遠東科技大學行銷與流通管理系研究生

Graduate Student, Department of Marketing and Logistics Management, Far East University

4 遠東科技大學機械工程系大四生

Senior Student, Department of Mechanical Engineering, Far East University

\* Corresponding author: [jeanswu@mail.feu.edu.tw](mailto:jeanswu@mail.feu.edu.tw)

### 摘要

依照目前寵物用品市場經濟規模初估約達 500 億元，與農業委員會動物保護資訊網所提出 106 年家貓總估計數 733,207 隻(約 73 萬隻)計算，單是貓砂每月用量換算約為 6.5 億元，每年則高達 78 億元，占整體市場規模 15.6%。未來預期國民生育率在低點的水準相信飼養寵物的人將會更多，藉時貓砂產品市場需求與商機將會不斷擴大。據統計 2016 年國人喝掉高達 28.5 億杯現煮咖啡，平均每人每年喝進 122 杯，換算每天產生 34 噸的咖啡渣，每年可產生 12,410 噸的咖啡渣，引起許多人開始研究咖啡渣的附加價值及特性並廣泛應用於日常生活中。根據環保署廢管處 2017 年事業廢棄物申報流向最新統計資料，針對本團隊回收有機廢棄物包含咖啡渣、果菜渣、蛋殼粉及農林牧廢棄物等，超過 100 萬公噸，但普遍存在再利用低、成本高、臭味逸散與環境污染等嚴重問題。本團隊以解決台灣目前有機廢棄物無法有效再利用與加值化為出發點，研發出市面上未有的咖啡渣、蛋殼粉與蚓糞混合的寵物用品-環保貓砂產品。將咖啡渣、蛋殼粉與蚓糞，透過「前處理」、「造粒成型」等核心技術，其中前處理技術包括高溫煅燒、破碎、比例摻配、純化與分篩，製作與市面上不同的產品，具高吸水率、高凝結性、除臭性，達到具環保、資源再生的「環保貓砂」。為了實踐循環經濟理念，我們採用逆向回收優惠販售概念，將使用後的貓砂，透過賣場、清潔隊、村里辦公室等銷售據點回收，以優惠及折扣方式回饋給消費者，我們再將廢棄物貓砂經由團隊研發的「快速製肥」專利技術，製成有機肥料使用，回歸於農地等。

**關鍵詞：**環保貓砂、資材化、咖啡渣、蚓糞、蛋殼

## 壹、前言

現今社會型態轉變，養寵物的動機不只是經濟或實用為目的，而是可以在寵物上得到情感陪伴的功能以及與飼主產生互相依賴的關係，願意對自己的寵物增加花費，形成一個龐大得商機。依照目前寵物用品市場經濟規模約新台幣500億<sup>[1]</sup>。若以行政院農業委員會動物保護資訊網所提出106年家貓總估計數733,207隻(約73萬隻)計算<sup>[2]</sup>，單是貓砂的每月用量換算市場約為6.5億台幣<sup>[3]</sup>，換算每年高達78億元，占整體市場規模15.6%，未來預期，人口生育率在低點的水準時，飼養寵物的人將會更多，相對市場需求也會增加，商機將會不斷擴大。

另一項數據統計2016年台灣人喝掉多達28.5億杯現煮咖啡<sup>[4]</sup>，平均每人每年喝進122杯，台灣每天就製造出34噸的咖啡渣<sup>[5-6]</sup>，換算一年可產生12,410噸的咖啡渣，一般人都把咖啡沖泡完剩下的咖啡渣丟掉，許多環保人士也開始研究咖啡渣的功能及特性廣用於日常生活當中。

根據環保署廢管處2017年事業廢棄物申報流向最新統計資料，針對本團隊回收有機廢棄物包含咖啡渣、果菜渣、蛋殼粉及農林牧廢棄物等，超過100萬公噸，但普遍存在再利用低、成本高、臭味逸散與環境污染等嚴重問題。目前本團隊所生產的有蚓糞有機肥每年可達30噸。

## 貳、產業環境分析

### 2.1 產業發展趨勢與市場分析

台灣 1999 年進口咖啡量約 4,794 噸，2016 年飆升約 30,327 噸。若換算成飲用杯數，以每杯咖啡用掉約 10 公克 咖啡粉計算，1999 年台灣喝掉了約 4.8 億杯現煮咖啡(平均每人約 21 杯)，2016 年則喝掉了約 28.5 億杯(平均每人約 122 杯)，17 年來國人咖啡飲用量成長了 5.8 倍，且逐年提升。

本團隊與金礦咖啡連鎖合作，根據統計每年金礦咖啡約產生 100 公噸咖啡渣，占整體咖啡市場的 1.2%。金礦咖啡每年需付回收處理費用就花費新台幣 50 萬元，假設將咖啡渣全部用來製作環保貓砂與有機肥料，本團隊能創造將近新台幣 4,166 萬元龐大商機。計算方式說明:若以 1:1:1(咖啡渣:蛋殼粉:蚓糞)比例做混拌，10 公升貓砂=3.6 公斤，3.6 公斤÷3=1.2 公斤、10 公升貓砂需要 1.2 公斤咖啡渣，100 公噸咖啡渣可做 833,333 公升貓砂。10 公升貓砂賣新台幣 500 元，100 公噸咖啡渣做成貓砂可賣新台幣 4,166 萬元。

### 2.2 產業結構分析

本團隊打破現有產業結構的藩籬，成為整合性的創新綠能企業，快速突破市場所建立的高牆。我們將利用五力競爭者來說明，現在所持有的優勢及各面向造成威脅程度。

#### (1)現有競爭者威脅

從貓砂來看目前競爭市場。本團隊以咖啡渣、蛋殼粉與蚓糞整合作為環保貓砂用市場，是目前並未有的創新產品，並強調環保與再利用方式，且回收廢棄物不需付費，蚓

糞成本近乎為零，且本團隊環保貓砂的性能是最好的，所以價格在中高價位，而使用過後的貓砂回收後還可折扣下次購買環保貓砂的費用，可加深消費者的印象並增加消費者購買意願。本團隊經營理念的出發點與執行力上的落差，本團隊有絕對的自信，能以貓砂和回收後所製成的有機肥料而來的資金，在第二年打平，並利用高度循環經營模式，從第一年就超越目前從事貓砂和有機肥料的競爭者。

## (2)供應商議價威脅

本團隊深入金礦咖啡、果菜市場、食品與農林牧業所產生的有機剩餘資材中，以不收處理費來收取這些廢棄物，所以業者可省下處理費來加強誘因選擇本團隊作為最佳合作對象，可更加貼近顧客，也可加深顧客對我們本團隊的企業忠誠度與合作關係。

## (3)替代品競爭威脅

本團隊針對現有貓砂性能不足與缺點，利用專利技術「前處理」與「造粒成型」研發而成，雖然價格比他牌高些但產品性能比現有高、更還保，有全方位完勝的優勢，因此威脅程度為低，圖 1 為五力競爭者分析。

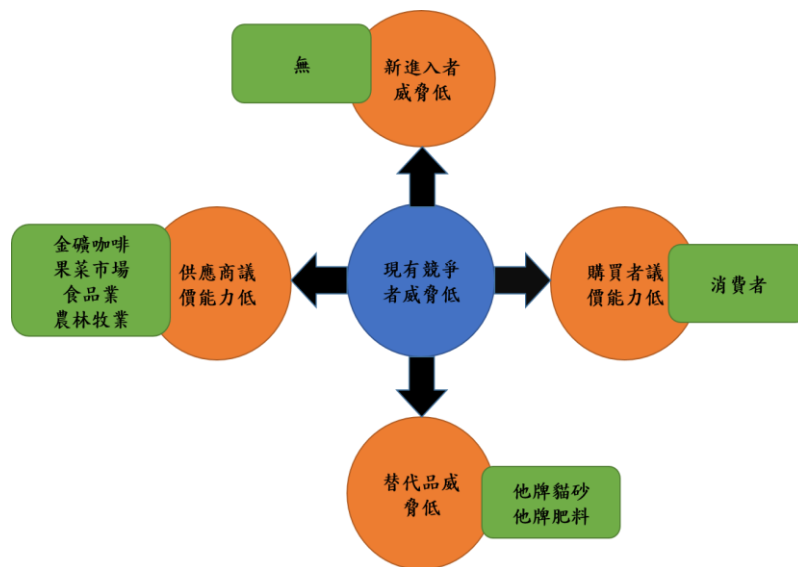


圖 1 五力競爭者分析圖

## (4)SWOT 分析

本團隊透過 SWOT 分析，了解競爭環境中的優勢、劣勢、機會與威脅。其 SWOT 分析內容如圖 2 所示。



圖 2 SWOT 內外優劣勢圖



## 參、商業模式營運分析

### 3.1 商業模式

本團隊主要採用 B2C 的模式，回收多元廢棄物並在廠內回收、處理、製造、包裝與運送至商店中，目標顧客主要有寵物用品店、寵物醫院、流浪貓之家與寵物餐廳等，透過逆向回收折扣方式吸引消費者前往購買，並且將回收後環保貓砂轉質為有機肥料再販售給有機農戶。目前貓砂產品製程與現行商業模式如圖 3，本團隊導入逆向優惠零廢棄轉質之創新商業模式如圖 4 所示。

### 目前貓砂製程與商業模式

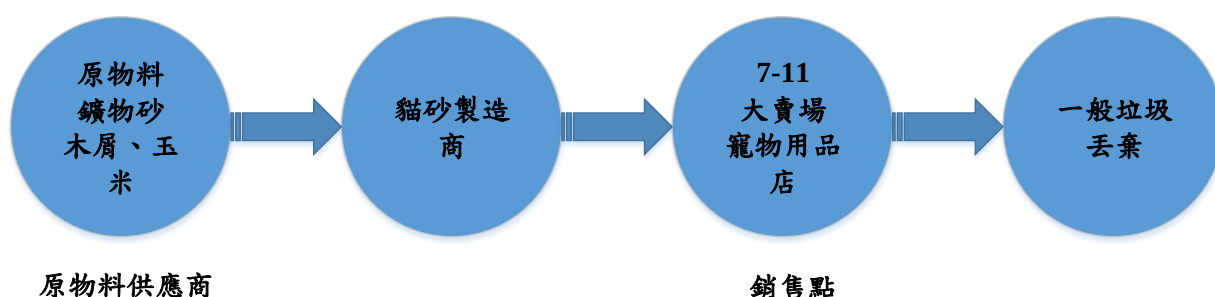


圖 3 目前貓砂製程與商業模式圖

### 本團隊創新商業模式：(逆向優惠零廢棄)

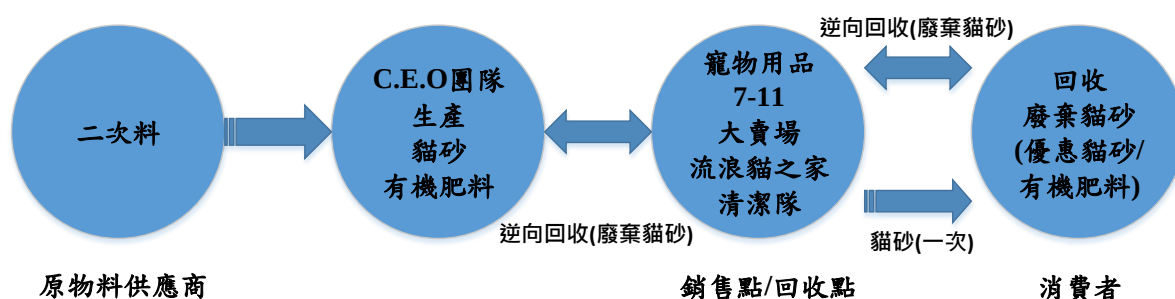


圖 4 本團隊創新環保貓砂商業模式圖

### 3.2 經營規劃

本團隊，基於環保永續理念，貫徹改變社會、改變環境為出發點，仔細進行企業現有資源的盤點，並依據 SMART 原則規劃出一套能完成大業，可行性的經營規劃與營收策略，來幫助企業達成所設定的營收與發展目標。

#### a. 初期(1-2 年)營運模式

本團隊，將投入 1,500 萬元來建設廠房、購買設備、生產產品與支付人事等開銷。

針對初期策略，回收金鑽咖啡連鎖體系的咖啡渣且和鄰近果菜市場與食品業者回收食品及農林牧廢棄物，進行前處理後整合成產品。本團隊提倡在每家寵物用品店設置一個回收站，以鄰近方式回收，將使用後的貓砂做回收，且回收後以每 10 公升換取 1 公升貓砂價錢做折扣給顧客，並且使用回頭車概念作回收，可節省回收運費費用支出。



本團隊使用快速醱酵堆肥技術將回收後貓砂，先做混拌比例調整，加熱調節碳氮比，在 3 小時內完成醱酵，可作為有機肥料。不僅可省去回收運費支出還可將使用過貓砂作再利用。本團隊初期以建立知名度與客源為首要目標，利用產品的多項特色與折扣方式提高顧客印象。在 1 至 3 年內我們將把重心放於產品生產流程上與販售服務。

#### b. 中期(3-5 年)營運模式

在資金與客源逐漸充裕及工廠發展逐漸穩定後，本團隊邁入第二階段 3 至 5 年。

本團隊穩定市場後將新增回收據點例如：大賣場、寵物醫院、清潔隊與寵物餐廳等來提供消費者更加方便處理使用後的貓砂。持續以咖啡渣與蛋殼粉作為研究出發點，研發更多相關產品，包括：吸附劑、肥皂、天然肥料、土壤改良劑等，並且申請國內外專利和參加各項展覽與競賽，增加知名度。

#### c. 長期(5 年以上)營運模式

本團隊預計 5 年後搶占 2 成以上貓砂市佔率，加強提倡循環式環保貓砂宣導，此時本團隊往海外擴展，先從美國、日本、韓國與中國等國家市場開始，這些國家都是咖啡需求量大大的國家。圖 5 說明短、中、長期營運方針圖。

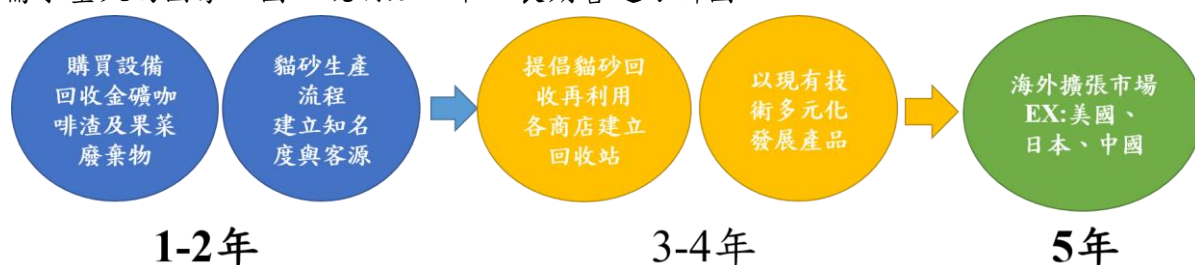


圖 5 預估短、中、長期營運模式方針圖

## 四、結論與投資效益

### 4.1 營運計畫之結論

- (1) 本團隊結合卓越的技術研發與優秀的經營管理團隊，利用「前處理」、「造粒成型」、「快速醱酵堆肥」技術，運用市場機會與優勢，成立「C.E.O」公司
- (2) 「前處理」與「造粒成型」技術擁有對於咖啡渣處理優勢，此外所製作出來環保貓砂，對於現有寵物市場-貓砂而言，不僅能超越現有貓砂吸水率、凝結性、除臭性與成本，且回收後貓砂透過多項專利核心技術「快速醱酵堆肥」可改質成有機肥料，達到循環經濟模式。
- (3) 本團隊在創業初期將透過參與商展、發明展、政府企劃案與創業競賽等交流，以累積相關創業資金，並同時提升團隊知名度。

### 4.2 經濟效益

本團隊運用「前處理」、「造粒成型」、「快速醱酵堆肥」多項核心技術成立試營運工廠，團隊未來將創立公司，將為咖啡業者、食品業、果菜市场、農會和農林牧業者等跨領域所產生的多元剩餘資材加值化，除了省下每年數千萬元委託清除處理成本，也轉質為環保貓砂產品，並且循環再利用為有機肥料循環利用，創造藍色經濟。

初期以B2C模式做回收/處理/銷售等服務，以「前處理」、「造粒成型」技術為主，主打高吸水率、凝結性、除臭性與成本的優勢，快速越過市場壁壘。在中期成立公司，增加環保貓砂回收站，透過「快速醱酵堆肥」改質成有機肥料，與研發多項產品。長期，在台灣建立品牌價值與深耕經營後，我們將擴大生產線深度並擴大經營規模，朝擁有大量咖啡渣的美國、日本、中國等國家，提供咖啡渣處理技術與環保貓砂產品，打造國際化「循環資源、永續經營」的新創公司，鮮明綠色企業形象，共創企業、經濟與環境多贏模式。

## 參考資料

- [1]2018 年，台灣寵物經濟規模 500 億，毛小孩經濟學，資料來源：<https://udn.com/news/story/6837/3301079>
- [2]行政院農業委員會動物保護資訊網，106 年，家貓總估計數 733,207 隻，資料來源：[https://animal.coa.gov.tw/html/index\\_06\\_1\\_Y106.html](https://animal.coa.gov.tw/html/index_06_1_Y106.html)
- [3]每月貓砂：便宜一點的崩解木屑砂，大概要 600 元。好一點球砂或礦砂，大概是 900 元。資料來源：  
<http://aileens.pixnet.net/blog/post/43263784-%E4%B8%80%E9%9A%BB%E8%B2%93%E7%9A%84%E8%8A%B1%E8%B2%BB%E8%A6%81%E5%A4%9A%E5%B0%91%E9%8C%A2%EF%BC%9F%E9%A4%8A%E8%B2%93%E5%89%8D%E4%B8%80%E5%AE%9A%E8%A6%81%E6%83%B3%E6%B8%85%E6%A5%9A>
- [4]聯合新聞網：每年喝掉 28.5 億杯咖啡，平均每人一年喝掉 122 杯咖啡，資料來源：<https://udn.com/news/story/7186/2410411>
- [5]i.Question 線上調查網：2018 年，台灣咖啡豆的進口數量可能達 4 萬噸，資料來源：<https://www.i-q.com.tw/surveyPoint.html?anId=an1525749417385>
- [6]高達 90%的咖啡豆原料最後會成為農業廢棄物，[自由評論網](http://talk.ltn.com.tw/article/breakingnews/2183229)，資料來源：<http://talk.ltn.com.tw/article/breakingnews/2183229>

## 蚓魚菜共生創新系統之應用 Application of aquaponics with earthworm innovation system

吳俊毅<sup>1\*</sup> 蔡翰陞<sup>2</sup> 翁任鋒<sup>3</sup> 陳智成<sup>4</sup>

Jun-Yi Wu<sup>1</sup> Han-Sheng Tsai<sup>2</sup> Ren-Feng Weng<sup>3</sup> Chih-Cheng Chen<sup>4</sup>

1 遠東科技大學機械工程系助理教授兼環境能資源研究中心主任

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

Director, Environmental Resources and Energy Research Center, Far East University

2 遠東科技大學機械工程系研究生

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Far East University

3 遠東科技大學機械工程系大四生

Senior Student, Department of Mechanical Engineering, Far East University

4 遠東科技大學機械工程系特聘教授兼綠能材料研究中心主任

Distinguished Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

Director, Green Energy and Materials Research Center, Far East University

\* Corresponding author: [jeanswu@mail.feu.edu.tw](mailto:jeanswu@mail.feu.edu.tw)

### 摘要

傳統魚菜共生系統遇到的最大瓶頸為養殖池中魚糞與飼料所產生的消化菌過多，造成植物難分解、吸收緩慢，本團隊創新研發，透過系統中的蚯蚓，產生的蚓糞酵素經由消化槽、儲存槽、過濾系統等裝置加速分解魚飼料與排泄物，吸附氮、磷、鉀等有機物的植物營養來源，解決硝酸鹽無法平衡等問題。本系統建置一套循環具保水性、保肥性與通氣性的蚓魚(蝦、貝)菜共生系統並結合種電系統，最終產生無須添加農藥、化肥的有機蔬菜以及塑造健康無毒的養殖環境，其優勢包括 1.系統達成自體循環與自產營養源平衡、2.槽體不需要定期清洗更換、3.搭配植栽牆與種電儲能等多元應用。此創新系統可推廣應用於魚塭、屋頂陽台、植栽牆、大樓車道等景觀設計與玄關等綠化環境與綠電儲能，也可以透過種電與科技環控供應養殖時的氧氣且不受環境限制。本團隊目前已將此系統擴大至 3 噸的養殖池，養殖種類包括鱸魚、鯽魚、寶石鱸、紅尼羅等，結合室外的水耕蔬菜與室內山蘇的植栽牆以及屋頂的太陽能吸收板轉換為電力儲能，用於室內植物燈照明與養殖池曝氣之用，並作為教學參觀的示範場域、營造綠電再生、永續循環、綠意盎然的生態景觀，並提供新鮮有機蔬食。

**關鍵詞:** 蚓魚菜共生系統、消化菌、蚯蚓、有機蔬菜、植栽牆

## 壹、前言

根據統計目前世界人口數已超過 76 億人，造成糧食嚴重短缺與地球暖化的問題，研究機構 Beecham 分析，在未來 40 年內全球必需改善農業產能，並降低有害化學農藥的使用，減少食物消耗與浪費的同時，也必須保護自然環境。然而現在都市化急遽發展，必須與農爭地，擴大土地建設開發，成形水泥叢林，嚴重影響農地耕種面積與農民生計，不得不到城裡當農民工，而「魚菜共生」技術正在改變傳統農業的耕種方式，能夠順應環境趨勢，與現代社會發展最為契合、並能有效解決糧食短缺的問題。

傳統魚菜共生系統執行困難處為水中的硝化菌與硝酸鹽平衡問題，常需藉由控制魚的餵食量和種植植物數量來調整，因此傳統魚菜共生要建立完整的硝化系統並不容易，包含環境溫度、pH 值、溶氧量、光照、過濾與硝化系統及魚的數量多寡，皆會影響硝化系統的穩定及平衡，甚至目前最直接的解決方式就是換水，雖然控制魚的餵食量和種植植物數量亦能調整系統中的硝酸鹽平衡，但是所付出之成本高、經濟效益低等問題。

## 貳、蚓魚菜共生系統簡介

改良傳統魚菜共生系統硝酸鹽難平衡問題，本團隊已研發並試量產結合蚯蚓產生蚓糞吸附氮、磷、鉀等有機物的植物營養來源，建構循環具保水性、保肥性和通氣性之「蚓魚菜共生+種電系統」，最終生產無須添加農藥、化肥的有機蔬菜及健康無毒養殖，且符合綠電再生與綠能潮流。

本團隊開發的蚓魚菜共生系統 2.0，包含「蚓魚菜共生+種電系統，Earthworm Aquaponics + Solar EV 2.0」，不僅擴大養殖的族群種類，魚蝦貝類增加產值，而且所產生的電力不但能提供養殖與農業種植之電力需求，還能將多餘的電力轉賣給電力公司，創造綠能經濟。本系統為了更貼切商業化模式與符合實際營運，與市面上企業所追求的差異性定位，此系統更能多元應用於魚塢、屋頂陽台、融入景觀設計、植栽牆與大樓玄關和綠化公共空間，符合企業、個體戶、家庭與校園等多元需求。透過種電與立體化的科技環控供應養殖時氧氣且不受環境限制。營造綠電再生、永續循環、綠意盎然的生態景觀，並能提供消費者與客戶新鮮、有機的蔬食與豐富的蛋白質來源。

本團隊所開發的蚓魚菜共生系統 2.0，強調環保有機、綠電再生、生態景觀為主要之特色，將以消費者為導向，價值利益為訴求，將研究發展端整合品牌行銷端，客製化以創造客戶的最大利益，以最低能耗與營運成本，創造最大利潤。不僅無毒健康、綠能科技，依其營運規模，產品包括有機蔬菜、蚯蚓與魚蝦貝類以及電力。未來能夠在各企業、校園與公共空間等廣泛推動並建置此系統，傳達環保、綠能與景觀生態等多元面貌。透過蚯蚓的消化、養殖魚類與種植蔬菜(水耕與氣耕)的循環系統，將各自產生的廢料(液)，提供給下個處理階段的營養源。

## 參、蚓魚菜共生系統原理及架設結構

養殖水產動物所產生富含營養鹽的排放水，利用蚯蚓將魚糞轉化成多元素的蚓糞融入水中，並藉由微生物、細菌將水中營養鹽轉換成可供植物吸收的型態，再經過植作物吸收利用，淨化後的水體可以回收再利用提升水資源的利用率，並增加農業生產之收益，其蚓魚菜共生系統流程說明如圖 1。

### 3.1 養殖桶

養殖桶形狀會影響水的流動，不規則形狀的桶形會形成水無法流動的死角，造成排泄物聚集而產生毒素，故以圓桶平底較佳。圓形桶使水的循環較為均勻，且能使沉澱物藉由離心力集中於圓心方便排出。養殖桶的材質以耐衝擊強化塑膠或玻璃纖維為佳，因其耐久性較佳、重量較輕且容易安裝。養殖桶內面的顏色以白色或淡色為佳，因為這類顏色容易觀察到魚的行為及沉澱物累積的情形。養殖桶上方必須覆蓋以免藻類滋生，也可避免魚隻跳出或雜物掉入桶內。養殖桶須有防止人為操作錯誤、排水閥故障或管路破裂等造成水意外漏光的安全機制。如馬達抽水口不要插到桶底而保持一安全水位、排水管管口與桶底保持一段距離或安裝低水位警示裝置。由於新設系統時常會有所謂的“新缸症候”，主要是因為新系統中菌相及藻相尚未達到平衡，導致水質不穩定。因此新系統必須經常注意水質，只要不偏離標準值太多也不必給予太多的干涉調整，通常約需 1~1.5 個月就能漸趨穩定。

### 3.2 過濾系統

主要用以將固態或懸浮的排泄物從水中分離出來，因為這些排泄物如在養殖桶內分解將會產生有害的成份，且大量的排泄物可能造成管路堵塞影響水流。過濾的型式有很多種，最簡單的方式就是利用篩網。但篩網必須經常清洗，才能避免阻塞。也可利用填充特殊材料的過濾桶來進行過濾，並將蚯蚓養在過濾材上攝食魚糞轉化成富含多種元素及益菌的蚓糞。透過過濾系統大約能移除 60% 的固態排泄物，能降低有機質在系統內累積，對水質維護有極大的幫助。

### 3.3 硝化系統

部分魚的排泄物會碎散或直接溶解在水中，而無法透過機械式過濾移除。因為這些排泄物主要是氨態氮，不但無法被植物所利用，甚至對魚產生毒性。生化過濾器利用硝化菌可將氨轉換成硝酸，而降低水中氨的濃度。生化球具有特殊的形狀，是一種多孔隙材質，有非常大的體表面積，是生化過濾器最普遍使用的材質，以生化球填充在生化過濾器內，能提高硝化反應的效率。其他可用的材質有火山岩、陶瓷環、發泡煉石、尼龍網、生化棉及毛刷等。對於有栽培介質的系統(FAD) 則不需要生化過濾器，因為植床介質本身就是形同一個生化過濾器，但仍有必要裝設過濾器將固態排泄物濾除，以免介質內累積太多有機物，造成分解時產生有毒物及堵塞管路系統。維持一個健康的生化過濾器最重要之參數，就是足夠的表面積和適當的水質。菌群會附著在各種材質上，如根系、養殖桶之桶壁、管路管壁等，附著面積的範圍端看菌群能夠代謝多少氨。水體 pH 值對

硝化菌將氨轉換成氮素有極大的影響，對一般硝化菌，其 pH 值最適範圍為 6~8.5，但對系統而言較適合的範圍在 6~7，整體硝化菌生長和繁殖最適當的溫度範圍約在 17~34℃，如低於 10℃則其繁殖力會降低 50%。硝化作用是一個好氧反應，因此硝化菌需要適當的溶氧，最佳的溶氧值(DO)為 5~8 mg/L。溶氧量不足可能造成別的菌種生長，甚至會將有用的硝酸轉換成無法吸收的分子態氮。生化過濾器的大小與每日飼養的量有關，其最主要的考量是過濾器的型態與表面積。較大表面積能聚集較多的硝化菌，能更快速的將氨轉換成硝酸鹽。

### 3.4 栽培植床

#### a. DWC 深水栽培系統(Deep Water Culture)

DWC 的作物栽培系統基本上與一般浮筏式的水耕栽培系統相似，基本上是一個有進水口、出水口不漏水的栽培槽。栽培槽的材質有 FRP、強化塑膠、保利龍或以木板釘製再鋪防水布等。栽培槽的寬度須配合定植板，深度至少需 30 cm。定植部分則以保利龍定植板及水耕花飛碟最為普遍。為改善栽培槽水體的溶氧量，可在槽內設置空氣管並放置氣泡石。

#### b. FAD(栽培介質的潮汐型系統)

在植床填充粒狀物質做為栽培介質，能使作物根系有較好的支撐，因此可栽培的作物種類也比較多。在魚菜共生系統的植耕槽中所填充的顆粒，同時具有機械過濾及生化過濾的功能。但對於養殖密度較高的系統，在植槽入水口最好再設置一個初級過濾器，攔截一部份固態排廢物，以免阻塞介質間的孔隙。

FAD 系統可藉由虹吸立管及鐘形管開口高度，設定最高及最低水位，介質植床會依深度形成乾區、乾濕區及濕區三種不同的區域，每層各有不同的微生物相。在介質最上層的 2~5cm 為乾區，乾區主要的作用是用以形成光屏障及避免太陽輻射直接對水加溫，保護對光敏感的益菌繁殖，也能避免真菌及有害菌類滋生。另一個重要的影響，就是能覆蓋其下的乾濕區降低水分的蒸散。乾濕區位於乾區下方，厚度約 10~20cm，大部分的生物活動如有益菌的繁殖、根系的發展及微生物活動都集中在這個區域，植物及微生物能在此區域獲得養分及水分。如在介質中加入蚯蚓，有助於分解魚的排泄物及其他廢棄物，此區為其主要的活動區域。濕區位於植槽底部上方 3~5cm，經常維持在恆濕的狀態，細小顆粒及淤泥會累積在其中，因此亦為礦化作用的主要區域。潮汐式灌溉可確保植物的根圈有足夠的營養鹽和空氣，也能使介質保持濕潤，並讓硝化菌繁衍。FAD 系統通常以每小時 1~2 次的頻率進行運作。

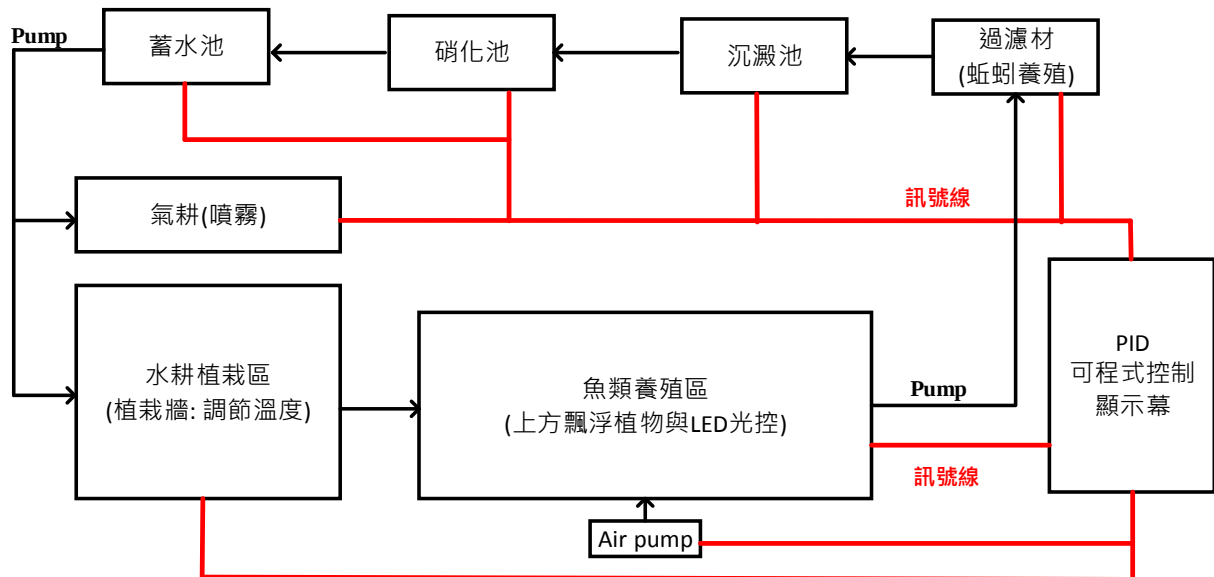


圖 1 蚓魚菜共生系統之流程圖

流程圖說明:

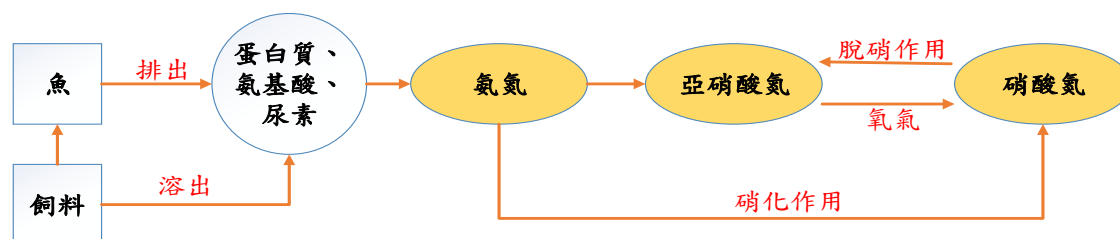
1. 沉澱池：安裝過濾材，目的是將水中懸浮顆粒物質或膠體物質清除乾淨，阻隔魚糞排泄物直接流入栽種區，並藉此提供蚯蚓食物營養源。
2. 硝化池：安裝多孔性材質，生成硝細菌、微生物將營養鹽轉換成可供植物吸收型態，再經過作物吸收利用，吸收淨化後的水體可以回收再利用。

共生系統是一種半封閉系統，系統中植物所需之營養鹽主要由飼育的魚類的飼料所提供，現有水產飼料是專為魚類所設計，並非針對蚓魚菜共生系統所調配，且不同魚種所需的營養也有所不同，因此在運作時會因魚種、菜種不同而有不同養分缺乏情形。

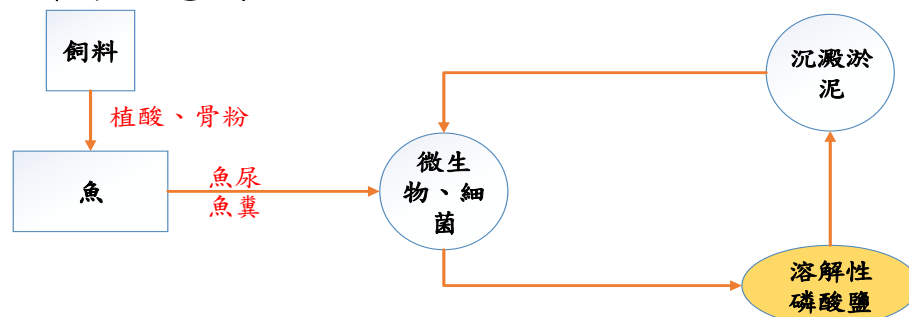
一般水產配合飼料是由魚粉、豆粉、肉骨粉、黏著劑、綜合維他命、礦物質及其他添加劑等所組成。其中魚粉、豆粉及肉骨粉等是系統中氮的主要來源，然而豆粉和肉骨粉則是系統中磷的主要來源。養殖排放水營養鹽是來自於魚類從鰓、尿液及糞便排出的氮和磷的代謝產物、與飼料溶失於水中的營養成分等，經由細菌分解為可供植物利用的營養肥份，系統水中的氮源與磷源產生說明如圖 2 所示。



## ● 氮源示意圖



## ● 磷源示意圖



● 系統植栽作物可吸收源

圖 2 水中氮磷產生示意圖

### 3.5 水體影響因子

#### 3.5.1 酸鹼值 (pH)

魚類養殖時水中酸鹼值以中性偏鹼較佳，而植物生長時為吸收環境中的營養鹽，較適合酸鹼值為中性偏酸，且水中微量元素會因為鹼性而沉澱不利作物吸收利用。為使系統中的養殖物與作物皆能順利成長，系統中酸鹼值應盡量維持於 6.5 至 7.5 間。

#### 3.5.2 溶氧量(DO)

整體系統中溶氧是動植物都必需注意的一個參數，系統的水中的溶氧如能維持在 5ppm 以上，動植物皆可正常成長，溶氧較低時魚類的攝餌及成長情形會變差。若因停電或機具故障造成系統停擺時，短時間內作物不會受到影響，而魚類則可能大量死亡。為避免系統因機具故障或停電而造成損失，應設置備用電源及緊急維生系統。

#### 3.5.3 溫度

整體系統中溫度變化會影響魚類的新陳代謝，當水溫在魚類成長較合適的範圍內，溫度高時魚類攝餌、活動及成長較佳，反之則較差。水溫高時水中溶氧較低，又高溫時系統中藻菌耗氧情形加速，如果不能適時增加水中溶氧，可能會造成系統缺氧甚或造成魚類死亡，而且水體中的微量元素也會因高溫而沉澱，不利作物的吸收利用。

#### 3.5.4 藻類與光照

一般在魚類養殖時，藻類可以形成水色，提供魚類較隱蔽而安定的生存空間，同時也可以維持較佳的水質，而適當光照可促進藻類的光合作用，供應水中的氧氣。在系統中藻類行光合作用會吸收水中營養鹽及二氧化碳，造成水體 pH 升高，同時光照又會使水溫提高，兩者皆會使水中微量元素沉澱，不利植物吸收利用。因此系統中的魚類養殖部分，建議需加以遮光，以利系統的作物成長。



### 3.6 蚓魚菜共生系統所需硬體設備

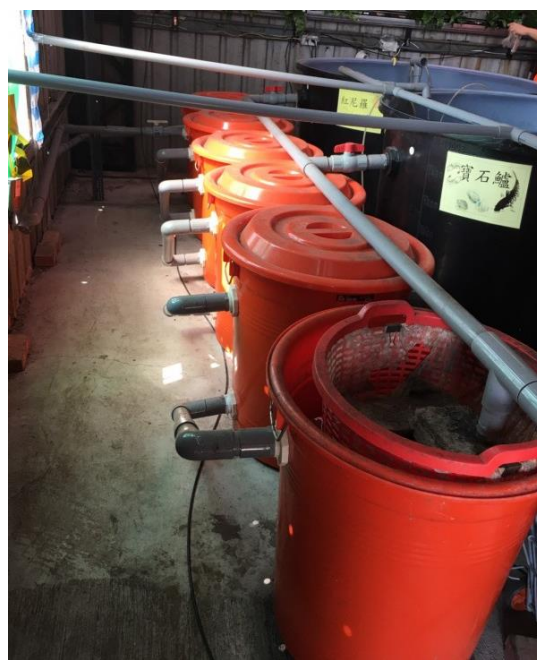
本團隊預估蚓魚菜共生系統所需主要的硬體設備彙整如表 1 所示，團隊建置的蚓魚菜共生系統硬體架設於學習示範場域如照片 1 與照片 2，蚓魚菜共生系統平台示意如圖 3 所示。

表 1 蚓魚菜共生系統所需硬體設備

| No. | 項目名稱                                     | 數量  | 補充說明                            |
|-----|------------------------------------------|-----|---------------------------------|
| 1   | 養殖池(曝氣/LED 燈具/恆溫控制/加熱器/顯示幕/水位計/計時器/Pump) | 1 座 | 1.若是觀賞魚種，玻璃展示<br>2.若是食用魚種，階梯式展示 |
| 2   | 沉澱池(含過濾裝置/水位計/Pump)                      | 2 座 | 串/並聯                            |
| 3   | 硝化池(含過濾裝置/水位計/Pump)                      | 2 座 | 串/並聯                            |
| 4   | 植栽區(植栽牆/養殖池/水位計/Pump)                    | 2 座 | 植栽牆呈現也可飄浮在養殖池                   |
| 5   | 植栽牆(含微孔性陶管/閥/噴霧型氣耕裝置/營養液暫存槽/氣耕管線/計時器)    | 1 台 | 搭配植栽區，如沐浴在森林中，環控/噴霧/流水聲         |
| 6   | 管線/耗材/PID 可程式控式(參數控制溫度/時間/動作)            | 1 式 | 依據實際需求                          |



照片1 蚓魚菜共生系統平台3噸桶槽  
教學實作示範場域



照片2 過濾水質器材及利用蚯蚓特性分解發泡棉上雜質的過濾系統

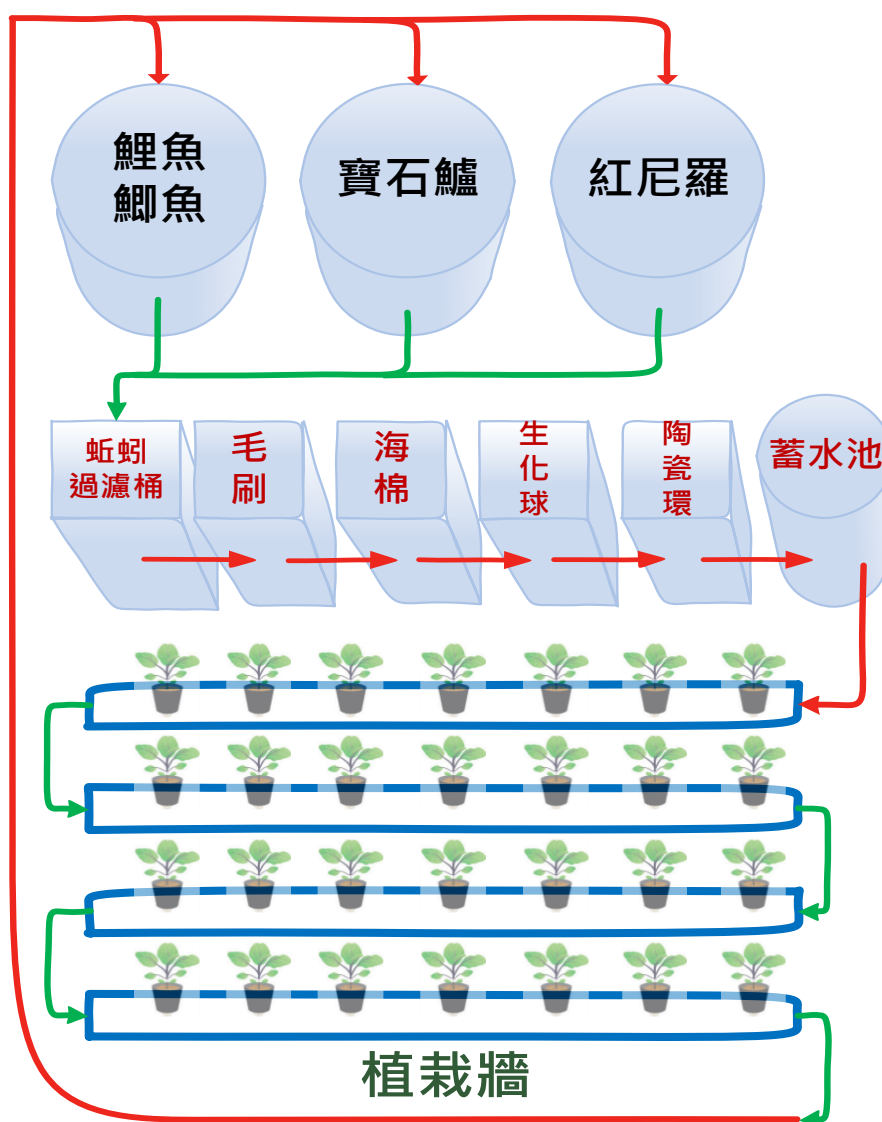


圖3 蚓魚菜共生系統平台示意圖

#### 肆、蚓魚菜共生系統之特色

本團隊所開發的蚓魚菜共生系統具有7項的特色與功效，包括改善傳統魚菜共生系統的缺點，並且朝向綠能供電，能客製化多元應用於魚塭、屋頂陽台、融入景觀設計、植栽牆與大樓玄關和綠化公共空間，符合企業、個體戶、家庭與校園等多元需求。住家、辦公大樓玄關、魚塭、車道等景觀美化之設計。

- 1.藉由抽水馬達將養殖池的水向上抽引以供灑水器對植栽區及蚯蚓養殖區灑水，藉以灌溉植物及維持蚯蚓適宜生長於潮濕環境之土壤濕度，充分利用水資源。
- 2.架體頂層設有光感測單元感測環境光線並發出感測訊號，使控制模組根據該光感測訊號之強弱，控制發光元件之照明度，使前述發光元件對該植栽區的植物進行照光，故日照不足時亦得以促進光合作用，並可作為照明燈具及利於觀賞該植物之生長狀態。
- 3.植栽區設有濕度感測單元以感測土壤濕度並產生濕度感測訊號，經控制模組接收並分析後，根據濕度感測訊號之強弱，控制啟閉前述灑水器及調整噴水量，以避免該培養

土之濕度超過80%而不適合蚯蚓生存。設有空氣輸送單元，於土壤中埋設空氣導管，藉由導管中的微孔，釋放微量空氣，有利於蚯蚓繁殖生活。

- 4.灑水器噴灑的水經蔬菜植物、培養土及蚓糞自行吸收後，若有剩餘的水未能被完全吸收，則將透過排水單元將積水導引回養殖池中，避免浪費水資源，並可藉以沖刷植栽區中蚯蚓之蚓糞或植物之菜蟲以供養殖池中的魚吸收養分，使用者亦可直接抓取該蚯蚓餵養養殖池中的魚。
- 5.植栽區藉由蚯蚓翻動培養土，進而改善土壤品質，更可利用蚯蚓之蚓糞作為魚類與蔬菜植物之肥料。
- 6.植栽區之蔬菜植物及養殖池中的魚皆可供給人類食用，且架體可對該養殖池形成保護作用，減少該養殖池遭受鳥襲或風寒之損害，形成自給自足不斷循環的生物食物鏈，改善傳統魚塭產能，有效利用空間，增加單位面積產量，改善傳統魚塭產能，有效利用空間，增加單位面積產量與經濟效益，自然形成生態與資源的循環系統，減少養殖及種植的成本，朝向精緻農魚業，適合地狹人稠的台灣。
- 7.供電模組包括於架體頂層鋪設之太陽能板與蓄電裝置，以將日照之光能轉換為電能儲存，係為省電環保的替代能源。

### 參考文獻

1. 魚菜共生系統原理及方法，台南區農業改良場技術專刊，105-4，No.165，2016年9月。
2. 吳俊毅等6人，複合生態系統，中華民國新型專利，M534970U，2017年1月11日。



## 多元剩餘資材快速製造肥料之技術 Technology for rapid production of fertilizers from multiple solid wastes

吳俊毅<sup>1\*</sup> 蔡翰陞<sup>2</sup> 王泓傑<sup>3</sup> 戴昭民<sup>4</sup>

Jun-Yi Wu<sup>1</sup> Han-Sheng Tsai<sup>2</sup> Hong-Jie Wang<sup>3</sup> Zhao-Min Dai<sup>4</sup>

1 遠東科技大學機械工程系助理教授兼環境能資源研究中心 主任

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

Director, Environmental Resources and Energy Research Center, Far East University

2,3 遠東科技大學機械工程系 研究生

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Far East University

4 遠東科技大學行銷與流通管理系 研究生

Graduate Student, Department of Marketing and Logistics Management, Far East University

\* Corresponding author: [jeanswu@mail.feu.edu.tw](mailto:jeanswu@mail.feu.edu.tw)

### 摘要

一般用於有機堆肥的原物料，包含桔梗、玉米梗、禽畜糞(豬糞/雞糞/牛糞等)等農業剩餘資材以及餐廳、中央廚房、團膳、傳統市場所產生的果菜渣、生熟廚餘等多元有機剩餘資材。傳統堆肥方式，主要利用熱環境、醱酵及烘乾等方法製造，視氣候狀況而定，夏天大約需要2個月，冬天則長達3個月。由於堆肥時間過長，且需要大面積土地進行堆肥，因此相當耗時及占空間，產量有限，不符合經濟效益。此外在堆肥期間衍生惡臭，造成空氣污染等環保問題。本團隊研發將多元有機剩餘資材快速醱酵有機質的方法，將禽畜糞、生熟廚餘、農業剩餘資材等醱酵原料，控制碳氮比(C/N)、調整初始含水率、pH與EC等參數，添加富氧物於反應槽中，控制反應溫度(70~90°C)，並曝氣及添加益生菌、芽胞菌、糖蜜、生質炭、酵素等天然添加物於反應槽中，其醱酵原料與該添加物之添加比例為10,000~20,000:1，經由3~5小時後反應完成，進行後段的乾燥處理，使含水率降至35%以下，分析有機質、全氮、全磷酐、全氧化鉀與碳氮比等以符合農委會14項有機肥料標準產品，後續經由pH、EC、ORP等分析以及種子發芽率、田間試驗栽種等觀察加以印證。本技術具有多項優點，包含1.藉由破碎前處理，將農業剩餘資材予以有效粉碎與過篩，增加與菌種或微生物之接觸面積，加速醱酵反應。2.醱酵過程中藉由添加天然強氧化劑，可有效消除醱酵原料中的厭氧菌減少醱酵有機質過程中的異味散發。3.精確控制反應溫度，藉由天然添加劑可以增加分解菌等各類菌種的數量，使醱酵有機質可快速完成，省時省空間。4.醱酵過程中，導入熱空氣或水蒸氣，可以輔助加溫並建構富氧環境。5.最終產物有機肥料，符合農委會有機質肥料的規範標準。

**關鍵詞:** 農業剩餘資材、前處理、含水率、醱酵、有機肥料

## 壹、前言

國內持續發展循環經濟，強調在技術可行與經濟合理條件下，以回收再利用、減容、減量、無害化和資源化為主導，推進重點產業技術升級與結構優化，帶動區域資源優化配置與發展模式轉變，全力支撐資源循環再利用新興產業持續快速發展，實現環保扎根作為，由管末處理導向為源頭管制、綠色生產、綠色消費轉變，實踐零污染、零排放、零廢棄等三零目標，以作為應對全球綠色風潮與循環經濟之快速發展挑戰的重要途徑和有效手段。倘若綠色環保是降低資源浪費，藍色經濟則代表是地球生態平衡零剩餘資材環境。宣導的藍色經濟，從兼顧環保、經濟，創新發展「循環經濟模式」，強調地球上根本沒有所謂剩餘資材，只是擺放在錯誤的位置。一個環節的剩餘資材將可串接成為另一個環節的養分、原料或能源來源，如此生生不息地循環利用，讓地球依舊是藍色的、天空仍是藍色的、海洋依然是藍色的，稱為「藍色經濟」。

有機剩餘資材種類繁多包含：桔梗、豆粕、蔬果渣、落葉、菇包木屑等農業有機資材；家禽與畜牧糞便、漁業養殖場等有機資材；廚餘、有機污泥；食品加工廠過期食品與下腳料、醬油廠、酒廠、紙廠等事業有機資材。該剩餘資材產生與人類日常生活具有極大的關係，因此全球有機剩餘資材數量龐大，且有機剩餘資材具有含水量高、成分複雜等難以處理問題，對各國而言，有機剩餘資材處理一直為環保重點議題。有機剩餘資材中與民生最為相關者為廚餘，廚餘約占垃圾總量的三分之一，又因有機剩餘資材在天然狀態下會受微生物分解，產生臭味與廢水，為民生剩餘資材中最難處理的項目，對環境而言亦為病原菌與空氣污染來源。過去大部分有機剩餘資材多以掩埋及焚燒處理，僅有台灣或少數國家將部分廚餘精製提供作為養豬飼料，其他廚餘即成為污染來源。掩埋場及焚燒廠處理成本高且浪費資源，同時造成二次污染，因而有機剩餘資材處理成為各國重視議題。

## 貳、有機肥料與合理化施肥

有機質肥料是農用資材中用量最大且對土壤地力增進最重要的農用資材，因為農業土壤肥力指標為土壤有機質含量。未來市場有機質肥料需求將愈來愈大，主要因近年來石油價格高漲，化肥價格居高不下，且化學肥料大量施用導致土壤普遍酸化、劣化嚴重，因而增加改良土壤有機質肥料需求。環保意識高漲、生產者對農業生產覺醒、消費者對食品安全之關切與重視，皆強化市場對於有機質肥料需求。相關研究亦指出台灣、美國、日本、英國等國家有機肥料用量已占肥料使用總量的50%以上，然而中國有機肥料使用量占比不到10% (經濟學人，2014年)。根據政策，推動對於有機質肥料市場為利多，然為因應新農業政策，國內目前傳統堆肥場對於農業或食品剩餘資材處理能力亟需提升，本快速製肥技術可解決此一問題。

### 2.1 化學肥料衍生多重問題

#### a. 導致土壤板結與水源污染

化學肥料使用率只有 30%-40%，其他化學肥分會引起土壤酸化與鹽化、糰粒結構受到破壞。化肥多數易溶於水，易被植物吸收利用，易潮解結成硬塊導致養分的損失和施用不便。由於大量施用銨肥，硝化作用的過程中會釋放出氫離子，引起土壤酸化；鈣離子的聯結作用，造成土壤顆粒分散，土壤糰粒結構受到破壞，引起土壤物化特性變化，導致土壤硬化板結，肥力大幅下降。作物未能吸收的化學肥料最後流入水中，衍生水污染造成優養化，水中微生物及藻類大量繁殖，耗氧造成其他生物集體因缺乏氧氣而窒息死亡。

#### b.抑制微生物活動

長期使用化學肥料迫使土壤中適合的腐生性生物大幅減少，使土壤持續惡化，隨著有機質不足情況，有害寄生性線蟲比例及傷害農作物根部也大幅增加。

#### c.導致農作物營養失調

在歐美國家肥料結構中，有機肥地位舉足輕重，日本有機肥料最高達到 76%，加拿大德國次之皆占 60%，依序為英國占 57%，澳大利亞占 55%，韓國占 48%，美國占 46%，法國占 37%，然而國內有機肥比重僅約 20%，長期施用化學肥料，導致農作物營養失調。生物有機肥，指含有特定功能微生物與經無害化處理、腐熟有機物料（以畜禽糞便、農作物秸稈等動植物殘體為來源）複合的肥料，兼具微生物肥料和有機肥效應。生物肥料可有效利用土壤中營養元素，提高作物產量，減少肥料的施用量，提高肥料利用率，具發展潛力。

## 2.2 合理化施肥—土壤有機質

土壤有機質為穩定礦化養分供應作物吸收的營養儲存庫，同時也是改良土壤物理性質及保護健全土壤微生物生態的重要成分，並非所有有機質肥料，都可有效提高土壤有機質，只有含纖維素、半纖維素及木質素者才有作用。

根據合理化施肥，平地一般穀類及果樹作物土壤有機質含量需提高到 4~5%。蔬菜作物土壤有機質含量需調至 5~6%，海拔每增加 1 千公尺，土壤有機質需要增加 1.5%，也可以將土壤有機質調至 3~4%，再施追肥。

肥培主要觀念，就是對土壤施肥，而非對作物施肥，有健康土壤，才能生產健康無毒的農作物。有機質肥料中有機質含量成為最重要指標。有機質施用觀念要點：(1)醱酵完全，品質優，(2)合理適量，配合良好水分管理，(3)不要長期施用同資材有機質肥料，施不同資材有機質肥料等於進行輪作。

## 2.3 有機質肥料功效

### a.對土壤物理性的改善

1. 增進土壤糰粒構造與土壤保水力。
2. 增加土壤通氣性及排水並且調節土壤溫度。
3. 降低土壤密度並減少土壤流失。

### b.對土壤化學性的改善

1. 提高土壤陽離子交換容量(CEC)。
2. 增加土壤儲存營養分能力，協助植物營養元素溶解及提高有效性。

3. 有機質肥料具有較大緩衝能力，使得土壤不致因化學肥料而使酸鹼度(pH)、電導度(EC)、氧化還原電位(ORP)呈巨大變化。

4. 調和微量營養元素。

### c. 土壤中生物的主要影響力

#### 1. 分解有機殘體

土壤生物最重要功能是分解動植物殘體，使其所含礦物養分能再利用。有機殘體中糖類、胺基酸、脂肪酸與蛋白質分解相當快，能在幾小時~幾天內全部被分解。至於木質素、酚酸化合物和蠟質分解較慢，已經腐質化土壤有機質則每年只分解2~5%。一般有機殘體其有機碳在2~3個月內分解掉60-85%。

#### 2. 形成土壤腐植質

土壤腐植質主要構造是酚酸單位和胺基酸、胺糖及其他有機單元結合及再連結的複雜聚合物質。主要來自植物及微生物的木質素，當易分解物被分解同時產生各種生化反應並由土壤粘粒或微生物促進其聚合而形成。土壤中若無土壤生物，尤其土壤微生物則土壤腐植質不易形成。

#### 3. 改善土壤物理性

土壤微生物分泌黏性化合物及促進土壤腐植質的形成，可直接間接的促進土壤粒團作用而改善土壤物理性。

#### 4. 促進無機養分的釋出

土壤微生物的呼吸作用提高土壤中CO<sub>2</sub>濃度而增加碳酸濃度，促進土壤礦物的風化，亦可釋出酵素與有機酸促進難溶礦物的溶解。

#### 5. 微生物對無機化合物的轉化

土壤微生物對無機化合物的轉化對農業及環境的影響相當大，如對氮的影響有固氮菌可將元素氮轉換成氨再合成有機氮，可將有機氮轉化成無機氮(氨)而氨水化成銨又經亞硝酸菌及硝酸菌氧化生硝酸，但硝酸及亞硝酸又可被脫氮菌還原等作用都直接或間接受土壤微生物影響。有機質肥料對物理、化學與生物性之影響，如表1。

**表1 有機質肥料對物理、化學與生物性之影響**

| 物理性                                                               | 化學性                                                           | 生物性                                                     |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1. 增進土壤糰粒形成，降低土壤流失<br>2. 增加土壤保水、排水及通氣<br>3. 調節土壤溫度<br>4. 降低土壤總體密度 | 1. 提高土壤保肥能力<br>2. 提高肥料的有效性<br>3. 增加緩衝能力<br>4. 調合微量元素<br>5. 解毒 | 1. 提供微生物與作物養料<br>2. 降低病蟲害侵襲<br>3. 促進作物生長<br>4. 促進有毒物質分解 |

### 參、台灣剩餘資材統計與處理現況

目前製造堆肥的原料不外乎是有機剩餘資材類的廚餘、植物殘體及禽畜糞，以這些剩餘資材原料轉做堆肥的供應潛力來看，據環保署統計2015年台灣垃圾種類依物理組成分成11大類，其中以廚餘類占40.4%為最大宗，其次為紙類占34.7%、塑膠類占



15.6%、纖維布類占 4.67%、木竹稻草落葉類占 1.6%等，以 2015 年的垃圾產生量 723 萬公噸來看，相當於每年有 292 萬噸廚餘。依農委會統計 2015 年禽畜糞約有 214 萬噸、作物殘體(稻穀、稻蒿、廢棄菇包、果菜殘渣、花卉殘渣)約有 215 萬噸。環保署雖曾致力補助推動各縣市設置堆肥場，以期提高有機剩餘資材的再生利用率，但由於傳統堆肥技術帶來的惡臭問題往往招來週遭居民抗爭，而使堆肥場難以持續營運，在台灣設立新設堆肥場愈不容易，因此顯現出本快速堆肥技術生產優勢，產品不需要後熟成並且符合農委會有機肥料產品規範，可直接使用發展趨勢。隨著國際趨勢提倡綠色創新與循環經濟概念，台灣積極推動循環經濟相關產業，並列入行政院「5+2 旗艦方案」重點產業，工業局也著手推動全國循環專區試點計畫，此推動趨勢有助於有機剩餘資材資材化的市場發展。

## 肆、快速製造有機肥技術

本技術主要提供快速將各種有機廢棄資材製造成肥料或飼料的方法。藉由本團隊設備搭配優化的生產流程及催化劑，能在 3~5 小時內將各種有機剩餘資材轉換成有機肥料是一種「轉廢成金，衍生綠金」的技術。本技術適用於有機肥料之轉換，完全發酵後的有機質可加入益生菌成為生物有機肥料，亦可應用在酸鹼化土壤改良等方面。除基本處理的設備外，可客製化設計最適當設備及生產流程。

### 4.1 快速製肥技術的作用機制

本技術利用催化劑功能增加分解菌等各類菌種的數量，幫助有機廢棄資材於反應空間中快速醱酵及完成反應。催化劑功能包括殺菌、抑制有害菌成長、減少堆肥過程中異味散發等，均有助達到快速處理效果，不同於傳統堆肥法的過程中依賴微生物菌種長時間分解有機物作用其處理時間過常，限制條件多、品質不穩定、增加處理成本。

### 4.2 快速製肥技術之優勢

- 速成處理：3~5 小時完成有機剩餘資材製肥程序。
- 製程優勢：無廢水、無臭、無毒的處理技術。
- 設備空間：高效率設備，占地空間小。
- 處理成本：催化劑效率高，C/P 值高。
- 操作流程：PLC 自動化流程，可一人操作。
- 再生利用：處理後產物可供農業肥料應用。
- 優化資材：添加適當養分及補充益菌，成為有機肥料，增加產品附加價值。
- 農業效益：減少化肥使用，生產土壤改良劑，活化土壤微生物，增加土壤養分有效性及生物制衡作用。
- 經濟效益：本技術具備快速、完熟、除臭、無害及加值，達到肥料優質標準。

### 4.3 快速製肥技術優勢比較

快速製肥技術與傳統堆肥法比較如表 2 所示。

表 2 快速製肥技術與傳統堆肥法比較表

| 解決問題 | 傳統堆肥法           | 快速製肥技術        |
|------|-----------------|---------------|
| 處理時間 | 2~3 個月          | 3~5 小時        |
| 處理場地 | 大；須堆置後熟         | 小；約傳統 1/10    |
| 環境衛生 | 開放式翻堆，產生惡臭、污水   | 無惡臭、無汙水       |
| 設備成本 | 高               | 低             |
| 氮肥損耗 | 損耗約 50%氮肥       | 幾無耗損          |
| 成品品質 | N、P、K 養份低，產品不穩定 | 產品穩定，肥料富含有益菌。 |
| 使用條件 | 不能立即施用，需後熟階段    | 產出物達肥料標準可立即施用 |

#### 4.4 生產流程與設備操作參數

快速製肥技術主要操作步驟，彙整如圖1所示。

1. 確定醱酵槽內沒有殘留有機質或其他物質，所有操作電源與環境正常。
2. 利用輸送帶將有機質送入醱酵槽，並進行翻攪與加熱。
3. 待有機質送入約50%時，加入0.5%的A劑，持續加熱至80℃，再持溫30分鐘。
4. 加入有機質0.05%的B劑，即1噸有機質加入1公斤的B劑；另加0.15%的輔助劑，即1噸有機質加入3公斤輔助劑，持溫在80℃至少2小時，熱空氣持續送。
5. 測試有機質含水率，當<35%，即可卸料；否則持續加溫乾燥，直到<35%為止。
6. 清除醱酵槽內殘留有機質，批次進行下一批醱酵反應。
7. 卸料後有機質仍有餘溫，可適當翻動以利降低含水率<30%，進行造粒及包裝。

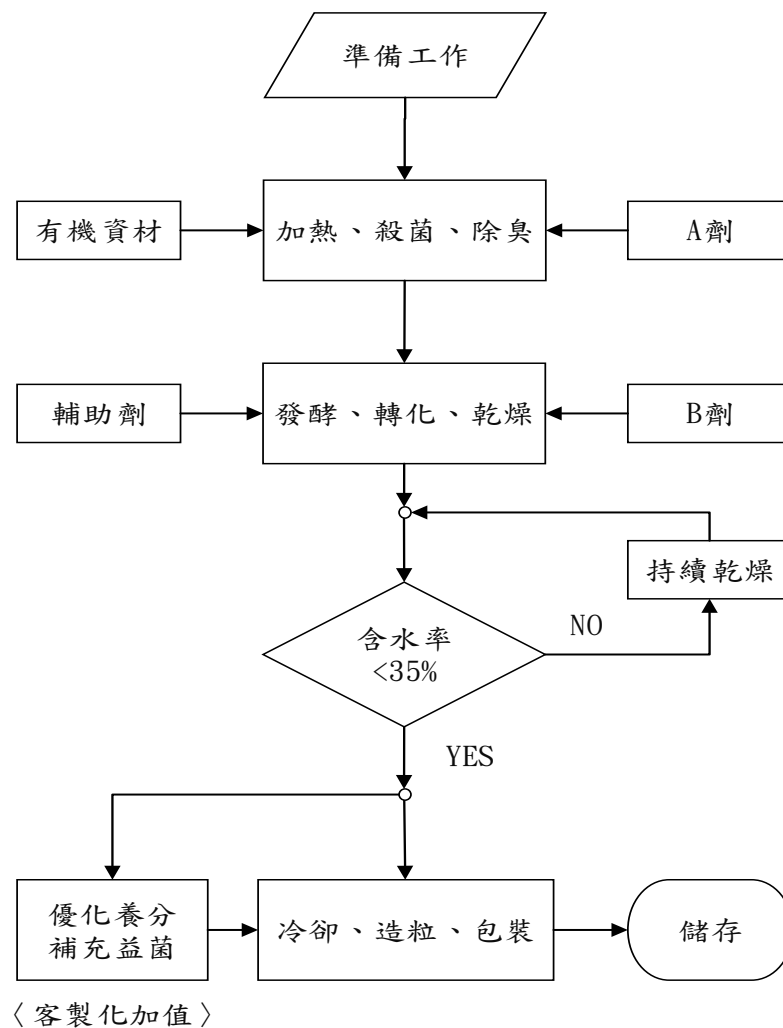


圖 1 快速製肥技術操作流程圖

快速製肥處理雞糞的醱酵反應槽之硬體設備參數如表3，內容量為1,000L，4支電熱棒加熱，總消耗功率約28.65KW。

表3 快速製肥反應槽硬體操作參數表

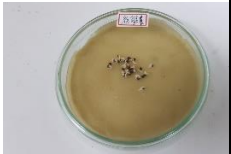
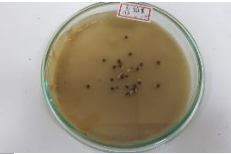
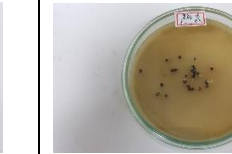
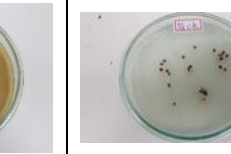
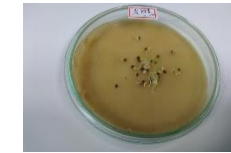
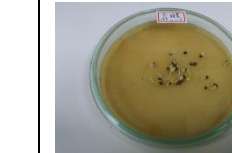
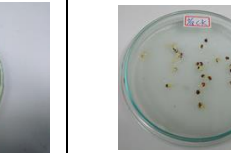
| 內容量    | 動力匹配                                | 加熱器匹配           | 轉速<br>r/min | 外形尺寸<br>長寬高 m | 總功率<br>kw |
|--------|-------------------------------------|-----------------|-------------|---------------|-----------|
| 1,000L | 電機 4kw-4<br>減速機 ZSY160<br>風機 200wx2 | 4kw-6 支<br>24kw | 25          | 2.75x1.15x1.6 | 28.65     |

## 伍、種子發芽率與田間試驗

### 5.1 快速製肥實驗參數與種子發芽率

快速製肥處理雞糞的各項實驗參數及小白菜種子發芽率結果如表4所示。

表4 快速製肥處理雞糞的實驗參數以及小白菜種子發芽率

|              |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 原料           | 實驗日期                                                                                | 2019/03/13                                                                          |                                                                                      | 含水率                                                                                   | 70% |
|              | 名稱                                                                                  | 雞糞                                                                                  |                                                                                      | EC                                                                                    | 3.2 |
|              | 重量                                                                                  | 約700kg                                                                              |                                                                                      | pH                                                                                    | 6.6 |
| 成品           | 重量                                                                                  | 280kg                                                                               |                                                                                      | EC                                                                                    | 6.0 |
|              | 含水率                                                                                 | 47.3%                                                                               |                                                                                      | pH                                                                                    | 6.5 |
| 發芽實驗材料說明     |                                                                                     |   |                                                                                      |                                                                                       |     |
| 實驗日期         | 第 1 組                                                                               | 第 2 組                                                                               | 第 3 組                                                                                | 對照組<br>(蒸餾水)                                                                          |     |
| 03/18<br>(一) |   |   |   |   |     |
|              | 0%(0/25)                                                                            | 0%(0/25)                                                                            | 0%(0/25)                                                                             | 0%(0/25)                                                                              |     |
| 03/19<br>(二) |  |  |  |  |     |
|              | 100%(25/25)                                                                         | 96%(24/25)                                                                          | 88%(22/25)                                                                           | 76%(19/25)                                                                            |     |
| 03/20<br>(三) |  |  |  |  |     |
|              | 100%(25/25)                                                                         | 96%(24/25)                                                                          | 96%(24/25)                                                                           | 100%(25/25)                                                                           |     |
| 03/21<br>(四) |  |  |  |  |     |
|              | 100%(25/25)                                                                         | 96%(24/25)                                                                          | 96%(24/25)                                                                           | 100%(25/25)                                                                           |     |

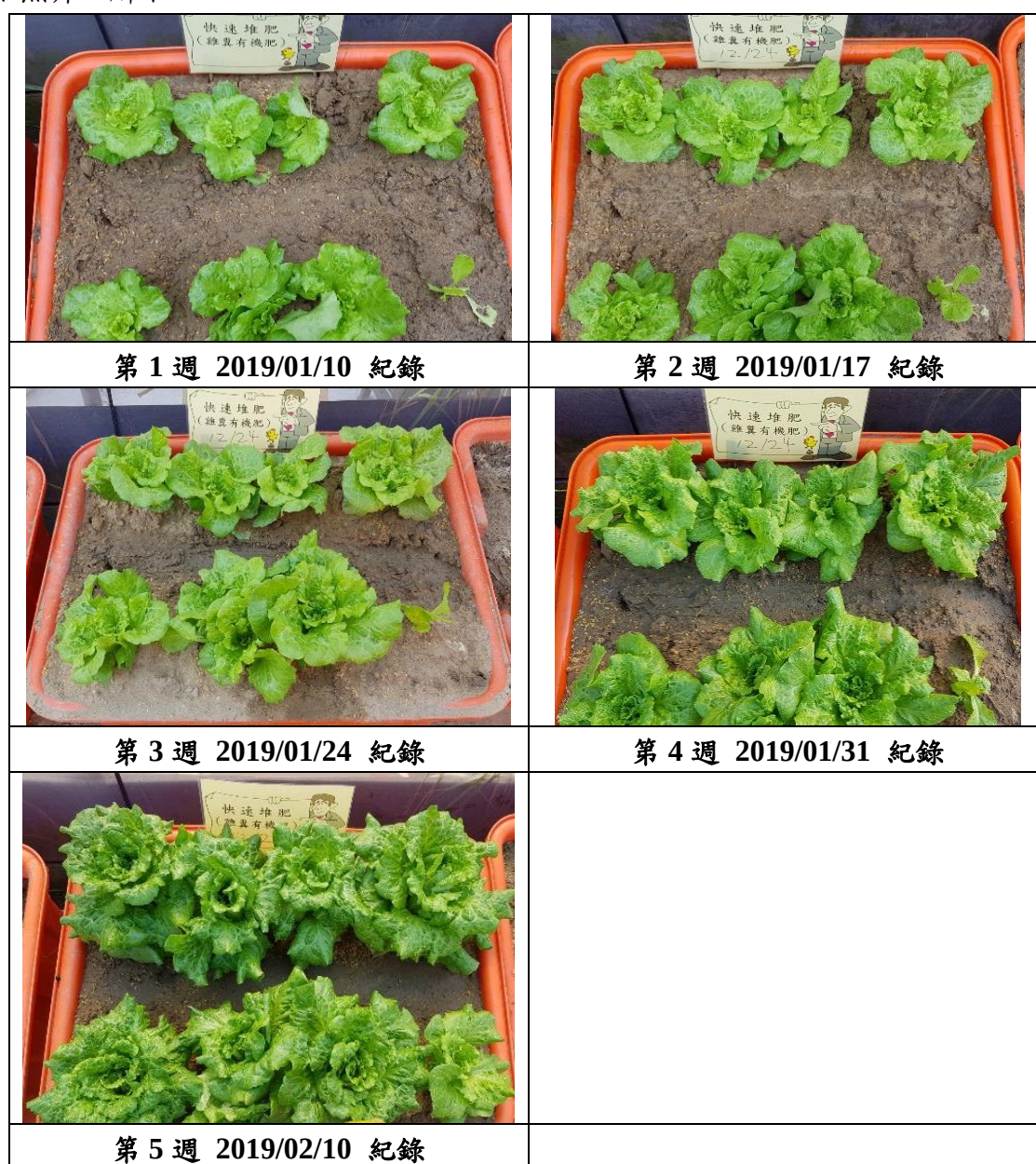
1. 以純雞糞進行快速製肥後的成品拿去做小白菜種子發芽率實驗，其種子發芽率平均為 98.6%。而蒸餾水對照組發芽率為 100%。
2. 利用快速製肥所製成的有機肥料的 pH 值為 6.5 偏中性，原料 EC 值 6.0ms/cm 在適合植物生長的範圍內。



3. 根據農委會制定的台灣「有機質肥料規格、品目編號、成份及限制」中，第八項禽畜糞堆肥(品目編號 5-09)內寫到，禽畜糞有機肥的限制 pH 值 5~9 範圍。
4. 未腐熟的雞糞：糞便中含有大腸桿菌、寄生蟲和其它有害病菌，進入土壤容易滋生作物病蟲害。腐熟不徹底的雞糞在田間二次發酵，不僅會產生熱量和有害氣體，造成作物燒根燒苗，還會消耗土壤中的氧氣，導致土壤暫時性缺氧。此外，雞糞偏酸性，會加劇土壤酸化，導致作物病害。由於雞的養殖密度大，防疫要求高，在畜禽中抗生素使用量相對較大，加之雞的消化道短，極少數養殖場在飼料中添加的抗生素，更容易通過糞便排出。

## 5.2 有機肥料之田間試驗

於 2018 年 12 月 24 日透過雞糞有機肥料進行萵苣田間試驗種植，紀錄 5 週時間如照片 1 所示。



照片 1 2018 年 12 月 24 日透過雞糞有機肥料進行萵苣田間試驗種植

2019 年 2 月 14 日進行萵苣採收以及秤重紀錄如表 5 所示。

表 5 萵苣採收以及個別秤重紀錄表

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| <b>126g</b>                                                                       | <b>119g</b>                                                                       | <b>144g</b>                                                                        | <b>128g</b>                                                                         |
|  |  |  |                                                                                     |
| <b>282g(最重)</b>                                                                   | <b>207g</b>                                                                       | <b>103g(最輕)</b>                                                                    |                                                                                     |

### 陸、結 論

1. 此為 2018 年 12 月 06 日的雞糞有機肥試驗，一開始萵苣小苗種植前重量每株約 15g，生長期間為 45 天，小苗在種植期間穩定生長直到 2019 年 2 月 14 日採收，共 7 株苗總重 1,109g，平均 158.4g，每週約成長 24.6g，小苗自種植起穩定生長直至採收。
2. 2018 年 12 月 24 日，使用雞糞有機肥種植的萵苣的重量最大值為 282g，最小值為 103g，重量相差超過 2 倍，很有可能是施肥的時候沒有混拌均勻或是小苗本身就相差比較多。另外土壤原來 pH 值為 8.0，EC 值為 68us/cm，加入雞糞有機肥後的土壤 pH 值為 8.9，EC 值為 0.8ms/cm。
3. 本快速製肥技術具有多項優點，包含(1)有機農業剩餘資材進行前處理破碎、粉碎與過篩，增加與菌種或微生物之接觸面積，加速醱酵反應。(2)醱酵過程中藉由添加天然強氧化劑，可有效消除醱酵原料中的厭氧菌減少醱酵有機質過程中的異味散發。)(3)精確控制反應溫度，藉由天然添加劑可以增加分解菌等各類菌種的數量，使醱酵有機質可快速完成，省時省空間。(4)醱酵過程中，導入熱空氣或水蒸氣，可以輔助加溫並建構富氧環境。(5)最終產物有機肥料，符合農委會有機質肥料的規範標準。希望與農政單位、青農、有機農戶、肥料商進行技轉、現地資源化處理與產官學研等多元商業合作模式，推廣有機農業與創造價值化的循環經濟。

**Session I-3**  
**(10:50~12:00 , B219)**





# ISC 模式模擬應用於濁水溪河川揚塵之研究分析 Particulate Dispersion in Xishuixi River with ISC Model Simulation

魏境枋<sup>1\*</sup> 張章堂<sup>2</sup>

Ching-Fang Wei<sup>1</sup> Chang-Tang Chang<sup>2</sup>

1 國立宜蘭大學環境工程學系 學生

Student, Department of Environmental Engineering, National I-Lan University

2 國立宜蘭大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, National I-Lan University

\* Corresponding author: [fa012974@gmail.com](mailto:fa012974@gmail.com)

## 摘要

本研究將氣象條件、揚塵特性於空氣品質模式結合，發展出適合用於河川揚塵模式模擬預測系統，推估河川揚塵濃度分佈，期能做為相關單位及時啟動揚塵抑制時機之參考。本計畫以濁水溪流域為例，以ISCST3(Industrial Source Complex Short Term Dispersion Model)為基礎配合本土化氣象與揚塵排放介面模式，建置以台灣為主體的空氣品質模擬系統；其次，本研究建置之河川揚塵模組置入空氣品質模擬系統，建置為可預測河川揚塵之空氣品質模擬系統；最後，分別以上述兩個系統針對濁水溪揚塵好發季節進行模擬。本研究以濁水溪裸露地表之衛星監測結果為依據，對特殊東北季風爆發期造成之揚塵爆發性排放做出針對性預測。並依據全國現有空氣品質監測站長期監測數據為基礎，比較預測結果與實際監測結果之差異，進行模型的改善。研究結果得知河川揚塵事件日篩選之結果較為顯著，為2016年12月27日，利用ISC模擬當天PM<sub>10</sub>濃度，結果表明，整體濃度趨勢一致，即所建置之河川揚塵排放係數公式相當的準確性。

**關鍵詞：**ISCST、濁水溪、河川揚塵、PM<sub>10</sub>、預警系統

## 壹、前言

台灣山高河短且位於季風盛行之地域，其中西半部於夏季受西南季風影響造成多雨現象，冬季則受中央山脈阻隔，東北季風攜帶之水氣難以到達西半部，導致河川進入枯水期，河床裸露面積增加，進一步受季風影響導致河川裸露地產生揚塵，使鄰近地區空氣品質及環境受嚴重影響。本研究計畫以濁水溪為例，其為溪流為台灣中部地區第一大河川，上游以頁岩與板岩為主要組成，頁岩是沈積岩中顆粒最細的一種，而且質地鬆軟、易碎，每當大雨沖刷往往會被雨水侵蝕帶入河道，到了下游後流速變慢，水中的懸浮物逐漸沉降，最後堆積在下游河口，因此濁水溪下游河床微粒粒徑受上游地質構造的影響，在分佈上比其他流域的細小，若裸露河床於枯水期受風吹影響則易產生揚塵，影響

其周遭空氣品質，更由於沉積粒徑細小，更可能會影響到其他中南部縣市。為針對揚塵造成的空氣品質進行預測，大部份研究多利用三維網格模式做為工具。因此，空氣品質模式模擬的準確性就變得非常重要，會影響後續依模擬結果所通報之空氣品質與擬定的污染改善策略。一般而言，當污染物濃度模擬結果與觀測數據出現較大誤差時，問題必定來自三個層面：氣象模擬準確性、排放資料庫的準確性以及物理化學程式的模擬合理性。但是，氣象模式與空品模式本身仍存在某種程度上的不確定性。

本研究將氣象條件、揚塵特性於空氣品質模式結合，發展出適合用於河川揚塵模式模擬預測系統，推估河川揚塵濃度分佈，期能做為相關單位及時啟動揚塵抑制時機之參考。本計畫以濁水溪為例，以Industrial Source Complex Model (ISCST)為基礎配合本土化氣象與揚塵排放介面模式建置以台灣為主體的空氣品質模擬系統；其次，本研究建置之河川揚塵模組置入空氣品質模擬系統，建置為可預測河川揚塵之空氣品質模擬系統；最後，分別以上述兩個系統針對濁水溪揚塵好發季節進行模擬。此外本研究以濁水溪裸露地表之衛星監測結果為依據，對特殊東北季風爆發期造成之揚塵爆發性排放做出針對性預測。並依據全國現有空氣品質監測站長期監測數據為基礎，比較預測結果與實際監測結果之差異，進行模型的改善。本研究結果可以改善空氣品質模式模擬的準確性、瞭解濁水溪揚塵對空氣品質之影響程度、也建置濁水溪揚塵的預報與預警系統。針對濁水溪揚塵好發季節進行空氣品質模式模擬。進行空氣品質模式模擬結果與觀測資料之比對，能改善揚塵排放模組，比較不同河川揚塵排放推估程序，對空氣品質模擬結果之影響，修正河川揚塵排放模組。本研究擬使用測量結果進行河川揚塵空氣品質模式修正，以驗證建模結果。

## 貳、實驗方法

### 一、研究案例之篩選及其氣象場之模擬

#### (一) 研究案例之篩選

對於河川揚塵的案例選擇，以往皆以空氣品質觀測資料為依據，選擇污染較為嚴重的時段(稱為事件日或案例)，為對模式進行調校，乃搭配監測站量測結果進行校正。為瞭解空氣品質模擬準確性與相關因子影響，需有較正確排放源排放量推估與氣象場模擬結果，由於氣象模擬結果可以藉由觀測資料來評估其預測準確度，因此，本研究將氣象模擬準確性評估作業先行加入案例的篩選條件，訂出兩個階段的案例篩選方法，如下：

第一階段：使用空氣品質監測資料，並對近幾年河川揚塵污染案例進行篩選，至少五件以上揚塵污染事件日等案例，進行篩選與分類，並將氣象條件進行分類(如海陸風等擴散型氣流、季風等對流型氣流、颱風侵台前產生環流)，再進行河川揚塵發生源區濃度與監測站PM<sub>10</sub>與 PM<sub>2.5</sub>監測結果進行比對，以利第二階段篩選工作。

第二階段：每個污染案例使用氣象模式(WRF)進行模擬，並評估其準確性，另亦進污染發生源與監測站氣象監測結果與模擬結果比對工作，以決定各案例被選用的優先順序。

當選定揚塵污染事件日後，進行至少五日(事件日前兩天、事件日當天與事件日後兩天)河川揚塵粒狀物濃度時空分佈模擬作業，為評析河川揚塵模擬準確性與建立河川

揚塵預測模式，本研究從河川揚塵相關文獻與氣象及粒狀物監測資料，藉巨量分析探求影響河川揚塵起砂與排放及粒狀物擴散等氣象因子(如風向、風速、雲遮蔽率、氣壓)，並進行交叉比對與分析，且探討各種氣象條件與粒狀物濃度時空變化關係，尤其季節轉變及季風轉變及颱風侵台前等揚塵好發時段。另為驗證所建立模式(含氣象模式、河川揚塵排放模式及空氣品質預測模式)準確性與進行，先進行氣象與監測結果與模擬結果比對與分析，再進行空氣品質監測結果與模擬結果比對與分析，再藉巨量分析，建置較合理河川揚塵排放模式，以獲得較正確河川揚塵排放量，並修正所建立河川揚塵預測模式。

## 二、建立本土河川揚塵排放模式

### (一)裸露地分類

利用遙測技術了解可能之揚塵源區。依照使用條件不同，常使用之技術為航空遙測及衛星遙測(葉啟輝等，2007)。藉由影像照片，可以同時鳥瞰廣大地區的地表現象。另本研究使用光學衛星影像進行河川表面特性(如高灘地地質、低灘地地質與河川寬度及植被情形)拍攝，以建立地表資料。因此，本研究向中央大學太空及遙測研究中心購買衛星影像，由衛星資訊取得河川裸露地面積，蒐集歷史事件中濁水溪與高屏溪中下游河道的衛星影像，藉以評估裸露地變異，更精確推估河川揚塵的排放係數。

### (二)排放係數推估

林文印等人於 2014 年建立濁水溪河川揚塵  $PM_{10}$  排放係數與風速之關係，結果顯示，排放率正比於風速的 1.83 至 6.25 次方，與文獻相符，證明推估方法確實可行。但與 AP-42 排放係數公式相比較，該研究所求得之排放率數值有高有低，最終建議使用排放係數公式， $EF=0.188 \times U^{2.06}$ ，或採用 AP-42 排放係數公式， $EF=58 \times (u-u_t)^2 + 25(u-u_t)$ ，做為濁水溪河川揚塵排放係數公式。然而由過去資料顯示，雖然降雨或是含水率增加會降低揚塵揚起之比例，但是林等人(2014)的研究顯示，些微降雨可能會延後揚起的時間，並降低揚起濃度，然而，若持續一段時間的吹拂以及日照還是會造成揚塵的產生，因此關於降雨、含水率以及照度因子應加入考慮。本研究彙整濁水溪與高屏溪、濁水溪鄰近測站之氣象及懸浮微粒自動監測站之資料，配合氣象場模擬資料，篩選出濁水溪揚塵案例，為求得排放係數( $g/m^2s$ )，此外，為了釐清基本氣象條件對揚沙之影響，本研究設置風洞試驗進行河川揚塵  $PM_{10}$ 與  $PM_{2.5}$  排放係數建置與比對工作。林鴻維(2013)以變異係數計算風洞均勻度統計，如以下公式：

$$CV = \frac{\sigma_v}{\mu_v}$$

(1)

CV：變異係數(coefficient of variation)

$\sigma_v$ ：截面速度平均值之標準差

$\mu_v$ ：截面速度之平均值

而截面速度之均勻度的判定則可利用(1)式得到一指標值。將 CV 值取負值，且將 Uv(uniformity of air mixing)值限制於 0~1 之間，方便進行截面速度分佈之均勻度之判讀。所以，Uv 的值若越接近 1，即表示各個截面採樣點間的速度平均值變異數越低，而其相對的可推估其截面速度之均勻度越好。實際上，截面速度量測點的個數多寡，也會影響截面速度之均勻度的估計。

$$U_v = e^{-CV} \quad (2)$$

Uv：以變異係數推估之截面速度之均勻度

造成河川揚塵之因子眾多，其中氣象因子中的風速為產生揚塵主要動力，溫度是判別區域中氣流對流的強弱，而濕度則主要能夠影響空氣中微粒的沉降速率，等三種為最主要之影響因子，因此本研究蒐集濁水溪周圍測站之粒狀物染物濃度值與氣象參數，利用統計學之方法，建立濁水溪河川揚塵與氣象參數之回歸式子，如下：

$$EF = 0.0016K \left( \frac{U}{5.4} \right)^{1.3} \left( \frac{M}{2.1} \right)^{-1.4} \left( \frac{S}{1.5} \right)^{1.5} \left( \frac{T}{298} \right)^{1.2} \left( \frac{RH}{50} \right)^{-1.1} \quad (3)$$

EF: 排放係數，g/s m<sup>2</sup>

K：粒子粒徑係數

U：平均風速 (m/s)

M：含水率 (%)

S：土壤泥粉含量(%)

T：平均溫度(K)

RH：相對濕度(%)

表 1 河川揚塵排放係數公式參數表

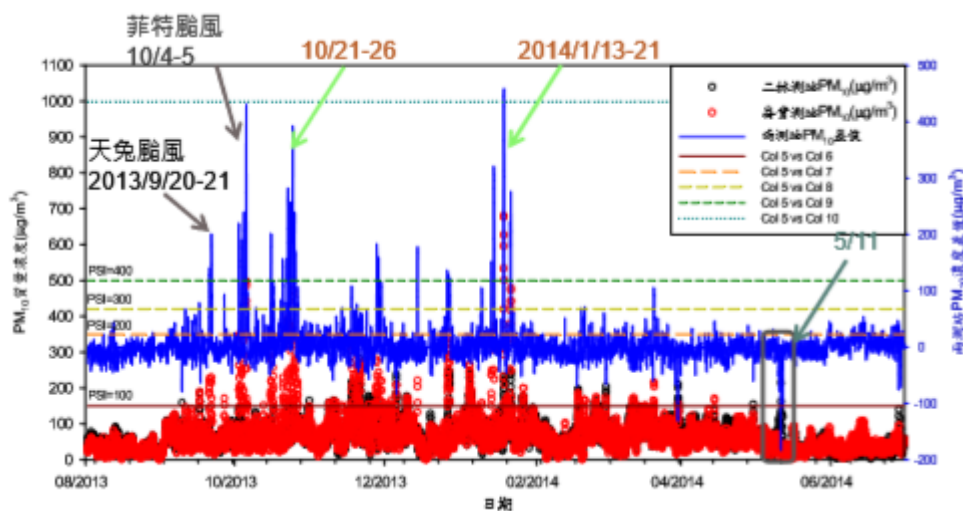
| 參數           | 設定值                                                        | 資料來源  |
|--------------|------------------------------------------------------------|-------|
| K            | 0.74(TSP)、0.30(PM <sub>10</sub> )、0.15(PM <sub>2.5</sub> ) | 經驗假設值 |
| U(H=10m)，m/s | 0.6-6.7                                                    | 經驗假設值 |
| M，%          | 0.25-4.8                                                   | 經驗假設值 |

|       |         |       |
|-------|---------|-------|
| S, %  | 0.44-19 | 經驗假設值 |
| T, K  | 273-313 | 經驗假設值 |
| RH, % | 30-95   | 經驗假設值 |

由上述計算式可知河川地區揚塵排放推估除需掌握受風蝕面積外，最大風速的合理假設是最主要關鍵，但目前使用之推估公式考慮因子太少，有無植被之裸露地表其最大風速應有差異。本研究藉由風洞測試，比較風速、含水率與揚沙關係，可以取的包含摩擦啟動風速，不同含水率在不同風速下之乾燥時間，而本研究將含水率轉換成降雨量推測揚沙特性，此外並嘗試探討模擬日照時間長短對揚沙之影響，期能藉由上述風洞測試推測濁水溪與高屏溪的動態排放係數，由過去經驗顯示，受到河床表面沙粒，並將其配合衛星影像所計算之面積以及輸入 ISCST3 模擬與各揚塵案例之增量濃度比對求得模擬排放率。

### (三)蒐集測站監測數據進行比對

為了進行排放係數修正作業，本研究蒐集過去的事件日、現地與測站相關採樣監測等資訊，進行比對，藉此修正排放係數。本研究依照現有空氣品質法規將崙背測站  $PM_{10}$  濃度大於  $150 \mu g/m^3$ ，且二林測站與崙背測站間增量濃度超過  $50 \mu g/m^3$  設定為對雲林縣地區影響之揚塵事件，如圖 1 所示。



資料來源：林文印等人，2014

圖 1 崙背測站與二林測站  $PM_{10}$  質量濃度及兩測站間濃度差值

藉由本部份包含空照影像分析取得裸露面積及覆蓋特性、風洞測試推估濁水溪與高屏溪排放量公式(納入風速、降雨、含水率、日照等參數)工作項目規劃，並藉由第一子項目以 WRF 模擬之氣象條件，一併帶入 ISCST3 高斯擴散模擬取得排放增量濃度特性，最後，藉由與空氣品質測站數據比對增量濃度特性，修正排放係數，期能對揚塵排放特性有更精確的評估。

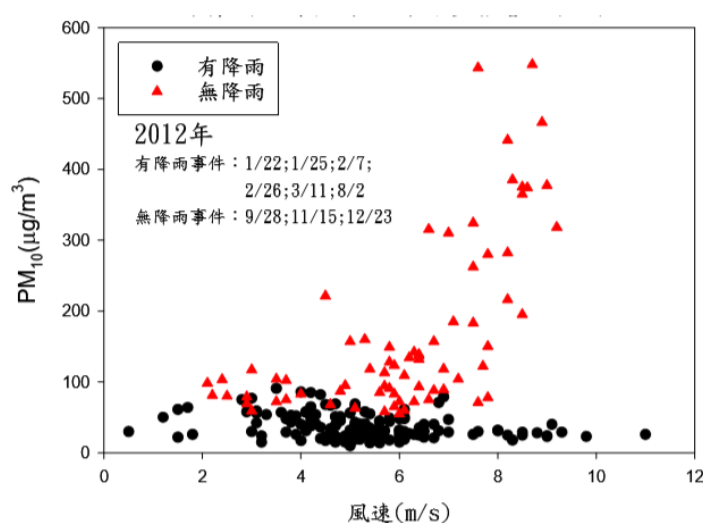


### 三、ISCST3 污染物擴散模擬

ISCST3 模式可提供不同模擬個案設定的選擇，用以模擬來自包括點源、線源、體源等不同型式工業污染源。模式基本原理是應用線性、穩定態的高斯煙流方程式描述污染物擴散行為，此方程式可以配合若干修正用以計算點污染源。自煙囪口排放出來的空氣污染物會受到不同型式的物理與化學作用影響，包括氣體動力學的下沖(downwash)，此一作用主要是因為附近的建築物而引起，也可能是來自放獨立的通風口、複合的通風口、儲存的料堆、開放的深坑、輸送帶、以及其他因素等。ISC 排放源型式可以分類為四大型態，包括點源、體源、面源、以及開放的深坑排放源(openpit)等。用來模擬各污染源類型的運算程式會詳細在下列章節描述。ISC 模式可以接受小時的氣象資料，據以計算煙流上昇高度、傳輸、擴散與沉降等機制。ISCST3 模式可依據每個污染源和接受點的組合以及輸入逐時氣象資料，計算濃度及沉降數值，並由使用者選擇的期間計算其平均值。此模式針對沉降數值的計算，包括乾沉降通量、濕沉降通量與總沉降通量。在特定受體點位置的總沉降通量為乾沉降和濕沉降之和。首先透過衛星影像照判定污染源面積，即引發之揚塵區域，並將經各種參數推估出的揚塵排放係數及預報氣象資料帶入 ISC 模式，模擬其濃度擴散分布圖後，與測站進行比對分析，再經由調整各種參數，以達到最符合現況的濃度，並能實際運用在河川揚塵預報上。

### 四、揚塵敏感區域判定

風速是決定河川揚塵的排放特徵的重要因素，由林等人(2014)的報告指出，以濁水溪流域鄰近之崙背測站來分析，受降雨(意旨土壤含水率特性)的影響，也是輔助決定事件日與否的重要依據。其研究利用測站數據，篩選出風向為東北東至西北西間，包含高低風速資料，並依當日有無降雨分類，可得到圖2回歸比較，結果顯示，無降雨時，揚塵啟動風速約介於 6 m/s 至 8 m/s 之間，而有降雨之事件即使有高風速產生，仍不易產生河川揚塵。此部分可作為後續揚塵事件判定相關依據。



資料來源：林文印等人，2014

圖 2 2012 年崙背測站有無降雨對揚塵影響比較圖

以下針對過去的研究彙整揚塵相關事件及研究資訊。若依行政院環保署中南部各空氣品質測站資料顯示，2005 年 12 月 21 日沙塵案例，最早偵測到懸浮微粒大量增加之測站為雲林縣崙背站，其  $PM_{10}$  濃度最高達  $500 \mu g/m^3$ ，再來隨東北季風往西南移動，朴子、新營、安南、台南、善化、楠梓等地  $PM_{10}$  濃度依序攀升。造成空氣品質變差及能見度（行政院環保署，2005）。圖3標示出濁水溪鄰近測站位置，且可以看出濁水溪揚塵之敏感區域為麥寮、崙背、二崙、西螺及莿桐，而高屏溪之敏感區域為大寮、林園、小港及鳳山。

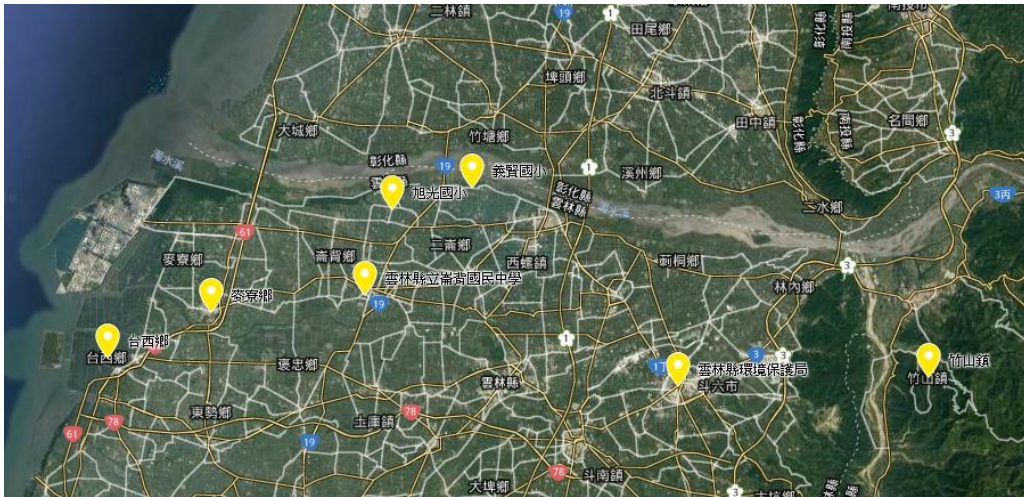
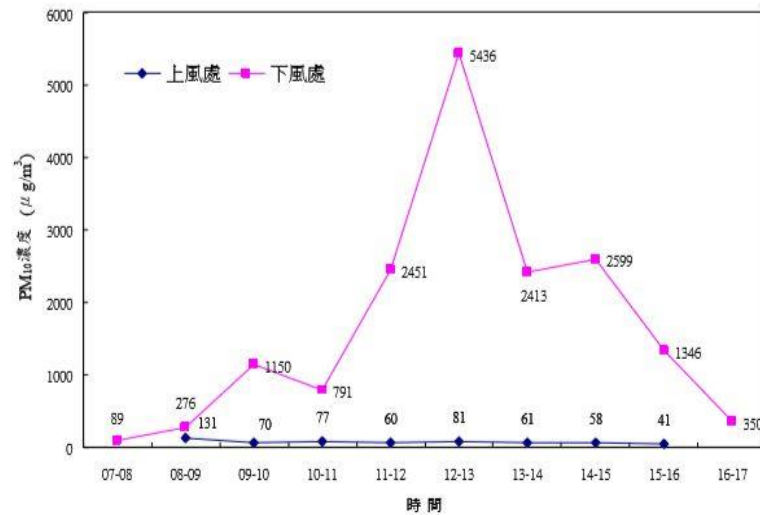


圖 3 濁水溪鄰近測站位置

## 參、結果與討論

### 一、河川揚塵事件日挑選

臺灣空氣污染排放量TEDS9.0版本是於2016年完成建置，因此就2016年來篩選事件日。圖4可看出上風處與下風處 $PM_{10}$ 濃度之差異，顏有利之研究在濁水溪事件日最大可相差到67倍之多，可見在篩選河川揚塵事件日時，上風處及下風處之濃度差可作為一種判斷依據，當上風處無較高濃度，但下風處濃度卻急遽升高，便可判定其極有可能是河川揚塵造成 $PM_{10}$ 濃度驟升。依濁水溪地理位置，挑選位於濁水溪北方之彰化二林測站作為上風處，與下風處之河川揚塵旭光測站比對，另外再以同屬下風處，距離濁水溪較遠之崙背測站，與距離濁水溪約2.5 km的旭光測站進行濃度比較，測站位置如圖5所示。



資料來源：顏有利，2005

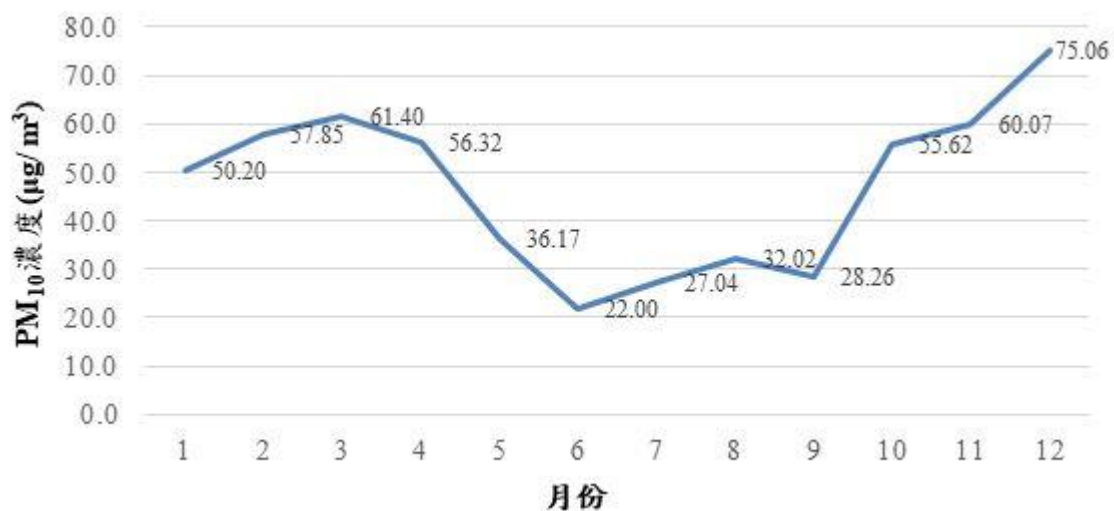
圖 4 上風處與下風處濃度差異趨勢



圖 5 二林、旭光及崙背測站之位置

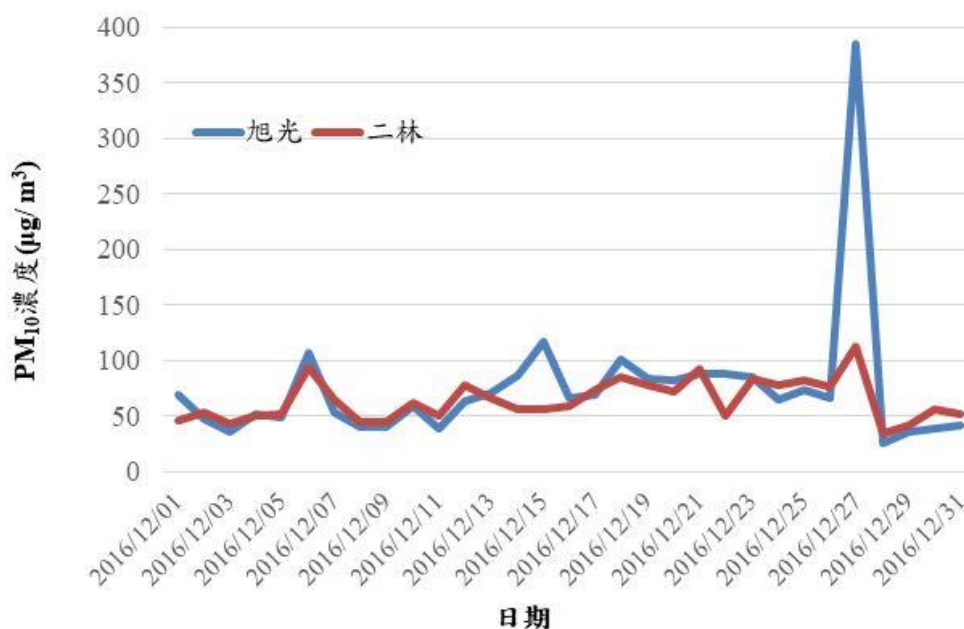
圖6可看出旭光測站2016年之間測值發現12月平均值最高，因此就12月進行分析，由圖5所示，在12月27日有一高峰，再將三測站之間測值進行比對(表2)，從圖7可發現12月27日旭光與崙背之PM<sub>10</sub>濃度皆大於二林超過50 μg/m<sup>3</sup>，在當日9時旭光測得濃度高達1063 μg/m<sup>3</sup>，而二林之濃度為144 μg/m<sup>3</sup>，相差了7倍，且旭光在當日7時至8時測得之濃度相差901 μg/m<sup>3</sup>，故研判此案例為河川揚塵事件日。再將旭光與崙背之濃度進行比較，8至9時旭光PM<sub>10</sub>濃度驟升，崙背濃度則逐漸升高，判斷可能是揚塵尚未擴散至崙背，故崙背濃度升高的較為緩慢，但可看出旭光與崙背之濃度趨勢相同，代表受同一事件影響。





資料來源：行政院環境保護署，2016

圖 6 2016 年旭光測站 PM<sub>10</sub> 月平均值



資料來源：行政院環境保護署，2016

圖 7 2016 年 12 月旭光測站 PM<sub>10</sub> 日平均值

表 2 2016 年 12 月二林、崙背及旭光測站 PM<sub>10</sub> 小時平均濃度

| 時間 \ 測站       | 二林                                          | 崙背  | 旭光   |
|---------------|---------------------------------------------|-----|------|
|               | PM <sub>10</sub> 小時平均濃度(μg/m <sup>3</sup> ) |     |      |
| 2016/12/27/7  | 64                                          | 104 | 40   |
| 2016/12/27/8  | 100                                         | 221 | 941  |
| 2016/12/27/9  | 144                                         | 350 | 1063 |
| 2016/12/27/10 | 172                                         | 458 | NA   |
| 2016/12/27/11 | 185                                         | 497 | NA   |
| 2016/12/27/12 | 197                                         | 492 | 854  |
| 2016/12/27/13 | 197                                         | 522 | 929  |
| 2016/12/27/14 | 197                                         | 345 | 759  |
| 2016/12/27/15 | 146                                         | 287 | 632  |
| 2016/12/27/16 | NA                                          | 385 | 490  |
| 2016/12/27/17 | 119                                         | 301 | 390  |
| 2016/12/27/18 | 104                                         | 248 | 316  |
| 2016/12/27/19 | 75                                          | 219 | 293  |
| 2016/12/27/20 | 86                                          | 202 | 320  |

## 二、ISC 模式模擬趨勢分析

濁水溪揚塵之日平均模擬濃度分布，如圖8所示，整體濃度擴散趨勢與測站監測濃度吻合，且冬季逢東北季風吹襲，因此下風處的南岸濃度較高，而崙背有明顯低估的情況，推測本研究之污染源只針對河川裸露地，不考慮休耕農田所貢獻之PM<sub>10</sub>濃度，因此造成崙背之模擬值低估，與監測值相比誤差濃度為175 μg/m<sup>3</sup>，而旭光模擬值為262 μg/m<sup>3</sup>，監測值為385 μg/m<sup>3</sup>，誤差為123 μg/m<sup>3</sup>。

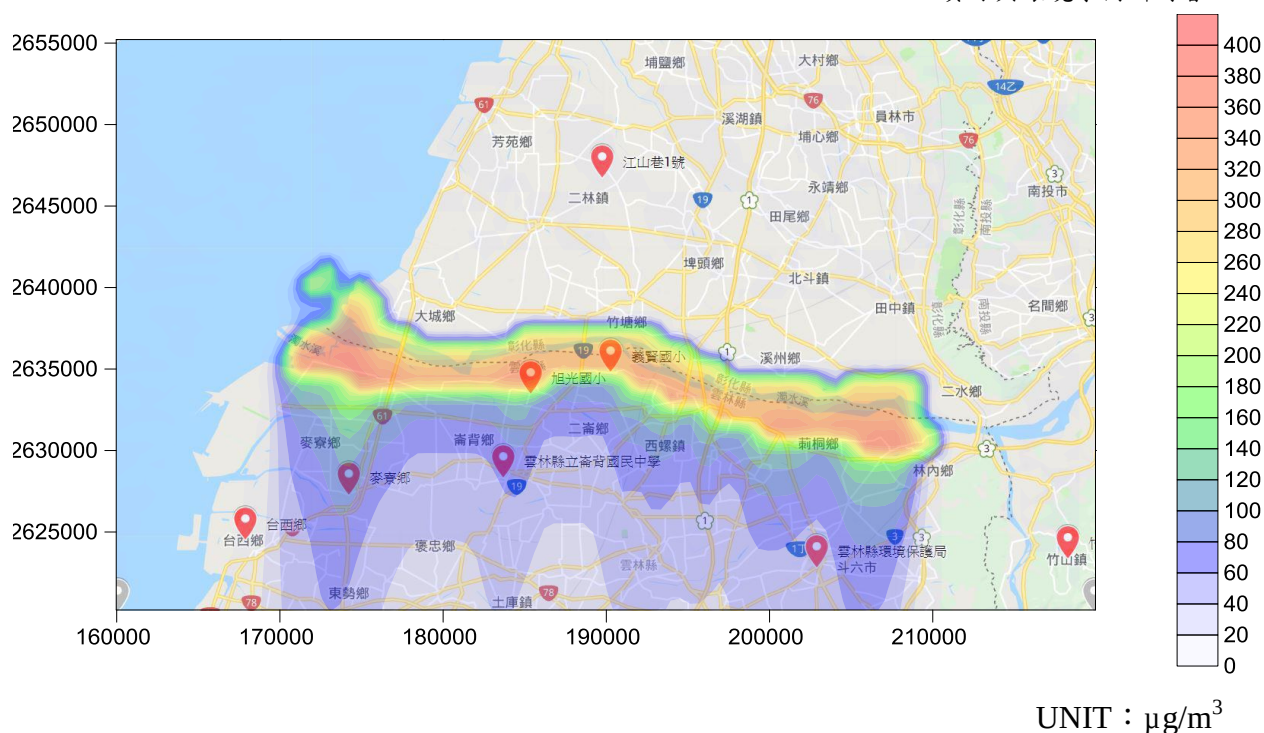


圖 8 2016 年 12 月 27 日濁水溪揚塵事件日小時平均模擬濃度分布圖

## 二、河川揚塵粒狀污染物實地監測數值

本研究除了採用環保署測站 $PM_{10}$ 及 $PM_{2.5}$ 之觀測數據，並到義賢國小測站及崙背監測站實地進行採樣，且使用 $PM_{10}$ 手動式高量採樣器及 $PM_{10}$ 自動連續監測儀，在雲林縣二崙鄉義賢國小司令台旁進行監測，監測得到的數值與崙背監測站數值，如表3與表4所示。逐時數據趨勢圖，如圖9及圖10所示，由圖可知手動監測數值與自動監測數值約介於 $10 - 200 \mu g/m^3$ 。於早上時段(10點至12點間)因民眾於河堤旁進行露天焚燒，致使這段期間 $PM_{10}$ 濃度較高，可高達 $200 \mu g/m^3$ 。但於中午時段(12點至14點間)因氣溫較高，垂直對流較旺盛，導致 $PM_{10}$ 濃度降低為 $40 \mu g/m^3$ ，此時的 $PM_{10}$ 濃度接近崙背監測站濃度。另於下午時段(14點至18點間)，雖無露天焚燒事件，但受濁水溪揚塵影響，致使 $PM_{10}$ 濃度達 $100 \mu g/m^3$ 以上。於夜間時段(18點過後)，風速略為提升，水平對流增強，致使 $PM_{10}$ 濃度較低，僅約為 $20 \mu g/m^3$ ，亦與崙背監測站數值接近。

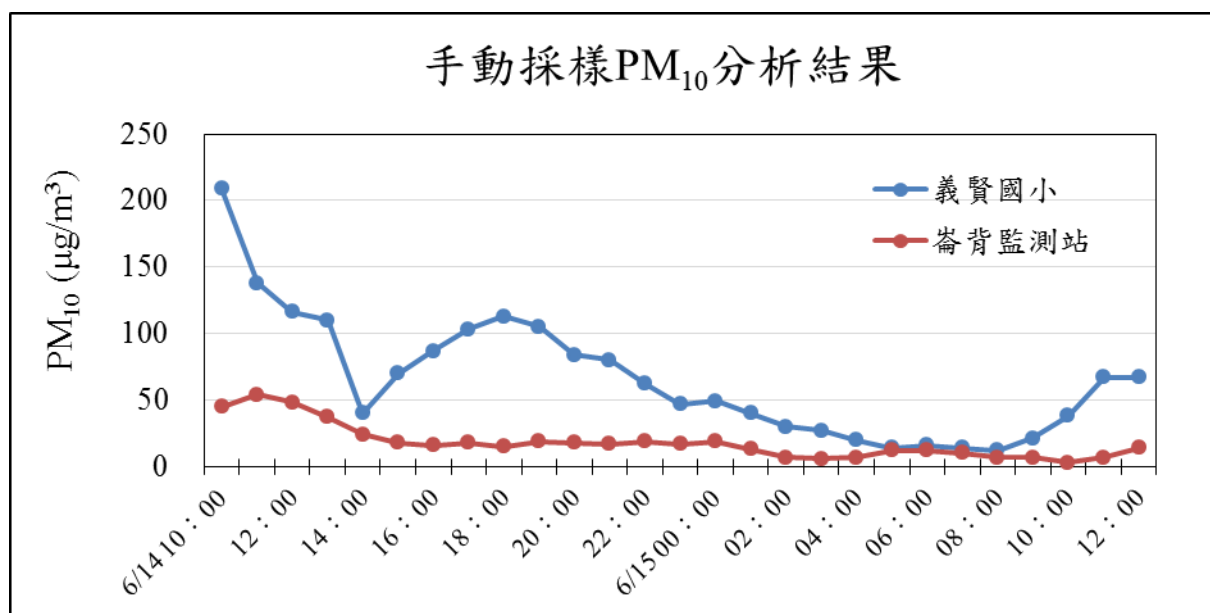
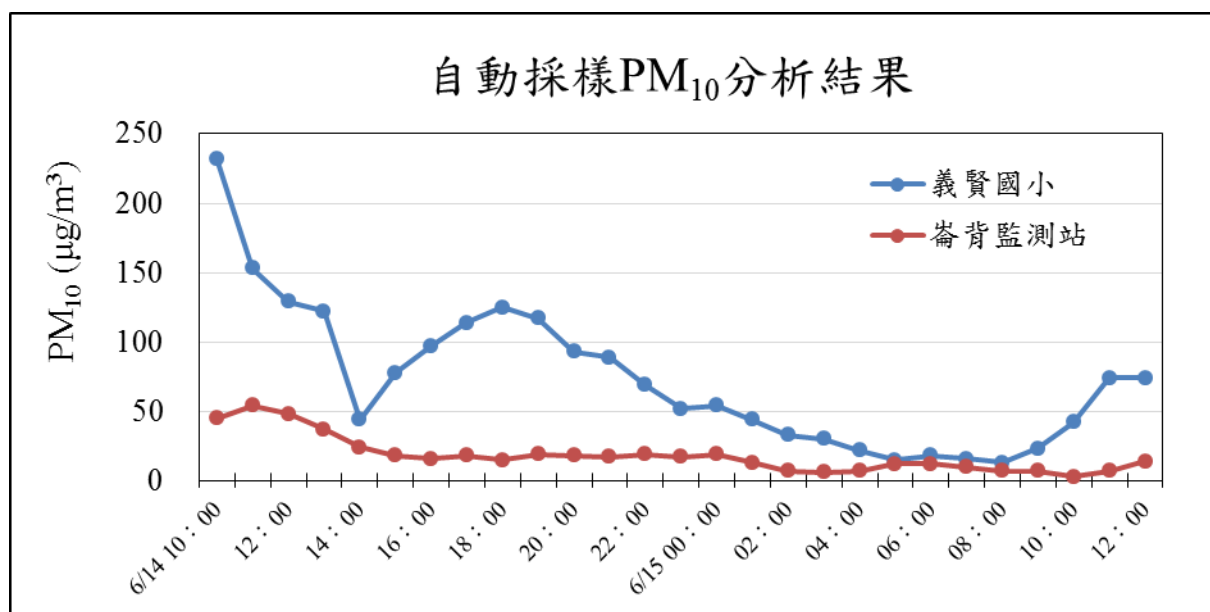
表 3 手動採樣及監測站  $PM_{10}$  濃度

| 項次 | 6/14 監測<br>時段 | 義賢國小<br>( $\mu g/m^3$ ) | 崙背監測站<br>( $\mu g/m^3$ ) | 6/15 監測<br>時段 | 義賢國小<br>( $\mu g/m^3$ ) | 崙背監測站<br>( $\mu g/m^3$ ) |
|----|---------------|-------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|
| 1  | 10:00         | 209                     | 45                       | 00:00         | 49                      | 19                       |
| 2  | 11:00         | 138                     | 54                       | 01:00         | 40                      | 13                       |
| 3  | 12:00         | 116                     | 48                       | 02:00         | 30                      | 7                        |
| 4  | 13:00         | 110                     | 37                       | 03:00         | 27                      | 6                        |
| 5  | 14:00         | 40                      | 24                       | 04:00         | 20                      | 7                        |

|     |         |     |    |         |    |    |
|-----|---------|-----|----|---------|----|----|
| 6   | 15 : 00 | 70  | 18 | 05 : 00 | 14 | 12 |
| 7   | 16 : 00 | 87  | 16 | 06 : 00 | 16 | 12 |
| 8   | 17 : 00 | 103 | 18 | 07 : 00 | 14 | 10 |
| 9   | 18 : 00 | 113 | 15 | 08 : 00 | 12 | 7  |
| 10  | 19 : 00 | 105 | 19 | 09 : 00 | 21 | 7  |
| 11  | 20 : 00 | 84  | 18 | 10 : 00 | 38 | 3  |
| 12  | 21 : 00 | 80  | 17 | 11 : 00 | 67 | 7  |
| 13  | 22 : 00 | 62  | 19 | 12 : 00 | 67 | 14 |
| 14  | 23 : 00 | 47  | 17 |         |    |    |
| 平均值 |         | 97  | 26 | -       | 32 | 10 |

表 4 自動採樣及監測站 PM<sub>10</sub> 濃度

| 項次  | 6/14 監測<br>時段 | 義賢國小<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 崙背監測站<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 6/15 監測<br>時段 | 義賢國小<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 崙背監測站<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|-----|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1   | 10 : 00       | 232                                  | 45                                    | 00 : 00       | 54                                   | 19                                    |
| 2   | 11 : 00       | 153                                  | 54                                    | 01 : 00       | 44                                   | 13                                    |
| 3   | 12 : 00       | 129                                  | 48                                    | 02 : 00       | 33                                   | 7                                     |
| 4   | 13 : 00       | 122                                  | 37                                    | 03 : 00       | 30                                   | 6                                     |
| 5   | 14 : 00       | 44                                   | 24                                    | 04 : 00       | 22                                   | 7                                     |
| 6   | 15 : 00       | 78                                   | 18                                    | 05 : 00       | 15                                   | 12                                    |
| 7   | 16 : 00       | 97                                   | 16                                    | 06 : 00       | 18                                   | 12                                    |
| 8   | 17 : 00       | 114                                  | 18                                    | 07 : 00       | 16                                   | 10                                    |
| 9   | 18 : 00       | 125                                  | 15                                    | 08 : 00       | 13                                   | 7                                     |
| 10  | 19 : 00       | 117                                  | 19                                    | 09 : 00       | 23                                   | 7                                     |
| 11  | 20 : 00       | 93                                   | 18                                    | 10 : 00       | 42                                   | 3                                     |
| 12  | 21 : 00       | 89                                   | 17                                    | 11 : 00       | 74                                   | 7                                     |
| 13  | 22 : 00       | 69                                   | 19                                    | 12 : 00       | 74                                   | 14                                    |
| 14  | 23 : 00       | 52                                   | 17                                    |               |                                      |                                       |
| 平均值 |               | 108                                  | 26                                    | -             | 35                                   | 10                                    |

圖 9 手動採樣及監測站 PM<sub>10</sub> 濃度圖 10 自動採樣及監測站 PM<sub>10</sub> 濃度

## 肆、結 論

- 一、分析2016年河川揚塵測站監測數據，12月的PM<sub>10</sub>月平均值為75.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中12月27日是最顯著的河川揚塵事件日，其日平均值為384.73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
- 二、就2016年12月27日對濁水溪揚塵進行模擬，旭光國小模擬之日平均值為262  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，與監測值相比，誤差率為32 %。
- 三、自動法採樣與手動採樣法實地採樣，因採樣時間非揚塵好發時段，故監測之濃度不高。

## 誌謝

本研究承蒙科技部108-2119-M-005 -003 -A計畫之經費補助，特於此敬上最誠摯的感謝。

## 參考文獻

- [1] 林文印、楊之遠、顏有利、吳義林、賴全裕，「河川揚塵對空氣品質影響預防評估計畫」，102年度環保署/國科會空污防制科研合作計畫，2014。
- [2] 林文印、楊之遠、顏有利、吳義林、賴全裕，2013，「河川揚塵對空氣品質影響預防評估計畫」，102年度環保署空污防制科研合作計畫，NSC102-EPA-F-011-001。
- [3] 林文印、楊之遠、顏有利、陳志傑、吳義林、張章堂、賴全裕，「河川揚塵對空氣品質影響預防評估計畫：以濁水溪為例」，99年度環保署/國科會空污防制科研合作計畫，2011。
- [4] 林文印、楊之遠、顏有利、陳志傑、吳義林、張章堂、賴全裕，「河川揚塵對空氣品質影響預防評估計畫」，100年度環保署/國科會空污防制科研合作計畫，2012。
- [5] 林鴻維，「河川揚塵特性及其再懸浮評估-以彰化縣境為例」，中山醫學大學職業安全衛生學系，碩士論文，2013。

# 利用無機聚合技術固化模擬放射性陽離子型交換樹脂之研究 A study on Solidification of Simulated Radioactive Cationic Exchange Resins using Geopolymer Technology

謝宇杰<sup>1\*</sup> 李韋皞<sup>1</sup> 李梯群<sup>1</sup> 鄭大偉<sup>1</sup> 黃君平<sup>2</sup> 吳佳穎<sup>2</sup>

Yu-Jie Xie<sup>1</sup> Wei-Hao Lee<sup>1</sup> Ti-Chun Li<sup>1</sup> Ta-Wui Cheng<sup>1</sup>

Chun-Ping Huang<sup>2</sup> Jia-Ying Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立台北科技大學資源工程研究所

Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

<sup>2</sup> 行政院原子能委員會核能研究所

Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Executive Yuan

\* Corresponding author: [kuankuan1234567@gmail.com](mailto:kuankuan1234567@gmail.com)

## 摘要

核能工業產生的放射性廢離子交換樹脂的減容與安定化處理是國際上亟待解決的課題。近年來，有一種新的材料——無機聚合材料，逐漸受到各國的重視。無機聚合材料為類似沸石的一種三維架構鋁矽酸鹽材料。其具有優良的耐火絕熱、抗酸鹼性與機械性質。無機聚合材料的基本原料取得容易，製程及設備簡單，在常溫環境下即可製得，因此逐漸受到各界的重視，將其發展成為新一代放射性廢棄物處理材料具有相當的潛力。根據實驗結果顯示，陽離子型交換樹脂經高錳酸鉀前處理後，於濕基樹脂添加量為 40 wt.%之條件下，透過無機聚合技術製作成單一批次 60L 大型固化體，其各項測試結果均符合標準規範。由此可證明透過無機聚合技術固化離子交換樹脂實為可行之法。經計算增容比並與水泥固化法比較，可節省 3/4 以上之儲存空間。因此，以無機聚合技術固化離子交換樹脂，其固化體可符合低放射性廢棄物品質規範，更能增加單位體積內之離子交換樹脂固化量，進而有效增加儲存空間。

**關鍵詞：**無機聚合材料、陽離子交換樹脂、固化、放射性

## 壹、前言

離子交換樹脂被廣泛的使用於廢水淨化系統，核子反應爐中異於一般冷卻水與廢水除礦系統中使用粒狀離子交換樹脂。核子反應爐中使用過之粒狀離子交換樹脂屬於濕性固體之低放射性廢棄物。根據放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則十五條之一，若廢樹脂未經安定化處理可脫水暫貯，以五年為限，因此廢樹脂是一項迫切需處理



的低放射性廢棄物。我國目前擁有的核子反應爐除台電公司之核能發電廠外，亦有兩座研究用反應爐，分別位於原子能委員會核能研究所及清華大學。我國核電廠累計至目前共貯放待處理之脫水樹脂有18,726桶[1]。另外，核能研究所執行TRR燃料池清理計畫，其中廢離子交換樹脂( $13 \text{ m}^3$ )，已全數由TRR燃料池清出安全貯存，待進行安定化處理。

廢樹脂之處理技術可分為減容與直接固化。固化法依其固化劑的材料包括水泥、瀝青或高分子聚合物等[2]。過去台灣的廢樹脂曾以水泥固化法進行處理，因為水泥固化法具有操作簡單和成本低廉等優勢，但是鑒於長期貯存後水泥固化體有產生膨脹龜裂之虞，故台灣自1987年7月以後，全面停止粒狀廢離子交換樹脂的水泥固化，改採脫水後暫存。另外高分子聚合物與瀝青的固化可以固化較高含量之樹脂，但是高分子聚合物價格高，操作成本高；瀝青則強度低，而且具有可燃性，故應用於實廠中仍須評估。鑒於上述因素，固化劑之研發尚為一重要議題。

無機聚合物(Geopolymer)是一種結構似於沸石的非晶質或半晶質材料[3]。主要使用富有矽、鋁離子之材料與鹼性溶液製備而成。其製程先將富有矽、鋁離子之材料置於鹼性溶液中，使其中之 Si、Al 膠體析出，形成無機聚合物之前導物，接著添加鹼金屬矽酸鹽溶液以提供足夠之 Si 離子與其聚合反應，形成無機聚合物的主體，生成產物以  $\text{SiO}_4^-$  及  $\text{AlO}_4^-$  組成之封閉架狀結構，其硬化機制與水泥類似，但水泥硬化後鍵結形式為水合鍵結，無機聚合物則是化學鍵結[4]。

在過去的文獻中[5]，已有使用無機聚合物固定離子交換樹脂之先例，且文獻中指出，使用高錳酸鉀進行前處理，可破壞樹脂交換能力，防止樹脂於固化體內膨脹與收縮之現象。固本研究採用無機聚合技術固化陽離子交換樹脂，探討高錳酸鉀添加量對於固化體性質之影響，並進一步放大製作尺寸，模擬實廠固化情形。

## 貳、實驗方法

本研究團隊以無機聚合技術固化陽離子型交換樹脂，其實驗流程分為兩部分：

1. 以  $\Phi 3 \times 6 \text{ cm}$  尺寸之固化體進行高錳酸鉀配比前導試驗，探討高錳酸鉀之最佳添加量，並以此為基礎進行後續實驗。
2. 以前導試驗之結果為基礎，放大製作尺寸進行單批次60L之模廠級固化試驗，並測試自由水、機械強度、耐水性、耐候性試驗及溶出試驗，探討其性質影響與變化，並評估其增容比。

### 2-1、前導試驗

此實驗為探討添加不同比例之高錳酸鉀粉體與陽離子型交換樹脂混拌後，對製作之固化體機械強度影響，其高錳酸鉀粉體添加量分別為1、3及5 wt.%。

#### 2-1-1.實驗流程

本實驗流程如圖1所示，將不同比例之高錳酸鉀粉體與鹼液(前處理)攪拌2小時，接著加入樹脂攪拌2分鐘，之後加入經混拌1分鐘之爐石粉與矽灰石攪拌3分鐘，最後加入

鹼液攪拌1分鐘呈均勻漿體後，再將其灌入 $\Phi 3 \times 6$  cm 之圓柱模，在室溫養護分別於7、14及28天後脫模，測試其機械強度，觀察其影響與變化。

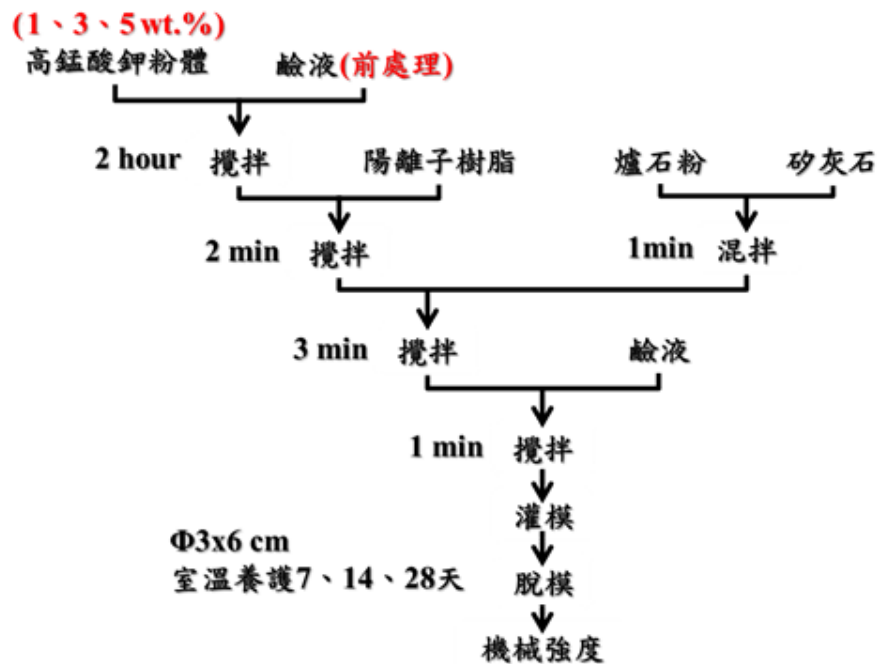


圖1 實驗流程圖

## 2-1-2.實驗配比

本實驗配比如表1所示，陽離子型交換樹脂含水率為50wt.%，額外添加高錳酸鉀粉體分別為樹脂之1、3及5 wt.%，液固比(L/S)為1.0(包含陽離子型交換樹脂之水分)，水膠比(W/B)為1.0(鹼液與粉體之比例)。本實驗使用之鹼液濃度為12M，其配比參數如表2所示， $\text{SiO}_2/\text{NaO}_2$ 莫爾比為0.8， $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 莫爾比為50。

表1 實驗配比

| 試體<br>編號 | L/S | W/B | 粉體                |               | 鹼性<br>溶液<br>(wt.%)<br>(前處理) | 鹼性<br>溶液<br>(wt.%) | 樹脂含<br>水率<br>(wt.%) | 濕基<br>樹脂<br>(wt.%)<br>(乾基) | 高錳酸鉀<br>粉體添加量<br>(樹脂 wt.%) |
|----------|-----|-----|-------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
|          |     |     | 爐石<br>粉<br>(wt.%) | 矽灰石<br>(wt.%) |                             |                    |                     |                            |                            |
| 1K-S     | 1.0 | 1.0 | 24.0              | 6.0           | 21.0                        | 9.0                | 50                  | 40.0<br>(20.0)             | 1                          |
| 3K-S     | 1.0 | 1.0 | 24.0              | 6.0           | 21.0                        | 9.0                | 50                  | 40.0<br>(20.0)             | 3                          |
| 5K-S     | 1.0 | 1.0 | 24.0              | 6.0           | 21.0                        | 9.0                | 50                  | 40.0<br>(20.0)             | 5                          |

表2 鹼液配比

| 鹼液濃度 | SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O 莫爾比 | SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 莫爾比 |
|------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 12M  | 0.8                                     | 50                                                   |

## 2-2、模擬實廠大型固化體試驗

本實驗根據前導試驗之結果，於固化體內添加 5 wt.%之高錳酸鉀粉體，模擬實廠製作情形，將提升單一批次製作量至60 L，並添加模擬核種，測試其機械強度、自由水、耐候性、耐水性及溶出試驗，觀察其影響與變化，評估其增容比。

### 2-2-1. 模擬實廠實驗流程

本實驗模擬實廠拌合情形，將放大尺寸配置成單一批次60L之固化體，並添加模擬核種，探討其影響，其流程如圖2所示。將高錳酸鉀粉體與鹼液(前處理)攪拌2小時，接著加入樹脂攪拌2分鐘，樹脂均事先加入模擬核種，之後加入經混拌1分鐘之爐石粉與矽灰石攪拌3分鐘，最後加入鹼液攪拌1分鐘呈均勻漿體後，灌入60L固化箱中，再從中取部分漿體灌入Φ5x10 cm之圓柱模，室溫養護分別於7、14、28天後脫模，測試其機械強度、自由水、耐候性、耐水性及溶出試驗。

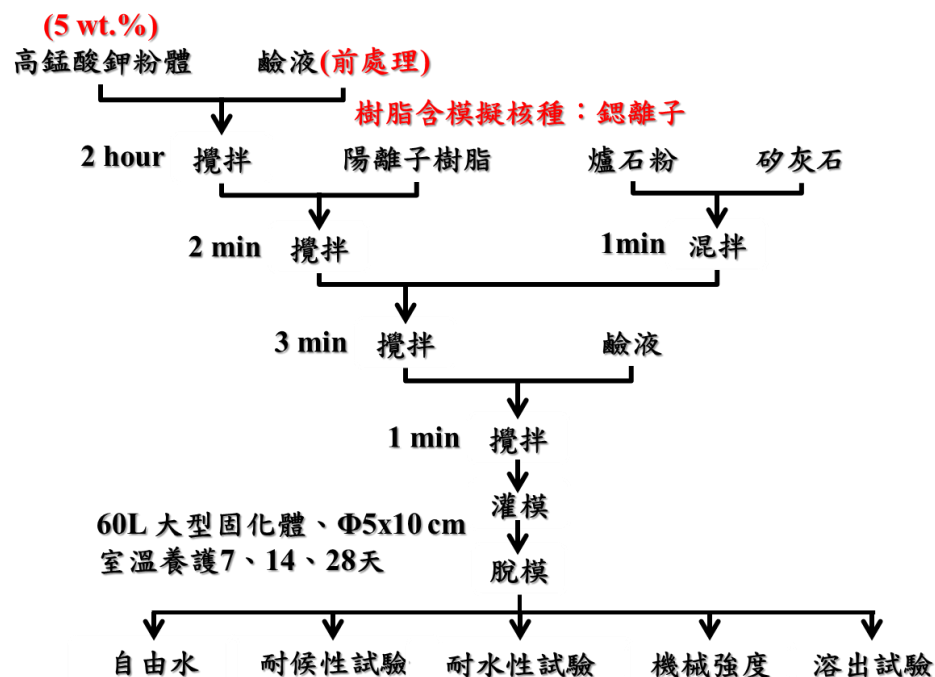


圖2 實驗流程圖

## 2-2-2.實驗配比

本實驗之配比參照前導試驗，考慮到工作性，些微地降低液固比，其配比如表3所示，陽離子型交換樹脂含水率為50wt.%，額外添加高錳酸鉀為樹脂5wt.%，液固比(L/S)為0.91(包含陽離子型交換樹脂之水分)，水膠比(W/B)為0.85(鹼液與粉體之比例)。本實驗使用之鹼液濃度為12M，其配比參數如表4所示， $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 莫爾比為0.8， $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 莫爾比為50。樹脂內模擬核種銨離子濃度如表5所示。

表3 實驗配比

| 試體<br>編號 | L/S  | W/B  | 粉體                |               | 鹼性<br>溶液<br>(wt.%)<br>(前處理) | 鹼性<br>溶液<br>(wt.%) | 樹脂含<br>水率<br>(wt.%) | 濕基<br>樹脂<br>(wt.%)<br>(乾基) | 高錳酸鉀<br>粉體添加量<br>(樹脂 wt.%) |
|----------|------|------|-------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
|          |      |      | 爐石<br>粉<br>(wt.%) | 矽灰石<br>(wt.%) |                             |                    |                     |                            |                            |
| 5K-60L   | 0.91 | 0.85 | 25.1              | 6.3           | 21.6                        | 5.2                | 50                  | 41.8<br>(20.9)             | 5                          |

表4 鹼液配比

| 鹼液濃度 | $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 莫爾比 | $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 莫爾比 |
|------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 12M  | 0.8                                    | 50                                       |

表5 模擬核種濃度

|          |           |
|----------|-----------|
| 樹脂內銨離子濃度 | 999.9 ppm |
|----------|-----------|

## 2-3、固化體測試項目

由於放射性廢棄物具有一定之危險性，為了安全地貯存這些危險物質，國際原子能總署制定了處置放射性廢棄物的規範，作為其在操作、運送、貯存過程至最後處置時安全評估的重要考量因素。各國對於放射性固化體之品質要求及測試標準皆有所不同，而我國主要是參考美國的測試項目，規範要求良好之機械、化學、耐輻射、耐生物及穩定等性質，僅機械強度的要求有所不同。本研究依照低放射性廢棄物固化體測試項目、方法及標準進行試驗，如表6所示。

表6 低放射廢棄物均勻固化體測試項目、方法及標準[6]

| 項次 | 測試項目 | 標準方法          | 標準內容                                          |
|----|------|---------------|-----------------------------------------------|
| 一  | 自由水  | ANSI/ANS 55.1 | 1.自由水含量小於固化體體積之百分之零點五。<br>2.自由水之 pH 值應介於4~11。 |

| 項次 | 測試項目 | 標準方法                   | 標準內容                          |
|----|------|------------------------|-------------------------------|
| 二  | 溶出指數 | ANS16.1                | 固化體內各核種溶出指數應大於6。              |
| 三  | 機械強度 | ASTM-C39               | 固化體之抗壓強度應大於每平方公分15公斤。         |
| 四  | 耐水性  | 固化體須浸水90天後測試機械強度(常溫下)。 | 經耐水性測試後，固化體之機械強度應大於每平方公分15公斤。 |
| 五  | 耐候性  | 固化體經溫、濕度循環變化後測試機械強度。   | 經耐候性測試後，固化體之機械強度應大於每平方公分15公斤。 |

### 叁、結果與討論

#### 3-1、前導試驗

本實驗是探討添加不同比例之高錳酸鉀粉體，與陽離子型交換樹脂進行前處理後，製成固化體探討7、14、28天機械強度之影響，再根據其結果進行後續實驗。本試驗之配比是參考本團隊過去之實驗配比，如表7所示[5]。由於本試驗使用之樹脂為陽離子型樹脂，與前人使用之混合樹脂不同，且高錳酸鉀粉體添加量越高，均會使漿體更為黏稠，降低工作性，需添加較多之鹼液調整工作性，以致前導試驗之陽離子型交換樹脂於固化體含量減少為40%。

表7 實驗配比對照表

| 作者            | L/S  | W/B  | 粉體                |               | 鹼性<br>溶液<br>(wt.%)<br>(前處理) | 鹼性溶液<br>/ 礬砂<br>(wt.%) | 樹脂含<br>水率<br>(wt.%) | 濕基<br>樹脂<br>(wt.%)<br>(乾基) | 高錳酸鉀<br>粉體添加量<br>(樹脂 wt.%) |
|---------------|------|------|-------------------|---------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
|               |      |      | 爐石<br>粉<br>(wt.%) | 矽灰石<br>(wt.%) |                             |                        |                     |                            |                            |
| 本研究           | 1.0  | 1.0  | 24.0              | 6.0           | 21.0                        | 9.0                    | 50                  | 40.0<br>(20.0)             | 1、3、5                      |
| 曹師維<br>(2017) | 0.66 | 0.35 | 32                | 8             | 12                          | 2                      | 50                  | (混合樹脂)<br>46.0<br>(23.0)   | (高錳酸鉀<br>溶液) 2             |

##### 3-1-1. 前導實驗結果

高錳酸鉀添加比例對陽離子型交換樹脂固化體之機械強度如圖3所示，從結果可得知，隨著高錳酸鉀粉體添加量增加，固化體強度也隨之上升，推測是因提升高錳酸鉀粉

體添加量可使更多樹脂喪失活性，抑制樹脂於固化體內膨脹及收縮，從而增加機械強度[5]。5K-S 系列(高錳酸鉀粉體添加量5 wt.%) 28天機械強度可達7.8 MPa，符合規範要求之1.5 MPa。

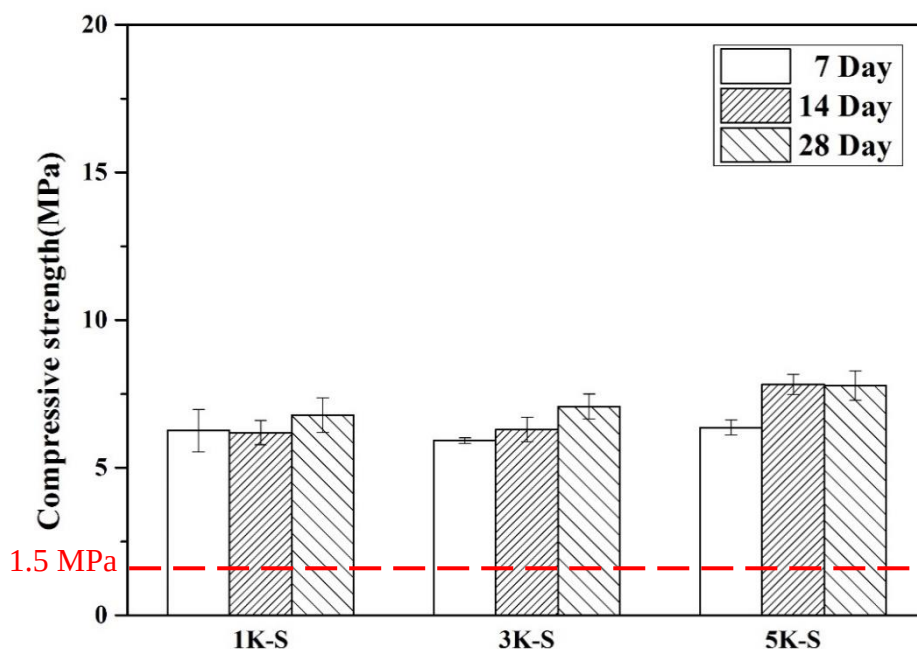


圖3 添加不同比例高錳酸鉀粉體之固化體機械強度圖

(高錳酸鉀粉體添加量分別為1、3及5 wt.%, 樹脂添加量為40wt.%, 鹼液濃度: 12M、 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ : 0.8、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ : 50)

### 3-2、模擬實廠大型固化體試驗

本實驗為模擬實廠拌合情形，將放大尺寸配置成單一批次60L之固化體，並添加模擬核種，測試其機械強度、自由水、耐候性、耐水性及溶出試驗，觀察其影響與變化，評估其增容比。本實驗之配比如表8所示，主要參照前導試驗之配比，並考慮到工作性，些微地降低液固比。圖4、5分別為製作情形與固化體外觀。

表8 實驗配比

| 試體編號           | L/S | W/B | 粉體            |               | 鹼性溶液<br>(wt.%)<br>(前處理) | 鹼性溶液<br>(wt.%) | 樹脂含水率<br>(wt.%) | 濕基樹脂<br>(wt.%)<br>(乾基) | 高錳酸鉀粉體添加量<br>(樹脂 wt.%) |
|----------------|-----|-----|---------------|---------------|-------------------------|----------------|-----------------|------------------------|------------------------|
|                |     |     | 爐石粉<br>(wt.%) | 矽灰石<br>(wt.%) |                         |                |                 |                        |                        |
| 5K-S<br>(前導試驗) | 1.0 | 1.0 | 24.0          | 6.0           | 21.0                    | 9.0            | 50              | 40.0<br>(20.0)         | 5                      |



|                 |      |      |      |     |      |     |    |                |   |
|-----------------|------|------|------|-----|------|-----|----|----------------|---|
| 5K-60L<br>(本試驗) | 0.91 | 0.85 | 25.1 | 6.3 | 21.6 | 5.2 | 50 | 41.8<br>(20.9) | 5 |
|-----------------|------|------|------|-----|------|-----|----|----------------|---|



圖4 模擬實廠大型固化體製作情形



圖5 模擬實廠大型固化體外觀

### 3-2-1.機械強度

圖6為機械強度圖，如圖所示，其28天機械強度可達6.9 MPa，且隨著齡期增加，強度亦有所上升，90天時強度可達10.1 MPa。以鑽心取樣之固化體與其比較，可發現強度雖有所下降，但仍符合規範要求之1.5MPa。圖7為28天固化體與鑽心取樣固化體之外觀。

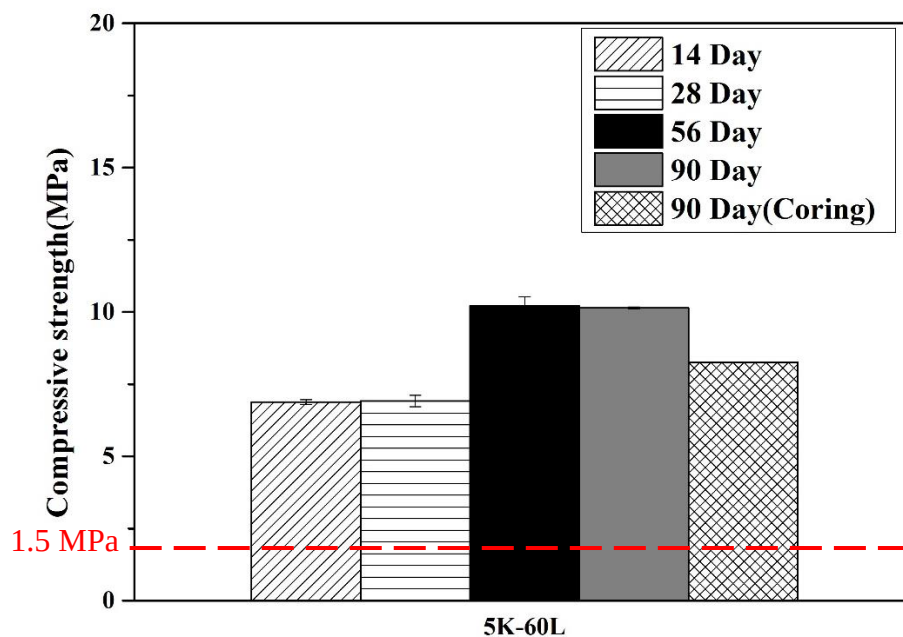


圖6 模擬實廠大型固化體機械強度圖

(高錳酸鉀粉體添加量為5 wt.%, 樹脂添加量為40wt.%, 鹼液濃度: 12M、  
 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ : 0.8、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ : 50)



圖7 28天固化體(左)與鑽心取樣固化體(右)外觀

### 3-2-2 自由水

固化體若分泌液體，可能會將放射性核種釋出，因此固化體必須排除自由水現象。各國標準不同，但皆期望排除此現象，我國標準依照 ANSI/ANS55.1方法，自由水含量必須小於0.5%。如圖8所示， $\Phi 5 \times 10$  cm 圓柱固化體及大型固化體兩者皆無自由水產生，符合規範標準。



圖8 模擬實廠大型固化體之自由水

### 3-2-3.耐候性試驗

本試驗是依照規範 FCMA-WFC-610固化體耐候性試驗方法，將室溫養護28天脫模之試體進行溫、濕度變化循環模擬實際氣候環境試驗，再觀察其表面變化並進行機械強度測定。圖9、10分別為其機械強度圖與固化體外觀，如圖所示，固化體經耐候性試驗後，固化體本身有些許剝落，應為樹脂經熱漲冷縮，導致其結構有所破壞，強度亦下降至2.3 MPa，但仍符合規範要求之1.5 MPa，



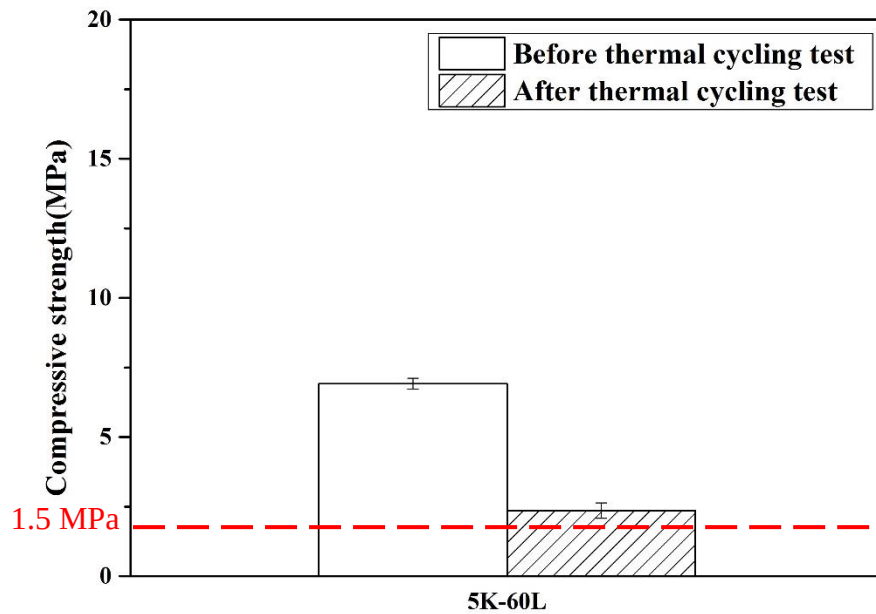


圖9 模擬實廠大型固化體經耐候性試驗前後機械強度圖  
(高錳酸鉀粉體添加量為5 wt.%, 樹脂添加量為40wt.%, 鹼液濃度: 12M、  
 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ : 0.8、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ : 50)



圖10 耐候性試驗前後固化體外觀(左為試驗前，右為試驗後)

### 3-2-4.耐水性試驗

本試驗是依照規範 FCMA-WFC-510 固化體耐水性試驗方法，將室溫養護28天脫模之固化體進行耐水性試驗，浸泡於水中待90天後，取出觀測表面變化及測量機械強度。圖11、12分別為其機械強度圖與固化體外觀，如圖所示，固化體經耐水性試驗後並無明顯差異，僅顏色較為不同，其強度則提升至10.9MPa，符合規範要求之1.5MPa。

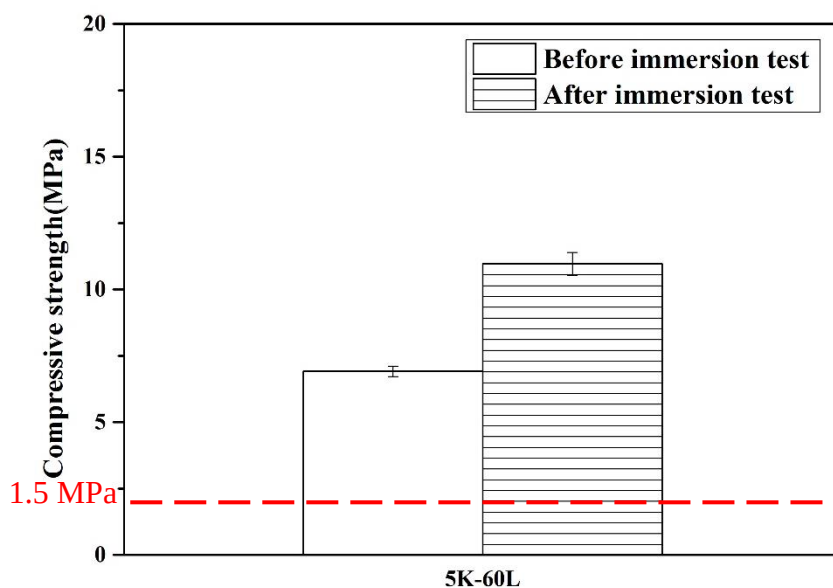


圖11 模擬實廠大型固化體經耐水性試驗前後機械強度圖  
(高錳酸鉀粉體添加量為5 wt.%, 樹脂添加量為40wt.%, 鹼液濃度: 12M、  
 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ : 0.8、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ : 50)



圖10 耐水性試驗前後固化體外觀(左為試驗前, 右為試驗後)

### 3-2-5.溶出試驗

本試驗是依照規範 FCMA-WFC-310 固化體溶出指數測定方法, 將室溫養護28天脫模之固化體進行溶出試驗, 將固化體表面浸泡於水中, 於規定之時間間隔進行取樣及換水, 以 ICP-MS 分析取樣結果, 最後根據試驗之數據計算其溶出指數。其結果如表9所示, 鋇元素之溶出指數大於 6, 符合規範標準。

表9 模擬實廠大型固化體模擬核種鋇離子溶出指數

| 取樣時間 | 溶液濃度<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | 溶出總量<br>( $\mu\text{g}$ ) | 有效擴散率 D<br>( $\text{cm}^2/\text{sec}$ ) | 溶出指數<br>( $L_{\text{Sr}}$ ) | 平均溶出指數) |
|------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------|
|------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------|

|      |      |      |          |      |      |
|------|------|------|----------|------|------|
| 第2小時 | 20.7 | 41.3 | 1.26E-11 | 10.9 | 11.9 |
| 第7小時 | 10.0 | 20.0 | 3.87E-12 | 11.4 |      |
| 第1天  | 9.7  | 19.3 | 1.08E-12 | 12.0 |      |
| 第2天  | 10.0 | 20.0 | 1.43E-12 | 11.8 |      |
| 第3天  | 10.0 | 20.0 | 2.43E-12 | 11.6 |      |
| 第4天  | 10.7 | 21.3 | 3.89E-12 | 11.4 |      |
| 第5天  | 10.7 | 21.3 | 5.02E-12 | 11.3 |      |
| 第19天 | 22.3 | 44.7 | 2.71E-13 | 12.6 |      |
| 第47天 | 21.3 | 42.7 | 1.79E-13 | 12.7 |      |
| 第90天 | 16.3 | 32.7 | 9.46E-14 | 13.0 |      |

### 3-2-6.增容比評估

增容比為一無因次指標，也稱體積變化因數，為廢棄物在固化處理前後的體積比。用以評估其固化效率，並衡量最終處置成本，其計算公式如式(1)。表11為無機聚合固化體與水泥固化體增容比之比較，如表所示，以無機聚合技術固化陽離子型交換樹脂，其增容比為18.4，可較水泥固化法節省3/4之儲存空間，大大減少貯存成本。

增容比=固化處理後的廢棄物體積/固化處理前的廢棄物體積

(1)

表11 無機聚合固化體與水泥固化體增容比之比較

| 項目 \ 體類型 \ 固化                     | 現今水泥固化體  | 爐石基無機聚合固化體 |
|-----------------------------------|----------|------------|
| 乾/濕基樹脂(wt.%)                      | 6.0/12.0 | 20.5 /41.0 |
| 處理前之廢樹脂體積(cm <sup>3</sup> )       | 10.61    | 45.83      |
| 處理後之廢樹脂固化體體積(cm <sup>3</sup> )    | 196.17   | 196.25     |
| 增容比                               | 18.49    | 4.28       |
| 每立方公尺固化體所含之樹脂體積(cm <sup>3</sup> ) | 54,085   | 233,528    |
| 相較於現今水泥固化法，可減少之容積百分率(%)           | —        | 76.85      |

## 肆、結 論

1. 根據前導試驗之結果，當陽離子型交換樹脂固化量為40 wt.%，以高錳酸鉀粉體做為陽離子型交換樹脂之前處理劑，5K-S 系列(高錳酸鉀粉體添加量5 wt.%)固化體28天機械強度最佳，可達7.8MPa。
2. 本研究模擬實廠拌合情形，放大尺寸配置成單一批次60L 之固化體，並添加模擬核種，測試其機械強度、自由水、耐候性、耐水性及溶出試驗。其試驗結果皆符合低放射性廢棄物品質規範，證明以無機聚合技術固化陽離子型交換樹脂實為可行。
3. 本研究以無機聚合技術固化陽離子型交換樹脂，經計算其增容比為4.28，相較水泥固化法可減少3/4儲存空間，進而有效增加固化效率。

## 參考文獻

- [1] 行政院原子能委員會，核能電廠低放射性廢棄物產量表，<http://www.aec.gov.tw>，2019。
- [2] Li J. F. and Wang J. L., 2006, “Advances in cement solidification technology for waste radioactive ion exchange resins: A review”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 135, pp. 443-448.
- [3] Davidovits J., 1999, “Chemistry of Geopolymeric Systems Terminology”, *Proceeding of Geopolymer '99 Second International Conference*, France, pp.9-37.
- [4] 鄭大偉，2010，無機聚合技術的發展應用及回顧，*礦冶*，54 卷，第1 期，第141-157 頁。
- [5] 曹師維，2017，無機聚合技術固化模擬放射性粒離子交換樹脂之研究，碩士論文，國立台北科技大學資源工程研究所碩士班，台北。
- [6] 放射性物料管理局，2011，低放射性廢棄物均勻固化體脂法規精進與測試方法建立。



# 稻殼生質碳制備及其對水中六價鉻離子的吸附機理研究 Preparation of Rice Husk Biochar and Its Adsorption Mechanism for Hexavalent Chromium Ion in Water

徐佩瑄<sup>1\*</sup> 陳佳佳<sup>2</sup> 張章堂<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立宜蘭大學環境工程學系學生

Student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

<sup>2</sup> 國立宜蘭大學環境工程學系碩士生

Master degree Student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

<sup>3</sup> 國立宜蘭大學環境工程學系教授

Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

\* Corresponding author: [mantau0512@gmail.com](mailto:mantau0512@gmail.com)

## 摘要

近幾年，環保意識逐漸被重視，國人對於日常飲用的自來水水質也越來越注重，尤其水中重金屬含量最為關心。目前在重金屬的開採、冶煉、加工過程中，造成不少重金屬如鉛、汞、鎘、鉻等進入大氣、水、土壤引起嚴重的環境污染。這些重金屬若不經妥善處理直接隨廢水排出至環境中，即使濃度不大，也可在藻類和底泥中積累，被魚和貝類體表吸附，產生食物鏈濃縮，從而造成公害。其中六價鉻毒性甚強，若人體攝入超過  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$  的六價鉻將會造成急性腎臟衰竭、肝臟受損等。水中鉻大多出自人為污染(鞣皮、製革、鍍金、染色等工廠之廢水)。在墨西哥和其他非洲發展中國家都有嚴重的六價鉻廢水污染的問題[1]。目前含重金屬廢水處理以吸附為主，可作為吸附劑種類頗多，其中以吸附活性碳被多專家學者認為其能夠有效去除水中污染物。主要因為活性碳具有非常高的比表面積及其內部富有微孔結構，以及其表面存在官能團。雖藉由活性碳吸附能力作為污水淨化技術已經非常成熟，但活性碳對廢水中重金屬處理成效有限，且操作費用較高[2]。本研究為降低操作費用與提升廢水中重金屬處理效率，乃利用稻殼製備生質碳材料吸附水中六價鉻。

**關鍵詞：**稻殼、生質碳、鉻、吸附

## 壹、前言

近年來諸多研究顯示生質碳施用至農地可增加土壤中碳之吸存，並改善土壤肥力及避免土壤劣化；生質碳主要為含碳的物質(包括木材、農業廢棄物等)經由不完全燃燒所生成，可作為土壤改良劑，施用生質碳於環境中具有增加土壤碳量、植物所需營養元素

與提高作物產量等功效，而由於生質碳生成之條件不同，常造成表面性質差異頗大，因此對於金屬離子之吸附能力也有所不同。生質碳具有獨特的表面物理化學性質和孔結構，已成為去除水中 Cr(VI) 的重要吸附劑。稻殼是一種農業廢棄物，直接丟棄或焚燒會造成資源浪費及環境污染。由於現代社會工業發展快速，導致重金屬隨廢水之排放而污染環境，另外，農民徒求禽畜糞施用方便，大量施用的結果常造成土壤中重金屬過度累積，進而嚴重危害環境，土壤中重金屬之化學型態分布隨重金屬之化學特性與吸附劑特性而有很大之差異。本研究以稻殼碳為吸附劑去除 Cr(VI) 的方法，分析其基本特性，包括組成元素分析與特性分析，並進行水溶液中不同金屬離子吸附之研究，藉由所獲得之等溫吸附曲線瞭解稻殼生質碳對金屬離子之吸附特性，並由元素分析及特性資料推估生質碳結構之差異對於金屬離子分佈之影響，此將可說明生質碳存在自然界時，環境中金屬離子之宿命及傳輸分布情形。

## 貳、實驗方法

### 一、國內外相關研究

#### 1. 材料製作方法

生質碳(Biochar)是指生物體不完全燃燒(450-550°C)產生的一種非純淨碳的混合物。主要為纖維素、羰基、酸及酸的衍生物、苯酚、烷屬烴及烯屬烴類的衍生物等成分複雜有機碳的混合物[3]。生質碳是在無氧或極低氧環境下將農作物廢棄物例如稻殼、椰子殼、花生殼或含有高有機物質之污泥等經過加溫，並且於一定的升溫速率以及持溫時間下進行裂解，裂解過程稱之為碳化，碳化後可得三種原料(合成氣、生物油、生物碳)[4]。生質碳的孔洞源自於生物質本身的基本孔隙和結構。例如，原始植物材料的管束結構有助於生質碳中巨孔的產生。相反之，微孔主要在材料的加熱期間形成。亦有許多文獻指出，目前常見之製備方法為物理活化與化學活化兩種，如圖 1 所示[5][6][7][8]。

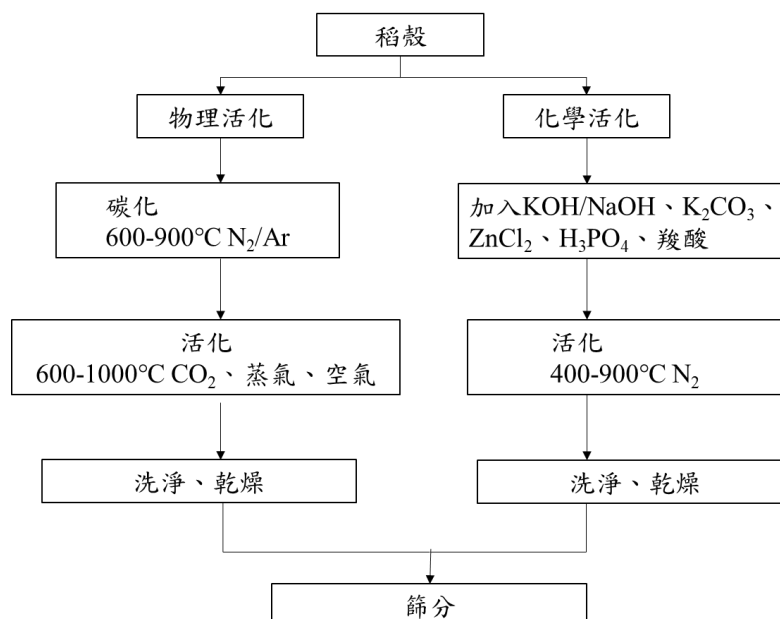


圖 1 研究流程圖



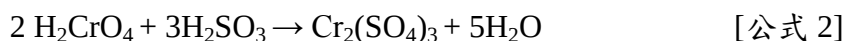
## 2.六價鉻處理機制

目前處理水中六價鉻可分為以下技術：

### 2.1 還原沉澱法

鉻酸根離子溶液中加入鹼性物質提高 pH 後，並不生成氫氧化物沉澱，而須將其先還原成三價鉻離子，始可將其轉變成氫氧化物型態之沉澱還原劑(二氧化硫)將六價鉻還原，其基本反應均在水中先生成亞硫酸[公式 1]，亞硫酸再與六價鉻作用，還原成三價鉻[公式 2]，水中含有其他化合物(如水中的溶解氧)及離子也可能同時消耗酸[公式 3]。

還原作用與 pH 有關，因為 pH 影響亞硫酸的解離，低 pH 時，六價鉻的還原反應速率進行很快( $\text{H}_2\text{SO}_3$  的濃度最大)。六價鉻還原均在酸性( $\text{pH} < 3.0$ )進行，通常加入硫酸降低 pH 添加的硫酸量與廢水中存在的鹼度有關。但還原沉澱法雖然簡單、實行上較容易，卻會產生大量的污泥，所產生的污泥在運送及處理上有困難，而且若處理不當極易造成二次污染[9]。

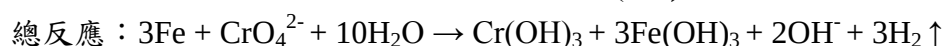
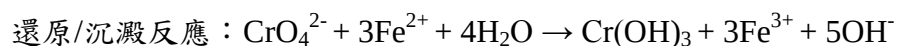
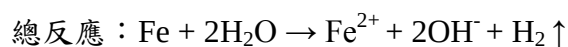
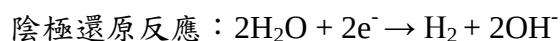
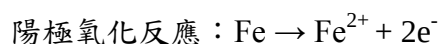


### 2.2 離子交換法

離子交換可除去廢水中之三價鉻及六價鉻，陽離子交換樹脂可去除三價鉻，但要去除六價鉻，例如  $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$  及  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  等存在於溶液時，則需使用陰離子樹脂離子交換處理能回收再利用，則具有較高之經濟性使用陰離子交換劑，此類樹脂對鉻酸鹽之親和性，較對重鉻酸鹽者為大，在  $\text{pH}=4.5-5.0$  時，鉻酸鹽離子為主要形式，故在此段 pH 範圍內效果較佳，樹脂常用 NaOH 再生，餘下之鉻酸溶液即可適合再利用。若不進行再利用，則可將排出液之鉻酸溶液用鉻還原及石灰沉澱處理。其缺點則是離子交換樹脂的價格較高，樹脂再生時需要酸、鹼或食鹽等藥劑，操作費用較高，因此，其在較大規模的廢水處理工程中較少採用[10]。

### 2.3 電化學還原法

電化學法是利用電解的基本原理，使廢水中重金屬離子經由電解在陰-陽兩極上分別發生氧化還原反應，並使廢水中的重金屬離子在陰極得到電子而還原成金屬，電解法產生亞鐵離子以還原六價鉻的可能反應，如下所示：



此法的缺點是水中的重金屬離子濃度不能降得很低，達到放流水標準較難，所以，電解法不適於處理重金屬離子濃度較低的廢水，另外能耗也是考慮的問題[11][12]。

## 2.4 吸附法

吸附法是利用吸附劑活性表面對重金屬離子的吸引來去除廢水中重金屬離子方法，且吸附法被認為是去除微量重金屬有效的方法，吸附劑種類很多，常用的有活性炭，活性炭可以同時吸附多種重金屬離子，且吸附容量大[13]。

## 二、 實驗說明

### 1.製備稻殼製生質碳

稻殼經由前處理，使用去離子水洗淨雜質，再放置烘箱以 60 °C 使其乾燥。乾燥後之稻殼裝入坩堝並放置石英管中，使用管式爐在無氧狀態(通氮氣)下以 800°C 燃燒 4h，即可得所需之稻殼生質碳。

### 2.水中鉻離子的吸附實驗

配製 0.1、0.2、0.4、0.8 與  $1 \text{ mg L}^{-1}$  的 Cr(VI)離子溶液，利用環保署公告水中 Cr(VI)離子檢測方法—比色法進行顯色，後利用紫外與可見光分光光度計於最大波長 540 nm 處測定其吸光值。以 Cr(VI)離子溶液的濃度作為橫座標，不同濃度的鉻所對應的吸光值作為縱座標，並得到擬合趨勢線為標準曲線。水中 Cr(VI)離子吸附測定方法為取不同時段的水溶液，利用環保署公告之水中六價鉻檢測方法-比色法進行顯色，再利用紫外光與可見光分光光度計在 540 nm 處測量其吸光值，再根據標準曲線，計算出其濃度值。利用環保署公告之感應耦合電漿質譜法，測量其訊號強度，再根據標準曲線，計算出其濃度值。

### 3.研究方法

將樣品進行 UV-vis 分析，加入顯色劑二苯碳酰二肼( $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}$ )而呈現紫紅色，並以 540 nm 之波長進行分析，可得實驗數值，試驗條件如表 1 所述。

表 1 稻殼製活性炭吸附水中鉻離子操作參數

| 試驗參數                        | 試驗條件            |
|-----------------------------|-----------------|
| 吸附劑投加量( $\text{g L}^{-1}$ ) | 1、2、4、8、16      |
| 鉻離子濃度(ppm)                  | 50、100、200、400  |
| pH 值                        | 2、3、4、5、6、7、8、9 |
| 溫度( $^{\circ}\text{C}$ )    | 15、25、35、45     |
| 反應時間(min)                   | 10、20、30        |

## 參、結果與討論

### 1.SEM 分析結果

藉 SEM 圖可得知由稻殼研製生質碳外觀樣貌，此生質碳外表面皆具有大小不等之孔洞，而且外貌呈現表面凹凸不平之情況，其原因可能高溫裂解，讓稻殼孔洞形成[14]，孔洞大小約為  $6.0\ \mu\text{m}$ ，如圖 2 所示。

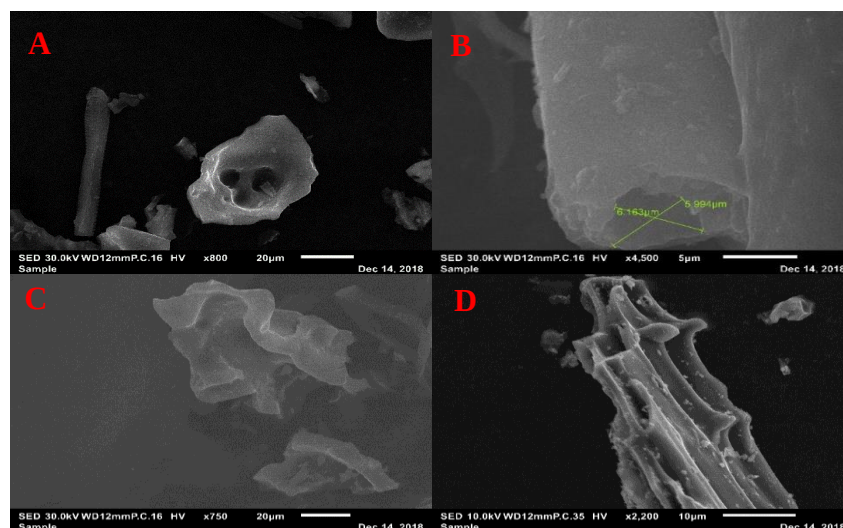


圖 2 由稻殼研製生質碳 SEM 圖  
放大(A) 800 倍 (B) 4500 倍(C) 750 倍 (D) 2200 倍

### 2. 吸附劑投加量的影響

本研究為探討最佳吸附劑投加量，因此使用 4 種不同投加量( $1$ 、 $2$ 、 $4$  與  $8\ \text{g L}^{-1}$ )，並將 pH 值固定為 5，探討材料投加量對吸附能力之影響。實驗結果如圖 3 所示，隨著吸附劑投加量的增加，吸附能力提高。可能是因為增加投加量，會使其有更多吸附位點，因而有利於吸附[15]。吸附劑量分別  $1$ 、 $2$ 、 $4$  與  $8\ \text{g L}^{-1}$  時，對  $\text{Cr(VI)}$  離子吸附能力分別為  $109.1$ 、 $113.9$ 、 $115.1$ 、 $116.3$  與  $117.0\ \text{mg g}^{-1}$ ，可得知隨吸附劑投加量增加，其吸附能力愈好，為避免吸附劑投加量的增加可能會引起處理成本過高，建議投加量為  $1\ \text{g L}^{-1}$ 。

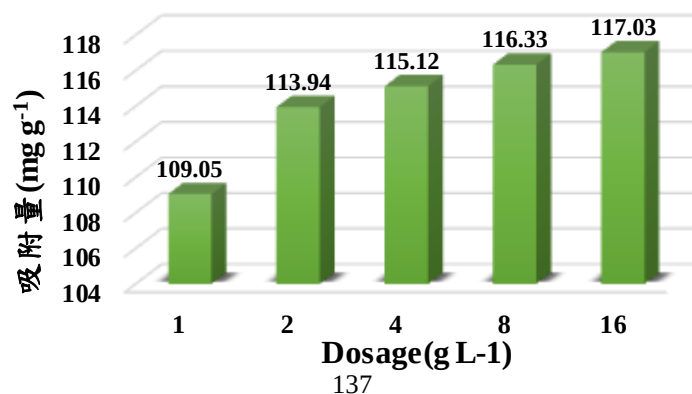


圖 3 投加量對吸附能力之影響

(Time=20 min, Co=100 ppm, Rpm=120, T=20°C, pH=5)

### 3.濃度的影響

本研究將恆溫水浴搖床溫度固定為 25 °C，pH=5 時，分別探討濃度 50、100、200 與 400 ppm 對 Cr(VI)吸附能力之影響。由圖 4 可得知，當 Cr(VI)離子初始濃度分別為 50、100、200 與 400 ppm 時，對 Cr(VI)離子吸附能力分別為 108.7、100.3、83.4 與 70.8 mg g<sup>-1</sup>，可得知濃度愈高其吸附能力愈低。六價鉻的初始濃度對稻殼生質碳的吸附能力有一定程度的影響。隨著初始濃度的增加，其吸附量逐漸增加，這是因為稻殼生質碳用量一定時，提供的吸附位點數量一定，隨著溶液中離子初始濃度的增大，會導致吸附量降低，吸附達到飽和制約了吸附過程的進行[15]。

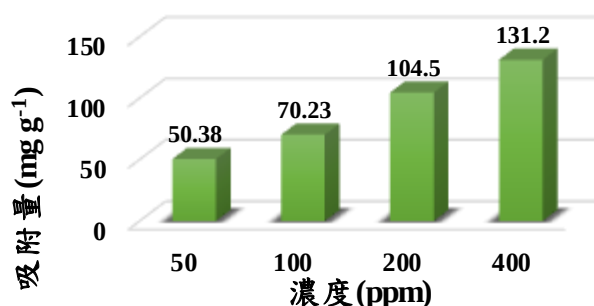


圖 4 濃度對 Cr(VI)吸附能力之影響

(time=20 min, Dosage=1g L<sup>-1</sup>, Rpm=120, T=20°C, pH=5)

### 4.pH 的影響

由於吸附 Cr(VI)離子時 pH 值為一非常重要之吸附條件，不僅影響吸附劑的表面性質，還能決定金屬離子在溶液中的存在型態，圖 5 為不同 pH，pH=2、3、4、5、6、7、8、9，並於初始濃度 100 ppm 下，使用 1g L<sup>-1</sup> 吸附劑吸附 Cr(VI)離子，且觀察於不同 pH 值下稻殼生質碳對 Cr(VI)吸附量之變化。從圖可知，吸附劑對於重金屬的去除能力隨著 pH 值的升高逐漸降低，當溶液的 pH 值從 2 升到 9 時，稻殼生質碳對六價鉻的吸附量由 305.36 mg g<sup>-1</sup> 下降到 211.2 mg g<sup>-1</sup>。當 pH=2.0，吸附量達到最大，當 pH≥7.0，吸附量變化漸緩，趨於穩定。

pH 值對鉻在溶液中的存在形式有很大影響，當溶液 pH<1.0 時，主要以鉻鹽(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)形式存在；當溶液 1.0<pH<6.0 時，主要以 HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup>、Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-</sup>形式存在；而當 pH>6.0 時，主要以 CrO<sub>4</sub><sup>-</sup>的形式存在。較低 pH 值時，六價鉻離子的去除能力較高，一是因為酸性環境下，生質碳表面大量存在的 C=O 官能團與 HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup>、Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-</sup>以氫鍵形式結合，將大量鉻離子吸附至生質碳表面，二是因為酸性環境下，生質碳的表面羧基和羥基能與氫離子

發生質子化，形成正電性官能團 $-\text{OH}_2^+$ 、 $-\text{COOH}_2^+$ ，可通過靜電作用結合陰離子 $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$ ，從而使 $\text{Cr(VI)}$ 的吸附量提高。當溶液 $\text{pH}$ 升高過程中，鉻的存在形式又由 $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$ 轉為 $\text{CrO}_4^{2-}$ ，使單一個鉻所占空間增大，吸附量降低。而且，隨著 $\text{pH}$ 值的升高， $\text{OH}^-$ 會與 $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$ 競爭吸附位點，這亦是吸附量下降的原因之一[16]。

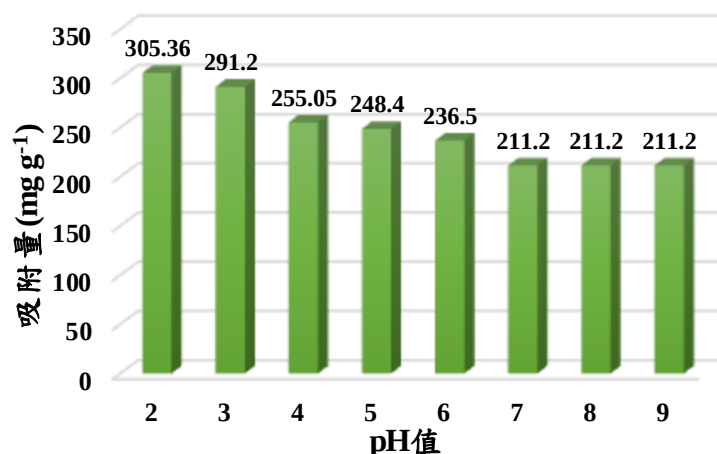


圖 5 不同 pH 值對處理效率

(time=20 min, Dosage=1g L<sup>-1</sup>, Rpm=120, T=20°C, Co=100 ppm)

### 5.溫度的影響

本研究使用吸附劑於濃度 100 ppm，且 $\text{pH}=5$ 時，加入 1 g L<sup>-1</sup> 稻殼生質碳放入恆溫水浴搖床中，分別調節 4 種不同溫度(15、25、35、45°C)，振盪 20 min，靜置，取上澄液在 540 nm 波長處測定吸光度，實驗結果如圖 6 所示，探討在不同溫度下吸附材料對 $\text{Cr(VI)}$ 離子吸附效果影響。隨著溫度的增加，稻殼生質碳對六價鉻吸附效果越來越好。可能是因為溶液溫度升高，致使離子運動反應加劇，提高外部擴散及內部擴散速度，從而提高吸附能力[17]。可得知此反應過程為吸熱過程當溫度為 15、25、35 與 45°C 時，對 $\text{Cr(VI)}$ 離子吸附能力為 110.2、113.3、116.0 與 117.1 mg g<sup>-1</sup>。

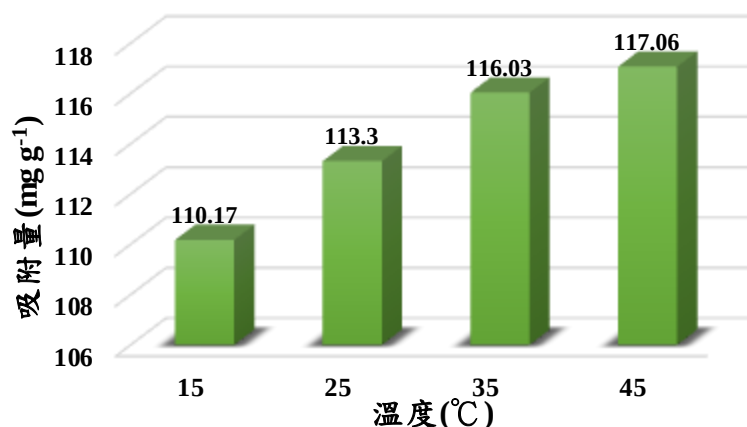


圖 6 溫度對 Cr(VI)離子吸附能力之影響

(time=20 min, Dosage=1g L<sup>-1</sup>, Rpm=120, pH=5, Co=100 ppm)

### 6.接觸時間的影響

本研究使用 1 g L<sup>-1</sup> 吸附劑於濃度 100 ppm，且 pH=5 時，調整 10 組不同時間，分別為 10、20、30、40、50、60、90、120、180、240 min，以探討在不同溫度下各種接觸時間對吸附材料對 Cr(VI)離子吸附效果影響。實驗結果如圖 7 所示，當接觸時間為 240 min 以內時，對 Cr(VI)離子吸附能力約為 283 mg g<sup>-1</sup>，約 20 min 達到平衡。

隨著時間的增加，吸附能力也隨著增加，這是因為接觸的時間增加有利於吸附劑和吸附質充分接觸，從而有利於吸附的發生。然而開始階段，由於稻殼生質碳表面有大量的吸附位點供六價鉻離子佔據，更有利於六價鉻的吸附，因而吸附能力迅速增大。隨著時間的增加，稻殼生質碳表面吸附位點減少，同時被吸附的六價鉻與溶液中的六價鉻產生排斥力，需克服更大阻力才能進入孔內部，因而吸附減緩，直至達至平衡[15]。

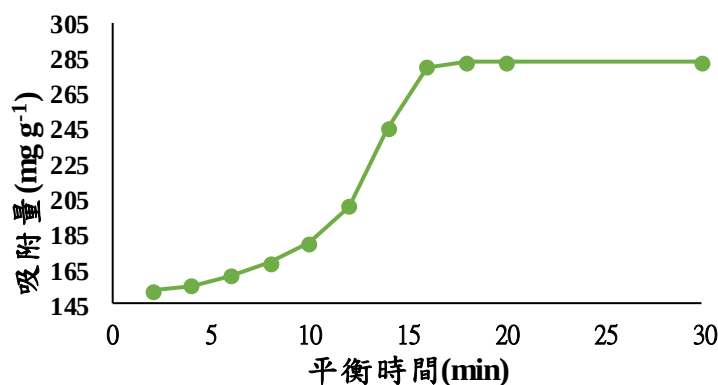


圖 6 接觸時間對 Cr(VI)離子吸附能力之影響

(T=25°C, Dosage=1g L<sup>-1</sup>, Rpm=120, pH=5, Co=100 ppm)

### 7.等溫吸附模式

本實驗利用吸附實驗中最為常用之 Langmuir 和 Freundlich 兩種等溫吸附模式，以便觀察並描述材料之吸附能力。使用 Langmuir 模式分析結果如圖 7 所示，得知吸附 Cr(VI)離子之實驗值與模式分析之資料擬合度較低。Freundlich 模式分析結果如圖 8 所示，此模式常被用來描述吸附非單分子層一對一之吸附現象，被吸附物處於吸附劑表面的多相溶液中進行[18]。得知吸附 Cr(VI)離子之實驗值與模式分析之資料擬合度較高。本實驗亦將兩種等溫吸附模式與實驗實際值進行比較，可發現 Freundlich 模式與實際值極為相近，因此判斷對 Cr(VI)離子的吸附作用非單分子層一對一之吸附，其原因可能為表面的吸附位點只能被 Cr(VI)離子利用一次[19]，且根據 Langmuir 模式得出吸附 Cr(VI)離子的最大吸附能力為 93 mg g<sup>-1</sup>。表 2 為 Langmuir 模式與 Freundlich 模式分析結果之比較，

本研究使用 Freundlich 模式分析結果所得  $n$  值為 0.49，明顯小於 1，表示使用生質碳對 Cr(VI) 離子吸附反應為非有利性吸附。

表 2 Langmuir 模式與 Freundlich 模式分析結果比較

| Langmuir Model          |                       |        | Freundlich Model        |      |        |
|-------------------------|-----------------------|--------|-------------------------|------|--------|
| $q_m(\text{mg g}^{-1})$ | $b(\text{L mg}^{-1})$ | $R^2$  | $K_F(\text{mg g}^{-1})$ | $n$  | $R^2$  |
| 93                      | 1.256                 | 0.9974 | 12.18                   | 0.49 | 0.9999 |

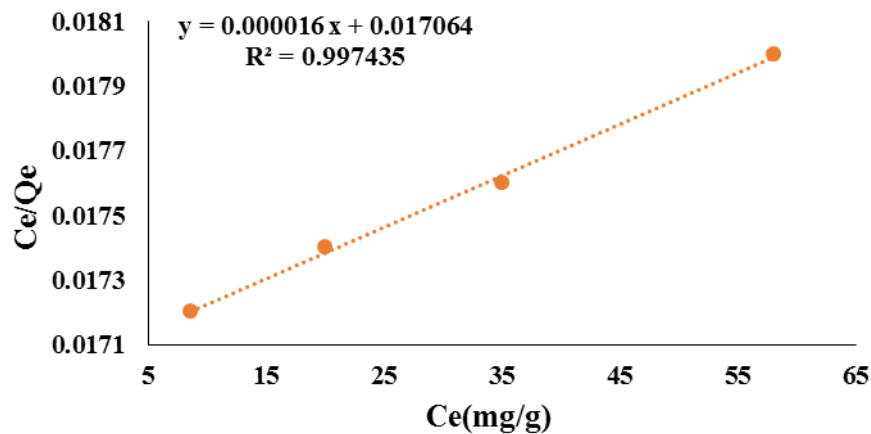


圖 7 使用 Langmuir 模式分析結果

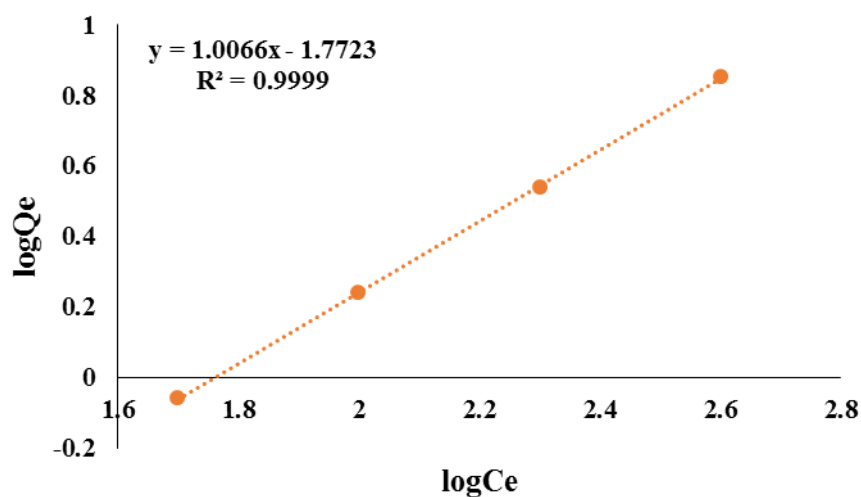


圖 8 使用 Freundlich 模式分析結果



## 肆、結論

根據 SEM 圖可觀察到所研製之生質碳材料外表面皆具有大小不等之孔洞，而且外貌呈現表面凹凸不平之情況。投加量越多吸附效率越佳，鑒於投加量 1、2、3 g L<sup>-1</sup> 吸附效率相近，且避免處理成本過高，原則上以 1g L<sup>-1</sup> 作為最佳投加量。研究結果顯示當吸附劑在不同污染物濃度時，濃度越大吸附效率越差。於較低之 pH 時吸附效率可達到最大，因此 pH 值越低時，吸附能力也隨之越好。隨著溫度的升高，吸附能力逐漸升高，溫度於 45°C 吸附效率最大，15°C 及 25°C 吸附效率不顯著，屬於吸熱過程。接觸時間於約 20 min 即達平衡，由此得知最佳接觸時間約為 20 min。兩種等溫吸附模式比較後，發現稻殼碳與 Freundlich 模式極為相近，因此判斷稻殼碳對 Cr(VI) 離子的吸附主要以非單層吸附為主。

## 誌謝

感謝國立宜蘭大學空氣污染實驗室提供之器材以及張章堂教授、學長姐的指導

## 參考文獻

- [1] Gueye M., Richardson Y., Kafack F. T., Blin J., High efficiency activated carbons from African biomass residues for the removal of chromium(VI) from wastewater, *Environmental Chemical Engineering* 2 (2014) 273–281
- [2] Cheng F., Luo H., Hu L., Yu B., Luo Z., Fidalgo de C. M., Sludge carbonization and activation: From hazardous waste to functional materials for water treatment, *Environmental Chemical Engineering* 4 (2016) 4574–4586
- [3] 劉旭倍(2013)：垃圾變黑金-台灣農業廢棄物應用於製作生物碳的可行性探討，*E-SOC JOURNAL*，第 111 期
- [4] 劉旭倍(2013)：垃圾變黑金-台灣農業廢棄物應用於製作生物碳的可行性探討，*E-SOC JOURNAL*，第 111 期
- [5] Li Y., Li Y., Li L., Shi X., Wang Z., Original Research Paper Preparation and analysis of activated carbon from sewage sludge and corn stalk, *Advanced Powder Technology* 27 (2016) 684–691
- [6] Açıkyıldız M., Gürses A., Karaca S., Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation, *Microporous and Mesoporous Materials* 198 (2014) 45–49
- [7] Álvarez-Torrellas S., Muñoz M., Zazo J.A., Casas J.A., García J., Research article Synthesis of high surface area carbon adsorbents prepared from pine sawdust-Onopordum acanthium L. for nonsteroidal anti-inflammatory drugs adsorption, *Environmental Management* 183 (2016) 294–305
- [8] Kılıç M., Apaydın-Varol E., Pütün A. E., Preparation and surface characterization of activated carbons from Euphorbia rigida by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,

NaOH and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Applied Surface Science 261 (2012) 247– 254

- [9] 李安成,陳俊六,王豐傑,郭叮坤,陳柏宏(2005): 吸附在廢水處理之應用(II)－以陰離子交換樹脂去除廢水中的鉻離子, 工程科技與教育學刊, 第二卷第二期第 266~275 頁
- [10] 白雁斌,王天嬌,趙曉玉(2013): 重金屬廢水處理技術研究進展, 污染防治技術, 第 26 卷第 3 期
- [11] 李中光,劉新校,邱惠敏(2014): 重金屬廢水處理技術之進展, 環保簡訊, 第 23 期
- [12] 侯萬善(2003): 廢水金屬處理回收技術簡介, 中技社通訊, 第 48 期
- [13] 馬前,張小龍(2007): 國內外重金屬廢水處理新技術的研究進展, 環境工程學報, 第 1 卷第 7 期
- [14] Xiao-yun Xu,Xin-de Cao,Ling Zhao, Comparison of rice husk- and dairy manure-derived biochars for simultaneously removing heavy metals from aqueous solutions: Role of mineral components in biochars, Chemosphere Volume 92, Issue 8, August 2013, Pages 955-961
- [15] 陳婷婷(2013): 「稻殼灰及改性稻殼灰吸附性能研究, 碩士學位論文」, 南京理工大學碩士論文
- [16] 甘超(2016): 「改性生物碳的表徵及其對 Cr(VI)的吸附性能研究」, 湖南大學碩士論文
- [17] 侯婉桐,孟祥熹,聶勝強,徐峰,葉小輝,劉文莉(2013): 稻殼製備生物質碳對水中六價鉻的吸附特性研究, 台州學院學報第 35 卷第六期, 2013
- [18] 李松穎(2017): 「利用生活污泥製備生質碳材吸附處理廢水與廢氣中鉻金屬之研究」, 國立宜蘭大學碩士論文
- [19] 劉芳(2015): 「靜電紡絲製備複合納米纖維及其在廢水處理中的應用」, 國立宜蘭大學碩士論文



# 環保、安全、衛生專責人員證照模組化教學輔導策略之探討 A Study on Modular-Based Strategies of Instructional Consultation for the Certification of Environmental Safety and Health Specialized Personnels

李宗憲<sup>1\*</sup>

Tzungh-Hsien Lee<sup>1</sup>

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 兼任講師

, Department of Civil Engineering & Environmental Resource

Management, Institute of Dahan Technology

## 摘要

本文係探討國內環境安全與衛生證照課程之教學策略，探究主要對象為參加環保、安全與衛生證照訓練之學員學習成效為考量，研究者以分析各證照對應取得方式作分析，探究各證照用何者教學策略對受訓學員在學習上較有幫助且易通過評量。從分析過程發現，適時的依評量模式分級，研議出合適的教學策略，對學員在環境、安全與衛生的知能方面，具有較正面的學習成效，總提而言，各種證照的受訓學員喜歡生活化、多樣化的教學內涵以及實務舉證的共同學習方式，惟授課講師必須考量學員受評的方式，加重相關類似評量練習的訓練，將有利於學員適應評量及通過測驗。本研究提出的策略，可提供給有志於環保、安全、衛生證照班之教育工作者，作為針對與本研究類似的學員做課程設計及教學策略之參考。

**關鍵詞：**環境安全與衛生證照、環境安全與衛生考照方式、環境安全與衛生課程教學策略

## 壹、前言

政府為提升現場作業人員專業技術水平，大力推動各式各樣的技能檢定及專責人員證照制度，將專技人員技術法治化、制度化，其主要推動目的為評量及考核職業訓練與職業教育的水準、促進職業證照制度之建立，以保障國人就業安全、提高技術及服務水準、兼顧技術人員及消費者之權益保障。

而環保、安全、衛生三大領域，主管業務單位環保署及勞動部亦不餘力大力推動，環保署成立環保人員訓練所，勞動部亦有勞動力發展署技能檢定中心等單位成立，由於職場上的工作者擁有專業證照亦代表個人在職場擁有更高專業立及競爭力，因此除了有官方的訓練單位，亦有委託各大專院校及各民間學會、團體開辦訓練課程，造成各訓練單位如雨後春筍的成立，可見環安衛證照訓練的市場需求是有增無減，隨之因應而來的是大量專業講師的需求，而這些業界講師如何能夠有效的教學，則是值得關注的議題，本文嘗試以分析探討目前現階段推動環保、安全、衛生專業證照性質以及其評量方式，找出其各別的共同性及差異性，提出模組化、層級化的教學策略，冀能提升學員學習興

趣及成效，在最短時間通過評量考試取得證照，而且又能學到知能，實際又能將所學的知能應用在工作場所。

## 貳、環保、安全、衛生專責證照推動現況之分析

### 一. 環保類專責人員相關規定：

#### (一) 環保類專責人員證照相關法源：

行政院環境保護署依空氣污染防治法第三十三條第三項、水污染防治法第二十一條第二項、毒性化學物質管理法第十八條第二項、廢棄物清理法第四十四條、土壤及地下水污染整治法第九條第二項、環境用藥管理法第十九條第二項及室內空氣品質管理法第九條第三項規定擬定環境保護專責及技術人員訓練管理辦法。(環保署，2015)

目前已辦理空氣污染防治專責人員、廢水處理專責人員、毒性化學物質專業技術管理人員、廢棄物清理專業技術人員、環境用藥專業技術人員、室內空氣品質維護管理專責人員及土壤污染評估調查人員等項訓練，前揭人員依規定應經訓練合格、取得證書完成設置或登記，始得執行相關業務。

為因應相關環保法規之要求，由事業或公私場所依其業務特性所涉污染物及規模等分別設置，執行環境保護相關污染防治(治)工作之需。另因應環境保護專責及技術人員不同目的之訓練需求，將訓練區分為證照訓練、設置為專責及技術人員之到職訓練及在職相關訓練。

一、環境保護專責及技術人員：指前條法律規定之專責人員、專業技術人員，其類別與級別如下：

- (一) 空氣污染防治專責人員，其級別分為甲級及乙級。
- (二) 廢(污)水處理專責人員，其級別分為甲級及乙級。
- (三) 毒性化學物質專業技術管理人員，其級別分為甲級、乙級及丙級。
- (四) 廢棄物清理專業技術人員：
  - 1. 廢棄物清除專業技術人員，其級別分為甲級、乙級及丙級。
  - 2. 廢棄物處理專業技術人員，其級別分為甲級及乙級。
- (五) 環境用藥專業技術人員：
  - 1. 環境用藥製造業專業技術人員。
  - 2. 環境用藥販賣業專業技術人員。
  - 3. 病媒防治業專業技術人員。
- (六) 室內空氣品質維護管理專責人員。
- (七) 土壤污染評估調查人員。

二、訓練：指環境保護專責及技術人員之證照訓練、到職訓練及在職訓練。

#### (二) 行政院環保署環保訓練所對講師教材編寫建議要求事項：(環訓所)

一、講義份量請考量課程時數，講授內容請依據講授大綱編撰，以聚焦、切題、活潑、生動為原則。

二、講義編寫以 Word 或 Power Point 製作。如以 Power Point 製作，字型以 26 號字以上，每張不超過 10 行。

三、標題應簡明扼要、文字內容宜深入淺出，白話易懂。

四、為加強學習效果，文字儘可能配合圖片、插圖、影像或相關短片，並舉例說明，以加深記憶及學習興趣。

五、請用 A4 紙橫式書寫，圖及表之文字應清晰。

六、講義內容如需用到英文，應以中英對照方式處理。

七、投影片之製作每一片除標題外，文字至多不得超過十行，使後座學員亦能清楚播放內容。

八、參考文獻應載明出處。

九、試題務必從講義中出，並以練習題型式復習，以建立有聽課就有好成績之信心。

### （三）師資要求：

環保訓練類講師資格並無明文規定，一般由代辦單位自行聘任，如：大專院校辦理以學校教師(教授、副教授、助理教授、講師)為主，另外搭配高階、退休公職人員、產業界顧問、資深工程師，部分訓練單位對於抹些課程則有明確要求講師資格條件，如：中國勞工安全衛生管理學會辦理室內空氣品質維護管理專責人員講師資格條件就有很嚴格的規定，詳如下：(中國勞工安全衛生管理學會)

一、師資等級：

(一)教授或擔任研究員職務達10年以上。

(二)副教授或擔任研究員職務達6年以上以上。

(三)助理教授、擔任研究員職務達3年以上或博士學歷之專業人士以上。

二、專業能力：具1篇(項)以上與該類訓練相關之學術成果並需列出研究計畫或論文之名稱及日期。

三、實作課程師資：(一)公私立大專院校助理教授以上。

(二)環保機關擔任主管層級以上之職務。

(三)大專以上學歷並具3年以上相關實務經驗之專業人士。

### （四）環保專責人員評量方式：

(一)環保專責人員證照：

依環境保護專責及技術人員訓練管理辦法第十八條規定，環境保護專責及技術人員證照訓練各科目之測驗(評量)成績，以一百分為滿分，六十分為及格。各科目成績均達六十分以上者，為訓練合格。有科目成績不及格者，自訓練結訓之日起一年內，得申請該科目補考二次，屆期未參加補考者，該科目為不及格。

補考後仍有科目成績不及格者，其不及格科目未超過該證照訓練總測驗科目四分之一，得就其不及格科目於最後一次補考結束之日起三個月內，申請參加再訓練一次。

參加再訓練者，補考科目之測驗(評量)以一次為限，該科目仍不及格，則認定該次證照訓練為不合格。

測驗類型共分筆試測驗及實作測驗(現場實作)2類，試題型態包括選擇題、簡答題(填充題)、計算題等，試題涉及法令者，一律以最新法令規定應試作答。

表1 環境保護專責及技術人員類別與級別一覽表

| 類別                | 甲級 | 乙級 | 丙級 | 不分級 |
|-------------------|----|----|----|-----|
| 1. 空氣污染防制專責人員     | ✓  | ✓  |    |     |
| 2. 廢(污)水處理專責人員    | ✓  | ✓  |    |     |
| 3. 毒性化學物質專業技術管理人員 | ✓  | ✓  | ✓  |     |
| 4. 廢棄物清除專業技術人員    | ✓  | ✓  | ✓  |     |
| 5. 廢棄物處理專業技術人員    | ✓  | ✓  | ✓  |     |
| 6. 環境用藥製造業專業技術人員  |    |    |    | ✓   |
| 7. 環境用藥販賣業專業技術人員  |    |    |    | ✓   |

|                   |  |  |  |   |
|-------------------|--|--|--|---|
| 8. 病媒防治業專業技術人員    |  |  |  | ✓ |
| 9. 室內空氣品質維護管理專責人員 |  |  |  | ✓ |
| 10. 土壤污染評估調查人員    |  |  |  | ✓ |

## 二. 職業安全、衛生管理專責人員相關規定：

### (一) 職業安全衛生管理專責人員教育訓練相關法源：職業安全衛生教育訓練規則

依職業安全衛生教育訓練規則第 3 條規定雇主對擔任職業安全衛生業務主管之勞工，應於事前使其接受職業安全衛生業務主管之安全衛生教育訓練。事業經營負責人或其代理人擔任職業安全衛生業務主管者，亦同。(勞動部)

### (二) 職業安全衛生教育訓練規則之安全衛生教育訓練分類如下：

- 一、職業安全衛生業務主管之安全衛生教育訓練。
- 二、職業安全衛生管理人員之安全衛生教育訓練。
- 三、勞工作業環境監測人員之安全衛生教育訓練。
- 四、施工安全評估人員及製程安全評估人員之安全衛生教育訓練。
- 五、高壓氣體作業主管、營造作業主管及有害作業主管之安全衛生教育訓練。
- 六、具有危險性之機械或設備操作人員之安全衛生教育訓練。
- 七、特殊作業人員之安全衛生教育訓練。
- 八、勞工健康服務護理人員之安全衛生教育訓練。
- 九、急救人員之安全衛生教育訓練。
- 十、一般安全衛生教育訓練。
- 十一、前十款之安全衛生在職教育訓練。
- 十二、其他經中央主管機關指定之安全衛生教育訓練。

### (三) 在職教育訓練規定：第 17-1 條雇主對擔任前條第一項各款工作之勞工，應使其接受下列時數之安全衛生「在職教育訓練」：

- 一、第一款之勞工，每二年至少六小時。
- 二、第二款之勞工，每二年至少十二小時。
- 三、第三款之勞工，每三年至少十二小時。
- 四、第四款至第六款之勞工，每三年至少六小時。
- 五、第七款至第十三款之勞工，每三年至少三小時。

表 2 管理師(甲級)

| 管理師  | 甲級技術士 | 在職回訓 |
|------|-------|------|
| 職業安全 | ✓     | ✓    |
| 職業衛生 | ✓     | ✓    |

在職教育訓練方式：管理人員每兩年應至少參加 12 小時

表 3 管理員(乙級)

| 管理員    | 乙級技術士 | 在職回訓 |
|--------|-------|------|
| 職業安全衛生 | ✓     | ✓    |

在職教育訓練方式：管理人員每兩年應至少參加 12 小時

表 4 業務主管(甲、乙、丙種)

| 業務主管   | 甲種 | 乙種 | 丙種 | 在職回訓 |
|--------|----|----|----|------|
| 職業安全衛生 | ✓  | ✓  | ✓  | ✓    |



|           |   |   |   |   |
|-----------|---|---|---|---|
| 營造業職業安全衛生 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|-----------|---|---|---|---|

在職教育訓練方式:職業安全衛生業務主管每二年應至少 6 小時

**表 5 作業主管(單一)**

| 有害作業主管            | 營造業作業主管   | 高壓特定容器        | 在職回訓 |
|-------------------|-----------|---------------|------|
| (一)有機溶劑作業主管       | 擋土支撐作業主管  | 高壓氣體製造安全主任    | ✓    |
| (二)鉛作業主管          | 模板支撐作業主管  | 高壓氣體供應及消費作業主管 | ✓    |
| (三)四烷基鉛作業主管       | 隧道等挖掘作業主管 | 高壓氣體製造安全作業主管  | ✓    |
| (四)缺氧作業主管         | 隧道等襯砌作業主管 |               | ✓    |
| (五)特定化學物質作業主管     | 施工架組配作業主管 |               | ✓    |
| (六)粉塵作業主管         | 鋼構組配作業主管  |               | ✓    |
| (七)高壓室內作業主管       | 露天開挖作業主管  |               | ✓    |
| (八)潛水作業主管         | 屋頂作業主管    |               | ✓    |
| (九)其他經中央主管機關指定之人員 |           |               |      |

在職教育訓練方式:每三年應至少參加 6 小時

## (二) 職業安全衛生管理講義編寫建議要求事項: (中國勞工安全衛生管理學會)

1. 為提升教育訓練品質，請製作相關教學影片 power point，製作內容應以本會編印之教材內容及實務性案例為原則，以避免教學影片 power point 與教材差異性過大，引發學員質疑。
2. 教學影片請提供本會，檢視內容是否為最新版本。
3. 請講師依本會編印之教材講授課程，切勿於課堂中論及「政治、政黨、種族、語言…」等議題，以避免引發學員抗議或不必要之衝突。若有增加補充資料，請事先提供本會準備以便發與學員。

## (三) 職業安全衛生管理主要類別講師資格: (勞動部)

一、職業安全管理師、職業衛生管理師之教育訓練講師資格：

- (一)任教大專校院相關課程具三年以上教學經驗者。
  - (二)具有工業安全、工業衛生或相關學科博士學位，並有一年以上相關工作經歷者。
  - (三)具有工業安全、工業衛生或相關學科碩士學位，並有三年以上相關工作經歷者。
  - (四)具有工業安全、工礦衛生技師資格，並有五年以上相關工作經歷者。
  - (五)具有勞動檢查員五年以上相關工作經歷者。
  - (六)大專校院相關科系畢業，具有職業安全管理師、職業衛生管理師資格或取得職業安全管理甲級技術士證照、職業衛生管理甲級技術士證照，並有七年以上相關工作經歷者。
- 二、職業安全衛生管理員、施工安全評估人員及製程安全評估人員之教育訓練講師資格：
- (一)任教大專校院相關課程具二年以上教學經驗者。
  - (二)具有工業安全、工業衛生或相關學科博士學位，並有一年以上相關工作經歷者。
  - (三)具有工業安全、工業衛生或相關學科碩士學位，並有三年以上相關工作經歷者。
  - (四)具有工業安全、工礦衛生技師資格，並有三年以上相關工作經歷者。
  - (五)具有勞動檢查員三年以上相關工作經歷者。
  - (六)大專校院相關科系畢業，具有職業安全衛生管理員資格或取得 職業安全衛生管理

乙級技術士證照，並有五年以上相關工作經歷者。但擔任施工安全評估人員或製程安全評估人員之教育訓練課程講師者，應經施工安全評估人員或製程安全評估人員訓練合格，並有五年以上施工安全評估或製程安全評估相關工作經歷者。

三、作業環境監測人員之教育訓練講師資格：

- (一)任教大專校院作業環境監測相關課程具二年以上教學經驗者。
- (二)大專校院相關科系畢業，取得作業環境測定甲級技術士證照，具作業環境監測相關工作經歷五年以上者。
- (三)大專校院相關科系畢業，具有工礦衛生技師資格，並具作業環境監測相關工作經歷三年以上者。
- (四)具有勞動檢查員三年以上職業衛生檢查經歷者。

四、急救人員之教育訓練講師資格：

由合辦之教學醫院或醫院評鑑合格者，遴選實際從事緊急醫療救護工作三年以上之醫護人員、具有中央衛生主管機關規定之高級或中級救護技術員合格證書者擔任講師。

五、職業安全管理師、職業衛生管理師、職業安全衛生管理員、施工安全評估人員、製程安全評估人員、作業環境監測人員、急救人員、勞工健康服務護理人員等教育訓練以外講師資格：

- (一)大專校院相關科系畢業，具三年以上相關工作經歷者。
- (二)術科講師應為高中、高職以上學校畢業，取得相關職類甲級、乙級或單一級技術士證照，或經相關訓練受訓合格，取得操作人員資格，並具相關操作或作業實務三年以上經歷者。
- (三)任教相關課程具十年以上實務經驗或專長者。
- (四)具有勞動檢查員三年以上相關工作經歷者。

**四. 職業安全衛生相關管理證照評量(檢定):**

一. 技能檢定:

1. 學科:

- (1)適用對象:甲級、乙級、丙級、甲種、乙種、丙種，各項主要技能檢定分類如表。
- (2)學科測試採筆試測驗題方式辦理，學科試題自題庫產生，其甲、乙級測試採單選題 60 題，每題 1 分，複選題 20 題，每題 2 分，複選題答案全對才給分；丙(單一)級採單選題 80 題，每題 1.25 分，答錯不倒扣，及格分數 60 分。
- (3)測試時間 100-120 分鐘。職業安全管理甲級、職業衛生管理甲級、職業安全衛生管理乙級學科試題自題庫產出，上開職類學科測試參考資料業已公告於技檢中心網站。(全國技術士技能檢定簡章)。

2. 術科:

- (1)適用對象:甲級、乙級技術士採筆試問答題方式。
- (2)測驗時間為 2 小時。

**3. 通過技能檢定合格率:**

經查辦理檢定單位所提供過往 10 年通過合格率呈現(職業安全衛生管理人員技術士發證人數統計表詳表)呈現，甲級及乙級技術士通過率最高的為職業衛 105 年 7 月(第二梯)通過率 24.81%；最低的同樣為職業衛生 101 年 1 月(第一梯)僅有 1.32%，整體而言，職業安全衛生管理的甲、乙級技術士檢定考試通過率約為一成多。(如表)

至於各類的甲、乙、丙作業主管教育訓練，參考協辦單位財團法人中華民國電腦技能基金會所公布的 2018 年合格統計數據顯示，各種業務主管參與測驗合格率約有八成

左右。

表 6 近 10 年職業安全衛生管理人員技術士發證人數統計表

| 次  | 日期        | 職業安全管理甲級 |          |          |        | 職業衛生管理甲級 |          |          |        | 職業安全衛生管理乙級 |          |          |        |
|----|-----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|------------|----------|----------|--------|
|    |           | 報考<br>人數 | 及格<br>人數 | 累計<br>人數 | 及格率    | 報考<br>人數 | 及格<br>人數 | 累計<br>人數 | 及格率    | 報考<br>人數   | 及格<br>人數 | 累計<br>人數 | 及格率    |
| 88 | 108.11.03 |          |          |          |        |          |          |          |        |            |          |          |        |
| 87 | 108.07.14 |          |          |          |        |          |          |          |        |            |          |          |        |
| 86 | 108.03.17 | 949      | 105      | 7,268    | 11.06% | 1,047    | 195      | 4,650    | 18.62% | 4,646      | 432      | 48,211   | 9.30%  |
| 85 | 107.11.04 | 986      | 75       | 7,163    | 7.61%  | 1,137    | 118      | 4,455    | 10.38% | 5,549      | 860      | 47,779   | 15.50% |
| 84 | 107.07.15 | 877      | 116      | 7,088    | 13.23% | 1,005    | 106      | 4,337    | 10.55% | 5,137      | 396      | 4,6919   | 7.71%  |
| 83 | 107.03.18 | 970      | 91       | 6,972    | 9.38%  | 1,042    | 98       | 4,231    | 9.40%  | 4,695      | 99       | 46,523   | 2.11%  |
| 82 | 106.11.05 | 1,080    | 206      | 6,881    | 19.07% | 1,078    | 153      | 4,133    | 14.19% | 5,526      | 618      | 46,424   | 11.18% |
| 81 | 106.07.16 | 1,009    | 150      | 6,675    | 14.87% | 998      | 180      | 3,980    | 18.04% | 4,767      | 409      | 45,806   | 8.58%  |
| 80 | 106.03.19 | 1,084    | 158      | 6,525    | 14.58% | 976      | 110      | 3,800    | 11.27% | 4,878      | 502      | 45,397   | 10.29% |
| 79 | 105.11.06 | 1,236    | 100      | 6,367    | 8.09%  | 1,017    | 118      | 3,690    | 11.60% | 5,538      | 332      | 44,895   | 5.99%  |
| 78 | 105.07.17 | 1,127    | 163      | 6,267    | 14.46% | 907      | 225      | 3,572    | 24.81% | 4,891      | 882      | 44,563   | 18.03% |
| 77 | 105.03.20 | 1,251    | 82       | 6,104    | 6.55%  | 880      | 90       | 3,347    | 10.22% | 4,677      | 194      | 43,681   | 4.15%  |
| 76 | 104.11.08 | 1,374    | 93       | 6,022    | 6.77%  | 952      | 147      | 3,257    | 15.44% | 5,547      | 925      | 43,487   | 16.68% |
| 75 | 104.07.19 | 1,384    | 154      | 5,929    | 11.13% | 770      | 28       | 3,110    | 3.64%  | 4,975      | 331      | 42,562   | 6.65%  |
| 74 | 104.03.22 | 1,426    | 32       | 5,775    | 2.24%  | 727      | 91       | 3,082    | 12.52% | 5,708      | 854      | 42,231   | 14.96% |
| 73 | 103.11.09 | 1,782    | 118      | 5,657    | 6.62%  | 879      | 93       | 2,989    | 10.58% | 7,632      | 538      | 41,377   | 7.05%  |
| 72 | 103.07.20 | 1,646    | 104      | 5,539    | 6.32%  | 653      | 125      | 2,896    | 19.14% | 6,848      | 410      | 40,839   | 5.99%  |
| 71 | 103.03.23 | 1,547    | 55       | 5,435    | 3.56%  | 546      | 24       | 2,771    | 4.40%  | 6,201      | 279      | 40,429   | 4.50%  |
| 70 | 102.11.10 | 1,805    | 102      | 5,380    | 5.65%  | 643      | 96       | 2,747    | 14.93% | 7,088      | 264      | 40,150   | 3.72%  |
| 69 | 102.07.21 | 1,549    | 133      | 5,278    | 8.59%  | 599      | 134      | 2,651    | 22.37% | 5,933      | 192      | 39,886   | 3.24%  |
| 68 | 102.03.24 | 1,469    | 97       | 5,145    | 6.60%  | 572      | 44       | 2,517    | 7.69%  | 6,026      | 874      | 39,694   | 14.50% |
| 67 | 101.11.11 | 1,728    | 228      | 5,048    | 13.19% | 623      | 28       | 2,473    | 4.49%  | 7,048      | 372      | 38,820   | 5.28%  |
| 66 | 101.07.22 | 1,596    | 202      | 4,820    | 12.66% | 598      | 126      | 2,445    | 21.07% | 6,334      | 352      | 38,448   | 5.56%  |
| 65 | 101.03.25 | 1,433    | 120      | 4,618    | 8.37%  | 532      | 7        | 2,319    | 1.32%  | 5,428      | 555      | 38,096   | 10.22% |
| 64 | 100.11.13 | 1,599    | 165      | 4,498    | 10.32% | 657      | 91       | 2,312    | 13.85% | 6,560      | 864      | 37,541   | 13.17% |
| 63 | 100.07.24 | 1,505    | 118      | 4,333    | 7.84%  | 594      | 41       | 2,221    | 6.90%  | 6,007      | 374      | 36,677   | 6.23%  |
| 62 | 100.03.07 | 1,336    | 92       | 4,215    | 6.89%  | 563      | 39       | 2,180    | 6.93%  | 5,360      | 359      | 36,303   | 6.70%  |
| 61 | 99.11.14  | 1,672    | 144      | 4,123    | 8.61%  | 620      | 41       | 2,141    | 6.61%  | 7,059      | 818      | 35,944   | 11.59% |
| 60 | 99.07.25  | 1,541    | 49       | 3,979    | 3.18%  | 609      | 77       | 2,100    | 12.64% | 6,510      | 170      | 35,126   | 2.61%  |
| 59 | 99.03.28  | 1,510    | 75       | 3,930    | 4.97%  | 558      | 54       | 2,023    | 9.68%  | 6,105      | 318      | 34,956   | 5.21%  |
| 58 | 98.11.15  | 1,577    | 82       | 3,855    | 5.20%  | 661      | 98       | 1,969    | 14.83% | 7,555      | 235      | 34,638   | 3.11%  |
| 57 | 98.07.26  | 1,409    | 53       | 3,773    | 3.76%  | 537      | 43       | 1,876    | 8.01%  | 7,510      | 655      | 34,403   | 8.72%  |
| 56 | 98.03.29  | 1,201    | 145      | 3,720    | 12.07% | 501      | 53       | 1,828    | 10.58% | 6,418      | 242      | 33,748   | 3.77%  |
| 55 | 97.11.16  | 1,362    | 200      | 3,575    | 14.68% | 596      | 119      | 1,775    | 19.97% | 6,867      | 562      | 33,506   | 8.18%  |
| 54 | 97.07.27  | 1,176    | 63       | 3,375    | 5.36%  | 520      | 44       | 1,656    | 8.46%  | 6,265      | 504      | 32,944   | 8.04%  |
| 53 | 97.03.30  | 1,100    | 81       | 3,312    | 7.36%  | 496      | 50       | 1,612    | 10.08% | 5,259      | 200      | 32,440   | 3.80%  |

資料來源：周春榮，勞工安全衛生證照輔導



## 二、環保、職業安全、衛生專門職業技術執照評量規定：(考試院)

有關環保、安全、衛生管理執照考試，目前主要為國家高等考試中的專技考試「環境工程技師」、「工業安全技師」及「工礦衛生技師」考試，其考試及格方式：

1. 以錄取各該類科全程到考人數百分之 16 為及格。
2. 全程到考人數百分之 16 若有小數，一律進位取其整數，並以全程到考人數百分之 16 最後一名之總成績為其及格標準，最後一名有多人同分，則一律錄取。
3. 技師考試各該類科應試科目總成績之計算，以各科目成績平均計算。
4. 技師考試各該類科考試應試科目有一科成績為零分或總成績未滿 50 分者，均不予及格。缺考科目以零分計算。

## 三、環保、安全、衛生教育訓練課程特性分析：

### (1) 評量的差異性很大

環保安全衛生專責人員證照教育訓練，在完成法定的課程後，最後成績的評量方式有各別的差異性，可採用分級方式分類各種證照在評量方面的要求事項，本研究嘗試分為五等級：

### 1. 第一級：環境工程、職業安全、礦業衛生技師執照輔導(高階課程)：

學員取得相關資格後，如：公立或立案之私立專科以上學校或經教育部承認之國外專科以上科、系、組、所畢業，領有畢業證書者(本科，非本科者需每領域至少一學科，每一學科至多採計三學分，合計至少六至七學科十八至二十學分以上；普通考試環境工程科考試及格，任有關職務滿四年，有證明文件者；高等檢定考試相當類科及格者。考試為專門職業技術人員高等國家考試，考試科目共計考六科專業科目，型式一般為申論題(含計算)約四～五題。雖然錄取標準為16.6%，但考試規則另有訂定只要有一科0分或是平均分數未達50分，皆無法達到錄取標準，所以錄取率一般亦僅有一成五左右，為目前環安衛證照考試最具有挑戰性。

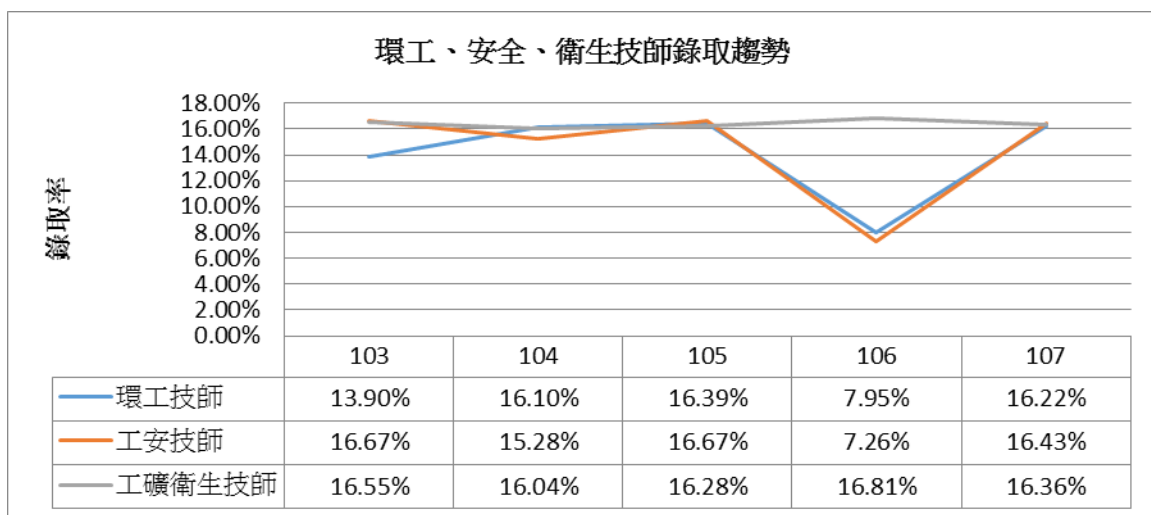


圖1 近5年來環安衛技師考試錄取趨勢圖

### 2. 第二級：職業安全、衛生管理師證照(中、高階課程)：

學員完成法定的課程後，參與評量方式為需要參加全國技能檢定考試，為承辦單位(財團法人技專校院入學測驗中心基金會)統籌辦理，為全國統一考試，考試的型式分為學科考試80題，單選題60題(每題一分)複選20題(每題2分)；術科考試5題，型式為申論題(含計算)，由於評量的方式除了有選擇題，還有統整的申論題(含計算題)，一般學員

大多在術科考試成績無法達60分及格門檻而敗北，檢定考試依主辦單位提供通過評量結果約僅有一成多左右。

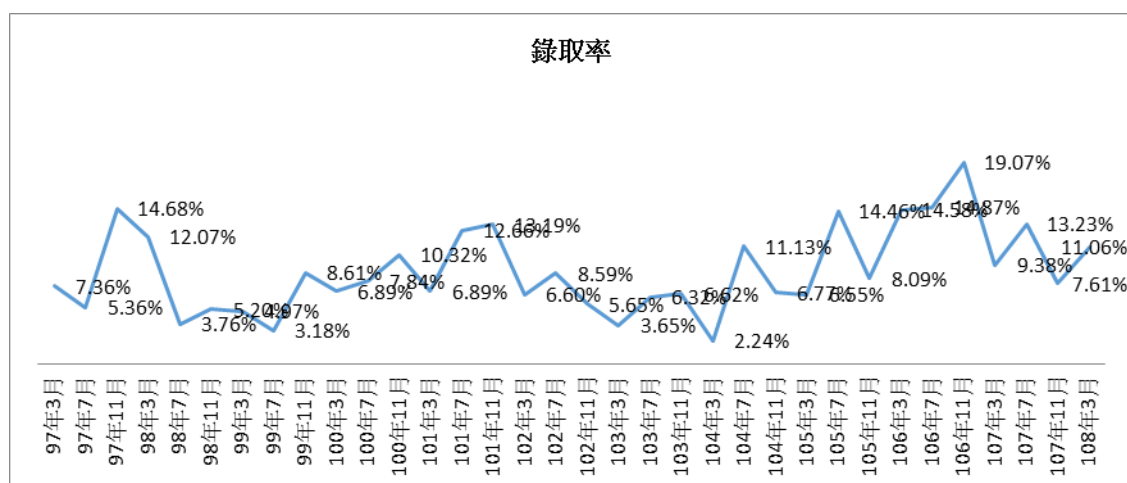


圖2 近十年職業安全管理師錄取率分布趨勢

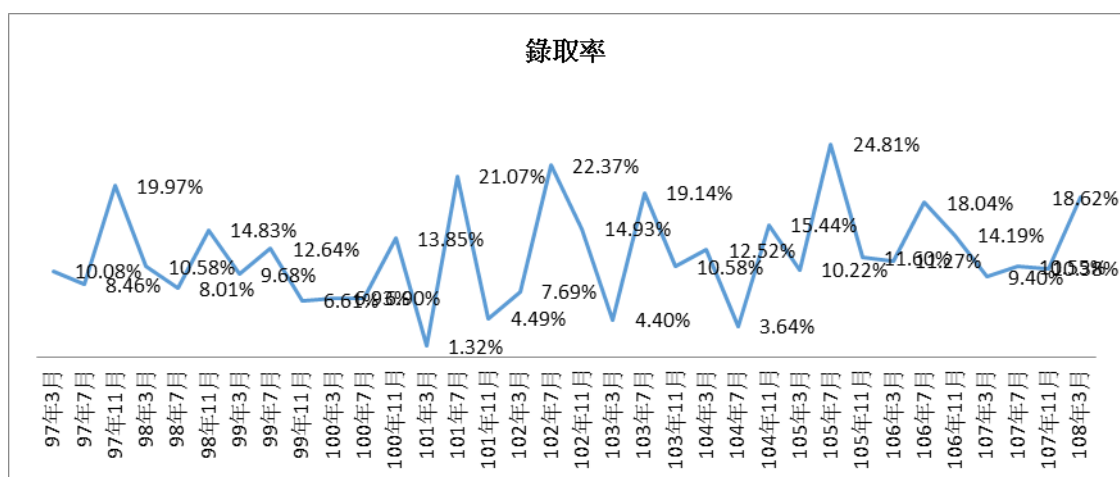


圖3 近十年職業衛生管理師錄取率分布趨勢

### 3. 第3級:職業安全衛生管理員證照(中階課程):

學員完成法定的課程後，參與評量方式為需要參加全國技能檢定考試，為承辦單位(財團法人技專校院入學測驗中心基金會)統籌辦理，為全國統一考試，考試的型式分為學科考試80題，單選題60題(每題一分)複選20題(每題2分)；術科考試10題型式為簡答題(含計算)，由於評量的方式除了有選擇題，還有簡答題(含計算題)，一般學員大多在術科考試成績無法達60分及格門檻而敗北，每次檢定考試依主辦單位提供通過評量結果約僅有一成多左右。

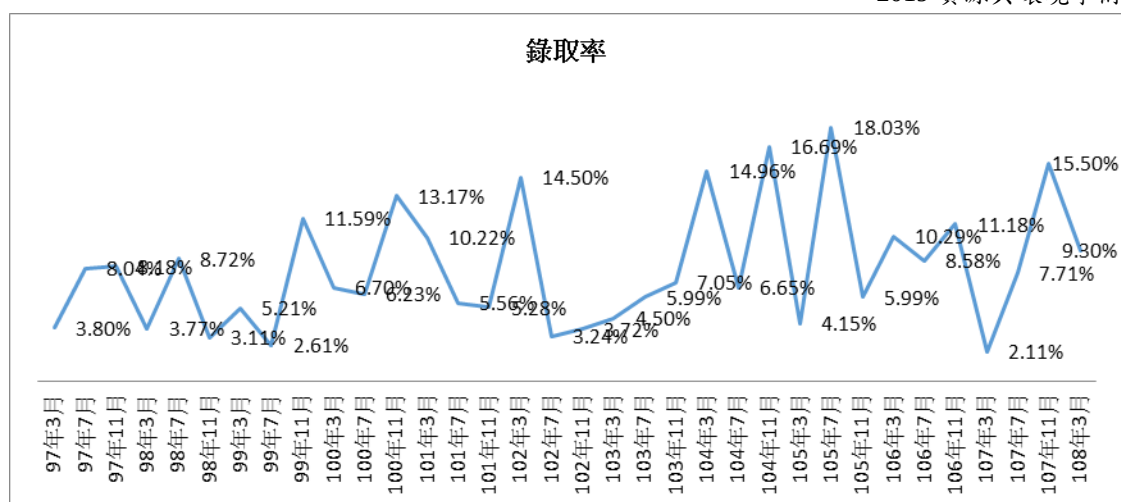


圖4 近十年職業安全衛生管理人員率取率趨勢

#### 4. 第四級：環保專責人員及各項安全衛生業務主管課程：

學員完成法定的課程後，參與評量方式為選擇題考試，如環保專責人員考試為50題選擇題（單選），60分及格（需答對30題以上），安全衛生業務主管教育訓練考試為80題選擇題（單選），60分及格（需答對48題以上）。從勞動部職業安全衛生署委託協辦財團法人中華民國電腦技能基金會所公布的各訓練單位合格率統計，全年度總合格率部分皆高於80-90%，僅有少部分的訓練單位，合格率會低於五成以下。

| 2018年統計數據 (2018/1/1至2018/12/31) |       |       |        |
|---------------------------------|-------|-------|--------|
| 職類名稱                            | 測驗人數  | 合格人數  | 合格率    |
| 02010甲種職業安全衛生業務主管安全衛生教育訓練       | 16641 | 13697 | 86.52% |
| 02020乙種職業安全衛生業務主管安全衛生教育訓練       | 2306  | 1829  | 82.46% |
| 02030丙種職業安全衛生業務主管安全衛生教育訓練       | 18182 | 15175 | 87.78% |
| 07010有機溶劑作業主管安全衛生教育訓練           | 7316  | 5370  | 76.18% |
| 07040缺氧作業主管安全衛生教育訓練             | 4759  | 3630  | 80.97% |
| 14010營造業甲種職業安全衛生業務主管教育訓練        | 5488  | 4735  | 90.54% |
| 14020營造業乙種職業安全衛生業務主管教育訓練        | 0     | 0     | 0%     |
| 14030營造業丙種職業安全衛生業務主管教育訓練        | 4989  | 3851  | 81.88% |

圖五 2018年各類業務主管安全衛生教育訓練合格

資料來源：財團法人中華民國電腦技能基金會所公布的各訓練單位合格率統計

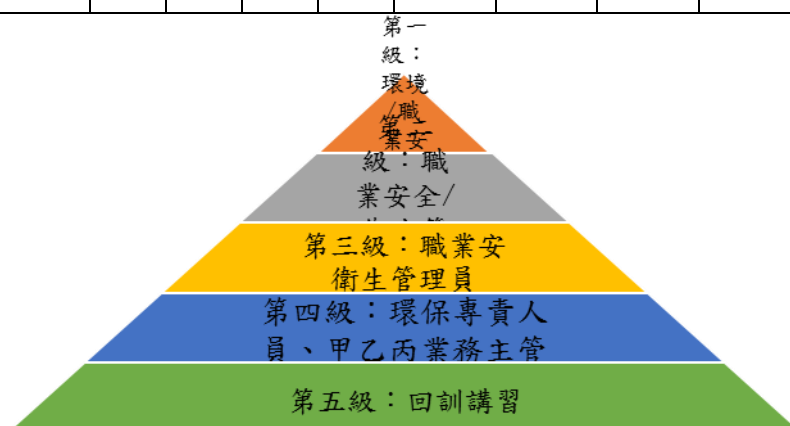
#### 5. 第五級：一般回訓課程：

學員只要在規定的時間，參加回訓課程，完成法定的訓練上課時數即可，如：各項作業主管回訓三年6小時即可，不需要辦理各項評量作業，只需填寫上課滿意度調查即可，是目前所有教育訓練學員評量負擔最輕的。

表7 各層級教學綜合分析表

| 層級  | 評量方式 |    |    |    | 教材及教案 |      |      | 教學策略 |      |      |
|-----|------|----|----|----|-------|------|------|------|------|------|
|     | 上課   | 選擇 | 簡答 | 申論 | 教科書   | 知識廣度 | 知識深度 | 講解說明 | 重點提示 | 解題示範 |
| 第一級 |      |    |    |    |       |      |      |      |      |      |

|     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 第二級 | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |   |   |  |
| 第三級 | ✓ | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ |  |
| 第四級 | ✓ | ✓ |   |   | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ |  |
| 第五級 | ✓ |   |   |   |   |   |   | ✓ |   |  |



圖六 環保、安全、衛生五等級證照訓練

### 叁、結果與討論

從以上環保、安全、衛生證照性質及評量探討分析，可了解學員在評量階段需要接受考驗是有很大的差異，因此授課講師，在準備教材、課程設計及教學策略應有不同方式，方能實際符合學員的需求，尤其參加證照班的學員，大多是在職且有家庭，與一般在校學生，其可以用在學習及複習的時間更為有限，因此授課講師如何將學習的效益極大化，是需要用心的設計與擬訂有效的教學策略，方能符應學員的需求，本研究嘗試以333教學模式作為一種教學策略。

#### (一)333教學模式之探討：

其主要架構即是從證照課程的評量方式首先定位出教學的層級(3C)後，開始針對3M(人、材、法)，針對學員、教材、教法做分析及擬訂策略，然後更深入探討是誰(WHO)在受訓、要準備什麼(WHAT)教材、要如何(HOW)教學演示，系統性的一步接一步完成課程及教學設計。

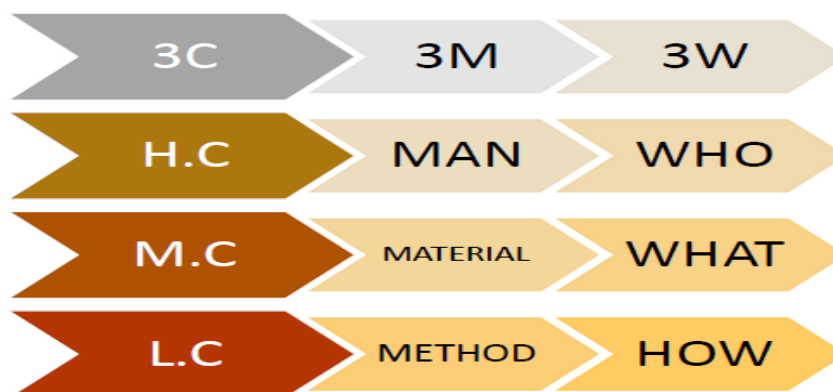


圖7 333教學模式之架構

第一個3為3C(高、中、初階class):

授課講師要先將授課做層級定位，究竟授課完成後，學員會受到哪一種的評量方式做仔細分析，以目前環保安全衛生主要的評量模式，仍是以紙筆測驗為主，評量方式有用上課到課時數、選擇題、簡答題、申論題，講師可以依學員需要接受評量方式，分

成高階、中階、初階三個層級。

表8 依評量類型定位課程階位

|      | 學科(選擇題) | 術科(申論+計算) | 申論題(含計算) |
|------|---------|-----------|----------|
| 高階課程 |         | ✓         | ✓        |
| 中階課程 | ✓       | X         | X        |
| 初階課程 | X       | X         | X        |

### 第2個3為3M(Man、Material、Method):

課程定位後，就要開始瞭解受訓的學員是哪些人員？他們有什麼相關背景知識，同時可以參考教育學者Bloom的認知理論，做各階課程需要用到哪些面向？進行教材、教案的設計及準備，最後才是擬訂對應的教學方法及策略。

表9 各階層評量需要用到的 Bloom 認知能力統整表

| 課程 \ 認知 | 記憶 |   | 理解 |   | 應用 |   | 分析 |   | 綜合 |   | 應用 |   |
|---------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|
|         | 小  | 大 | 小  | 大 | 小  | 大 | 小  | 大 | 小  | 大 | 小  | 大 |
| 高階課程    |    | ✓ |    | ✓ |    | ✓ |    | ✓ |    | ✓ |    | ✓ |
| 中階課程    |    | ✓ |    | ✓ | ✓  |   | ✓  |   | ✓  |   | ✓  |   |
| 低階課程    | ✓  |   | ✓  |   | ✓  |   | ✓  |   | ✓  |   | ✓  |   |

### 第3個3為3W(Who、What、How):

即密切對應第2個3M，更深入分析及探討，受訓的學員來自何種事業體，是來自同一個單位團體受訓？還是來自四面八方各種行業別？開始思考準備設計課程教材及教案是甚麼會比較適合受訓的學員，針對設計好的教材及教案，制訂對應合適的教學策略及方法(怎麼教)？

表10 課程與教學評量對應表

| 課程位階 | 課程性質   | 上課時數 | 學科考試 | 術科考試 | 教學挑戰性 |
|------|--------|------|------|------|-------|
| 高階   | 技師/甲、乙 | 長    |      | ✓    | 高     |
| 中階   | 甲/乙/丙  | 中    | ✓    |      | 中     |
| 低階   | 回訓     | 短    |      |      | 低     |

## 肆、結論與建議

### 一. 共同化教學策略:

雖然以目前環保、安全、衛生專責證照評量方式差異很大，有的只要參與授課及符合規定的回訓課程，亦有評量科目既廣且深的專技人員考試，對於學員的學習的考驗，挑戰是有很大的差別化門檻，但不論是最艱難的專技人員考試輔導課程或是一般證照的 3-6 小時在職回訓課程，身為授課或是輔導的講師，必須有共同化的教學策略目標及理念，以下歸納三有（有用化、有趣化、有意義）為各層級共同化的教學策略：

#### 1. 有用化:

環保、安全、衛生專責人員教育訓練，不同於學校環、安、衛工程學系養成升學生全方位環保安全衛生的素養教育，著重在基本理論及環、安、衛專業知識的探究與學習；參與專責人員的教育訓練，大多已是在職場工作，因為配合工作的需要或是生涯規劃，如：符合法規需或是為了晉升職務上的需求（如主管），對於受訓及參與輔導的學員，他們是帶著任務及需求來受訓，且受訓的費用，一般亦是公司提供，受訓完後能夠順利的通過評



量取得證照，是學員共同的現實目標，因此講師的授課內容必須緊扣著培養實務能力以及能夠幫助學員在短時間掌握學習的重點，順利通過評量考試為教學上務必要掌握的重點。

## 2. 有趣化：

Worick (1975) 學者曾認為安全衛生教育課程必須多樣化，才容易引起學員的學習興趣，且要配合學生的學習需求、理解力與興趣，才不致於流於呆板枯燥。因為環安衛的課程內容若太偏離實際的生活層面及生命經驗，就無法吸引學員的興趣，而大大影響其學習的效果。尤其是環安衛的知識學習，法規的學習占很重的比例，而法規學習通常是枯燥無味而且負擔很重，因為有相當多的法條、辦法必須要理解、融會貫通，要能記得起來，而且考試時還要能條列的寫出來，因此授課講師必須要能將生硬的教材有趣化、多元化、生活化，例如：藉由生動活潑的教案，講解時搭配照片、新聞、短片、影片的方式或是利用新聞實務舉證，交互與專業課程穿插講解或是一些口訣、心法幫助記憶，引發學生較高意願的學習動機，加深學習印象亦為在教學上非常重要的教學能力。

## 3. 有意義：

當然參與證照訓練的學員，其最主要的目標需求，為通過評量考試取得專責人員證照，在工作職場上獲取更高的專業資格及條件，然而身為教育訓練的講師，應對學員有更高的期許與期待，除了考取專責人員的證照外，更應有將相關知識與技能轉化為對工作及生活的素養能力，因此在環安衛課程設計及教學目標，在認知方面要學生不僅能夠知其然，還要能夠知其所以然，在經由知覺、記憶、判斷、推理、應用、分析、及思考等方式組織和處理後，所反應出理解程度及明辨程度的改變情形，建構統整性的概念知識，才能有助於學員正確評估、判斷工作中各種潛在的危害源，並能夠具備有危害的預防及改善的能力。

## 二. 差異化教學策略：

經由統整分析環安專責人員證照的評量方式，本文研究可分為五等級教學模式，每種評量模式要求不同，因此在教學的策略必須對應評量模式不同，彈性調整教學策略，設計出最適合學生之主題，以符應學生學習的需求，方能達到事半功倍的教學與學習效果。

### 1. 依評量模式：

#### (1) 沒有學科及術科的評量(低階訓練)：

此等訓練課程，大多是取得證照後的在職回訓課程，時間非常短暫(3-6小時)，而且有些課程受訓單位，亦無提供教科書給學員，教材由講師自由發揮，因此在課程的設計要點以相關教材的「溫故知新」為重點，譬如：重要法規、重要法條的回顧以及相關最新修訂法規的提醒。

另外還可以藉由相關的實務案例之探討，如：重大環安事故的新聞或影片，類似侷限空間危害每年皆有造成重大死傷工安事件，刺激啟發學員對於相關管理辦法規定有更深層的理解與印象，回到工作崗位上能夠有更高的敏感度及危機意識，積極落實預防改善侷限空間作業帶來的危害。

#### (2) 僅有學科的評量(低階訓練)：

目前各類的環安專人員及安全衛生的作業主管教育訓練，授課後的評量大部分皆是辦理類似的評量的方式，只是有部分的評量改為上機考試，可是評量的模式亦是大同小異，差別只是在一個寫評量卷，一個是看電腦螢幕作答後直接就可以知道評量的成績，本質上是相同的，這類型的評量，著重在理解及記憶，而記憶的方式又可藉由選擇題的答案輔助記憶，與簡答題或申論題要寫出來的記憶力要求是不太相同的。

而且這類型的教育訓練，皆有提供教科書、參考書籍，授課教師在教學時，要注意的事，幫助學員釐清每個單元的架構以及可能出題的考試重點(如：法規中有牽涉到重要數據

的規定皆有考能是考試重點，而且教師上課時盡量結合相關單元的考古題，讓學員除了能理解上課內容外，另外同時在上課時熟悉考試的方式及答題的技巧，回家不用花太多的時間準備。

### (3) 有學科及術科的評量(中階訓練):

當評量加入術科的評量之後，評量的挑戰性難度增加很多，從評量的統計結果可知，當評量僅有學科的評量，通過率高達八成以上，可是當加入術科評量之後，能通過評量的及格率驟降至一成多，很多學員在術科敗北無法通過評量，則是比比皆是，要能夠一次就通過評量著，是非常不容易。

因此講師在做此類的課程設計時，一定要能清楚瞭解術科考試的題型，如：法規題、時勢題、計算題…，做課程講解時一定要將相關考試的題型，緊密的與教學活動結合一起，讓學員在上課學習時，就能熟悉考試的出題方式，而且更重要的事，要一邊教學一邊輔導學員如何解題與作答，特別在計算題的部分(通常術科評量會有一題計算題)，教會學員如何判題及解題的技巧，訓練過的學員遇到計算題要有十拿九穩的能力。

### (4) 僅有術科的評量(高階訓練):

這是最高層次的評量，考試科目通常既廣且深，而且每一科目要讀的教科書就有好幾本，學員不僅要能徹底理解、更要融會貫通，還要記得起來，考試時要能寫出自己獨特的觀點，如果以美國職棒做比喻，二級以前的評量有點像小聯盟的要求，第一級的專技人員考試則是晉階至大聯盟層級，對於輔導講師挑戰亦為最高等，這些學員除了本身已經大多身經百戰的考試，也已經接受過完整的大專養成教育的專業訓練，基本的專業知識已經是足夠的，願意參加專技人員考試亦是將來有意成為職業的技師，因此對於參加輔導訓練課程，無非就是，希望藉由講師編列的統整性、系統性的教材及學習講師提供的解題技巧，縮短備考的時間，提升學習成效，一舉通過專技人員考試成為專業的技師，因此有志於擔任這類型的講師，自己本身有技師資格為基本的條件，更重要的是能夠有專業的教學能力，尤其是要有一套自己編列的精編獨門絕活的教材(自成一家)，協助學員建立一套架構，統整各類科的知識，而且還要提示重要的黃金考題，對於各類型的計算題要有解題及講解的能力，經由講師的輔導後，可以增加學員的應考能力，讓成績在短時間內突飛猛進，提升上榜的機會，為此類的講師必須讓自己上課方式以及自己所編撰講義和模擬試題都必須時常更新，更要不斷地充實自己具備的課程設計及教學能力。

## 三. 建議

要成為一位稱職優秀的環保安全衛生專責人員的教育訓練講師，不論是哪一種層級的教學，皆需要對講述主題非常透徹的了解，而且要用心的分析，掌握學員需要學習的重點，洞察及找到學員需求是什麼？之後再努力的備課、認真的教學，在長篇大論的教材中選取重點，講述時句句重點、針針見血，並能從更高的視野鳥瞰全貌，能掌握教學時間的長短，適時的處理講述節奏，再經過一輪又一輪的學員以及一遍又一遍的講述後，仍不放棄心中的理想及熱情，最後必須要提醒的事，由於上課必須要長時間久站和高分貝講話又有協助學員通過考試的壓力，所以對講師的體力是一個相當大的考驗，所以必須養成固定運動的習慣，隨時維持良好的身心狀態。

### 參考文獻

1. 行政院環境保護署，環境保護專責及技術人員訓練管理辦法，民國 105 年 05 月 13 日。
2. 勞動部，職業安全衛生教育訓練規則，民國 105 年 09 月 22 日。
3. 周春榮，勞工安全衛生證照輔導
4. 行政院勞工委員會（2119），勞委會職訓局技能檢定歷年合格人數統計表，取自 <http://www.evta.gov.tw/files/>
5. 考試院（2019-2015）專門職業及技術人員考試報考人數及錄取率，取自 <http://www.exam.gov.tw/stats/stalist.asp?aaa=4&bbb=考選統計>
6. 財團法人中華民國電腦技能基金會，2018 年各類業務主管安全衛生教育訓練合格，[https://www.csf.org.tw/main/service\\_06.asp](https://www.csf.org.tw/main/service_06.asp)
7. 李隆盛、李信達、陳淑貞：「技職教育證照制度的回顧與展望」，教育資料與研究雙月刊第 93 期 2010 年 04 月 31-52 頁
8. 辛懷梓、張自立、林慧敏、王國華：「環境安全與衛生通識課程對學生在認知及態度上之影響—以一所國立教育大學為例」，臺北市立教育大學學報民 99，第 41 卷第二期。
9. 伍純瑩（2006），大專院校學生安全衛生教育評量成效與認知態度之研究—以南部大專院校為例。高雄醫學大學健康科學院職業安全衛生研究所碩士論文，未出版，高雄市。
10. 柯煒煜（2002），高雄市高職學生對勞工安全衛生認知程度之研究，中華大學科技管理研究所碩士論文，未出版，新竹市。

